

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья

УДК 633.37:631.527

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-163-172



Селекционный потенциал образцов гуара из коллекции ВИР при оценке в условиях Российской Федерации

М. А. Вишнякова¹, Р. А. Шаухаров², Н. В. Кочерина¹, С. Б. Архимандритова¹, Е. А. Дзюбенко¹

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, Краснослободск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Маргарита Афанасьевна Вишнякова, m.vishnyakova.vir@gmail.com

Актуальность. Гуар (*Suamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) – зернобобовое культурное растение тропического происхождения, получившее в последние годы беспрецедентную популярность благодаря наличию в его семенах камеди. Использование гуаровой камеди в добыче нефти и газа придает культуре стратегическое значение. Это послужило поводом для его интродукции в Российскую Федерацию (РФ) в начале XXI века и активной селекции отечественных сортов. Востребованность коллекции гуара резко возросла, что послужило импульсом для ее активного изучения.

Материалы и методы. Объектом исследования послужили выборки из коллекции гуара ВИР: 50 образцов в 2023 г. и 30 наиболее продуктивных из них в 2024 г. На Волгоградской опытной станции ВИР проводили фенотипирование образцов по 13 селекционно значимым признакам. Признак скороспелости определяли косвенными методами. Статистическую обработку результатов исследований выполняли с использованием пакета программ Statistica 13.3.

Результаты. Проведен анализ семенной продуктивности гуара – ее структуры и взаимосвязей определяющих ее признаков. Определены наиболее продуктивные образцы. На основе анализа ранее полученные данные об отношении образцов коллекции гуара к фотопериоду предложен модифицированный алгоритм определения фотопериодической чувствительности образцов как косвенного показателя их скороспелости.

Заключение. Полученные данные об образцах коллекции гермоплазмы гуара ВИР при изучении в условиях РФ позволят результативно использовать ее в качестве исходного материала для создания отечественных сортов.

Ключевые слова: гуар, коллекция, интродукция, фенотипирование, изменчивость, селекция, камедь

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФ в рамках научного проекта 23-16-00195 от 15 мая 2023 г.

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

Для цитирования: Вишнякова М.А., Шаухаров Р.А., Кочерина Н.В., Архимандритова С.Б., Дзюбенко Е.А. Селекционный потенциал образцов гуара из коллекции ВИР при оценке в условиях Российской Федерации. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(3):163-172. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-163-172

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-163-172

Breeding potential of guar accessions from the VIR collection evaluated under the conditions of the Russian Federation

Margarita A. Vishnyakova¹, Ramazan A. Shaukharov², Natalia V. Kocherina¹, Serafima B. Arkhimandritova¹,
Elena A. Dzyubenko¹

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia;

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Volgograd Experiment Station – branch of VIR, Krasnoslobodsk, Russia

Corresponding author: Margarita A. Vishnyakova, m.vishnyakova.vir@gmail.com

Background. Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) is a leguminous crop plant of tropical origin that has gained unprecedented popularity in recent years due to the presence of gum in its seeds. The use of guar gum in the oil and gas industry gives the crop strategic importance. This was the reason for its introduction to the Russian Federation (RF) at the beginning of the 21st century and for the active breeding of domestic cultivars. The demand for the guar collection has increased dramatically, serving as an impetus for its active study.

Materials and methods. The materials of the study were guar accessions from the VIR collection: 50 accessions in 2023, and 30 most productive of them in 2024. The accessions were phenotyped for 13 traits important for breeding at Volgograd Experiment Station of VIR. The indicator of early maturity was assessed by indirect methods. Statistical processing of the research results was performed using the Statistica 13.3 software package.

Results. Seed productivity of guar accessions was analyzed, its structure and interrelations among its defining characteristics. Differentiation of the guar gene pool for the studied traits was revealed. The most productive accessions were identified. Previously obtained data on the relationship of guar collection accessions to the photoperiod served as a basis for proposing a modified algorithm for determining the photoperiod sensitivity of accessions as an indirect indicator of their earliness.

Conclusion. The data obtained for guar accessions from the VIR collection under the conditions of the Russian Federation will make it possible to use this germplasm effectively as source material for breeding domestic cultivars.

Keywords: guar, collection, introduction, phenotyping, variability, breeding, gum

Acknowledgements: this research was funded by the Russian Science Foundation (Project No. 23-16-00195 of May 15, 2023). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Vishnyakova M.A., Shaukharov R.A., Kocherina N.V., Arkhimandritova S.B., Dzyubenko E.A. Breeding potential of guar accessions from the VIR collection evaluated under the conditions of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):163-172. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-163-172

Введение

Гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) – представитель сем. Fabaceae Lindl. Это однолетнее культурное самоопыляющееся растение в местах происхождения и традиционного выращивания в Индии и Пакистане в течение столетий использовали как кормовое и отчасти употребляемое в пищу (Thombare et al., 2016). Однако оказалось, что культурное растение гуар, как многие зернобобовые культуры, к которым он относится, имеет многофункциональное значение и может быть использован во многих отраслях народного хозяйства. Это определяется камедью гуара – полисахаридом галактоманнаном, содержащимся в эндосперме семян растения. Открытие прикладного значения гуаровой камеди было сделано в Университете штата Аризона в середине XX века. Был продемонстрирован ее широкий потенциал для различных отраслей народного хозяйства и рекомендована масштабная интродукция гуара в США в качестве промышленной сельскохозяйственной культуры (Whistler, 1948; Whistler, Hymowitz, 1979). В наши дни гуаровая камедь, благодаря уникальным свойствам своих водных растворов и отсутствию токсичности, известна как самый эффективный натуральный загуститель, используемый в пищу. Широкое применение она находит также в медицине и косметологической промышленности. Но стратегическое значение культуре придает использование камеди в нефте- и газодобыче для повышения нефтеотдачи, гидроразрыва пласта и для улучшения вязкости бурового раствора (Kuravadi et al., 2013; Sindhuja et al., 2022).

После открытия значения гуаровой камеди для экономики продукция из гуара стала крупнейшей статьей сельскохозяйственного экспорта Индии, которой принадлежит 72–80% мирового производства и поставок гуара на мировой рынок. 15% мирового экспорта составляет Пакистан и несколько процентов – США (Sindhuja et al., 2022). Наша страна занимает второе место в мире по импорту камеди после США (<https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-guar-gum-market/17787>).

Популярность гуара значительно расширила агрономический ареал культуры: ее стали выращивать в Южной Африке, Южной Европе, Судане, Австралии, Иране, Шри-Ланке, Китае и Таиланде (Vishnyakova et al., 2025).

В силу понимания стратегической важности гуара в РФ при деятельном участии компании «Газпром Нефть» в 2010-х гг. предприняты попытки интродукции вида из стран южной и юго-западной Азии в некоторые районы Южного федерального округа. На ряде фермерских полей получены небольшие производственные партии семян гуара (Lebed et al., 2017; Voloshin et al., 2019). В те же годы началась селекция отечественных сортов гуара, число которых к настоящему времени достигло 18 (<https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteniy>). Это привлекло внимание к коллекции ВИР как к источнику исходного материала.

Коллекция генетических ресурсов гуара ВИР существует с 1956 г. Многие годы коллекция была не востребована, а гуар в СССР и РФ относили к разряду малораспространенных культур, которые в англоязычной научной литературе называют “underutilized” (недоиспользованные), “neglected” (заброшенные) и даже “orphan” (сироты). Востребованность коллекции послужила

импульсом мобилизации нового материала и инициировала исследования культуры российскими учеными. К настоящему времени накоплен определенный багаж сведений о различных аспектах биологии вида при выращивании образцов гуара из коллекции ВИР в разных географических точках юга европейской части РФ и в теплицах в г. Пушкине (Санкт-Петербург) (Bulyntsev et al., 2017; Kruchina-Bogdanov et al., 2019; Radchenko, Sokolova, 2019; Teplyakova et al., 2019; Dzyubenko, 2021; Vishnyakova et al., 2025).

Цель данной статьи – показать выявленную дифференциацию генофонда гуара из коллекции ВИР по признакам, определяющим селекционный потенциал культуры и оцененным у образцов коллекции, выращенных в условиях РФ – в самых высоких для вида широтах в мире – на Волгоградской опытной станции ВИР.

Материал и методы

Материалом послужили образцы гуара из коллекции ВИР. Их использовали для создания выборок, размеры которых приведены ниже, предназначенных для оценки селекционно значимых признаков.

Методы полевого фенотипирования

Полевое фенотипирование 50 образцов коллекции ВИР в 2023 г. и 30 наиболее продуктивных из них в 2024 г. проводили на Волгоградской опытной станции (ОС) ВИР в г. Краснослободске (48°42' с. ш., 44°34' в. д.) по принятым в ВИР методикам (Vishnyakova et al., 2018). Климат региона умеренно континентальный, с умеренно холодной зимой и жарким летом. Почвы – черноземы с аллювиальными суглинками.

Образцы оценивали в поле при контролируемом поливе – 5 л/растение в неделю в 2023 г. и 2,5 л/растение в неделю в 2024 г. Режим полива 2023 г. был оценен нами как избыточный, полив в 2024 г. был принят оптимальным для культуры (Vishnyakova et al., 2025). Поэтому данные о структуре семенной продуктивности приведены для 30 образцов в 2024 г. В выборку вошли 4 сорта российской селекции, 1 сорт из США и образцы разного статуса: 2 из Австралии, по одному из Пакистана и Великобритании, 21 из Индии.

Признаки, по которым был проведен анализ структуры семенной продуктивности (по 6–7 растений каждого образца): длина стебля, см; число ветвей, шт.; число узлов, шт.: а) число узлов с созревшими бобами, б) число узлов с невызревшими бобами; число бобов в узле, шт.; масса зрелых бобов с растения, г; % узлов с вызревшими бобами – отношение числа узлов с созревшими бобами к общему числу узлов; длина боба, см; число семян в бобе, шт.; масса семян с растения, г; масса 1000 семян. Признак «прикрепление нижнего узла» не подвергали статистической обработке. Скороспелость оценивали косвенными методами, для одного из которых нами предложена модификация.

Определение скороспелости образцов

Для выявления скороспелых образцов мы предлагаем косвенные параметры, так как в силу тропического происхождения большинства образцов коллекции гуара продолжительность их вегетационного периода установить невозможно. Для этого выбраны два критерия: вызреваемость – отношение продуктивных узлов с вызревшими бобами к общему числу узлов с завязавшимися бобами. Признак заимствован из методических указаний по арахису (Vakhrusheva, 1995), в которых образцы с показателем выше 69% предложено считать скороспелыми.

ми. Для второго показателя – фотопериодической чувствительности – нами предложена модификация принятого в ВИР способа определения этого признака. Использовали данные о реакции гуара на фотопериод для 192 генотипов – потомств растений 41 образца гуара (Terlyakova et al., 2019), полученные ранее за рамками настоящего исследования с участием авторов данной статьи Е. А. Дзюбенко и С. Б. Архимандритовой (Тепляковой). В этой работе (Terlyakova et al., 2019) образцы оценены как рано- и поздноцветущие. Мы предложили ранжировать их в соответствии с коэффициентом фотопериодической чувствительности (Koshkin, 2012), вычисляемым по формуле $K_{\text{фпч}} = T1/T2$, где $T1$ – число дней от всходов до начала цветения на коротком дне (КД), $T2$ – на длинном дне (ДД). Традиционно его определяют на фотопериодической площадке в г. Пушкине (Санкт-Петербург, 59°53' с. ш.) (Koshkin, 2012), что в данном случае было неприемлемо, так как тепловые ресурсы региона значительно меньше требуемых для гуара. Поэтому предложено за короткий день принять продолжительность фотопериода Кубанской ОС ВИР (Краснодарский край, 45°12' с. ш.) – в среднем за период изучения 15,4 ч, где эти образцы выращивали в поле рядами по 2 погонных метра, по 50 семян на генотип, а за длинный – продолжительность светового дня в г. Пушкине – 18,2–18,9 ч, где их выращивали в теплице при естественном освещении в сосудах по 8 растений каждого генотипа. Дата посева в обоих регионах – 12 мая 2018 г. Отмечали даты начала цветения (бутионизации), полного цветения. В теплице фиксировали дневные и ночные температуры, температуры на Кубанской ОС ВИР приведены по данным местной метеостанции. Среднесуточная температура в теплице в период цветения раноцветущих генотипов (конец июня – июль) равнялась 25,0°C, с дневным максимумом 35°C, с ночным минимумом 16°C. На Кубанской ОС ВИР в период начала цветения образцов (конец июня – первая половина июля) была аномально жаркая погода: среднесуточная температура воздуха равнялась 25,4°C, что на 2,3°C выше многолетней, с максимумом 38,7°C, с ночным минимумом 15°C.

Статистика. Для всех морфометрических признаков каждого образца определяли средние значения признаков со своей стандартной ошибкой средней $\bar{x} \pm SE$. Для анализа вариабельности выборок определяли коэффициенты вариации и наименьшие существенные различия $НСР_{0,05}$ с использованием дисперсионного анализа. Для установления характера связи попарно каждым из количественных признаков растений по каждому варианту высчитывали коэффициенты корреляции r , критерием проверки значимости которых являлось отношение r к своей ошибке посредством t -критерия Стьюдента. В биометрических расчетах считается, что $r < 0,3$ – слабая корреляция, если $r = 0,3–0,69$ – средняя, $r \geq 0,7$ – сильная взаимосвязь признаков.

Результаты и обсуждение

Изменчивость признаков семенной продуктивности. Следует отметить, что в изучаемой выборке, как и в генотипах гуара в целом, отмечается определенное разнообразие морфологических признаков. Систематизация этого разнообразия с большой степенью детализации сделана ранее (Dzyubenko, 2021). Отмечен разный габитус растений, включающий разную степень ветвистости и облиственности, разный характер роста стебля – детерминантный и индетерминантный, разную степень

опушенности листьев и бобов, варьирующие размеры и форма боба и др.

В данном исследовании мы приводим анализ оценки образцов коллекции гуара по признакам, наиболее значимым для селекции, в том числе и части перечисленных выше. Данные оценки этих признаков, полученные на Волгоградской ОС ВИР, приведены в таблице 1.

Высота растений. Признак демонстрировал среднюю изменчивость ($CV = 13,34\%$), варьируя от 66,6 до 116,0 см при среднем 92,95 см. Характерно, что при такой значительной высоте не отмечается полеглости растений за счет очень прочного стебля, имеющего диаметр не менее 1 см.

Ветвистость. По характеру ветвления исследованные образцы делятся на группы: неветвящиеся (условно называемые одностебельными) (рис. 1); равномерно ветвистые (закладка побегов 2-го порядка на всем протяжении основного стебля); базальными ветвистые (побеги только в нижней части основного стебля) (см. рис. 1). Последний тип неудобен для механизированной уборки. Отмечено сильное варьирование признака: 0–12,20 при среднем значении 7,0 шт. и $CV = 51,72\%$.

Расположение нижнего боба. Этот признак (данные не приводятся) – одно из самых уязвимых свойств гуара как сельскохозяйственной культуры, препятствующих механизированной уборке, так как нижний боб находится на высоте от 1 до 8 см. Особенно явно этот недостаток проявляется у образцов с базальным ветвлением. У одностебельных образцов расположение нижнего узла с бобами, как правило, более высокое по сравнению с ветвистыми образцами гуара.

Число узлов на растении – сильно варьирующий признак ($CV = 40,72\%$). В нашем исследовании его изменчивость у отдельных растений разных образцов определялась в границах 7–48 шт., межсортовая (межпопуляционная) изменчивость варьировала от 16,2 до 39,0 шт., среднее по выборке – 28,18 шт.

Число бобов в узле. Среди зернобобовых культур число бобов в узле (кластере) у гуара – одно из самых высоких. В нашем опыте его минимальное значение было 2,5, максимальное – 6,5, среднее по выборке – 4,24 шт., $CV = 25,48\%$. Определена также дифференциация выборки по числу узлов с вызревшими и вызревшими бобами. Средние по выборке значения для узлов с вызревшими бобами – 15,81, с вызревшими – 10,77. Коэффициенты варьирования у обоих показателей почти равны: 56,01 и 56,15% соответственно.

Вызреваемость (количество узлов с вызревшими бобами по отношению ко всем узлам на растении), %. Признак в нашей выборке имел среднюю степень варьирования – $CV = 22,87\%$. Изменчивость признака находилась в пределах 25,7–95,5% при среднем значении 60,3%.

Масса зрелых бобов с растения варьировала сильно: от 10,40 до 70,80 г при среднем значении 37,46 г. $CV = 44,91\%$.

Длина боба. Бобы вверх стоящие, в зрелом состоянии варьируют по окраске (песочные, серые, черные) и незначительно по длине: от 4,42 до 6,62 см при среднем 5,52 см и $CV = 10,89\%$.

Число семян в бобе. В нашем опыте признак имел среднее варьирование: от 4,80 до 8,20 со средним значением 6,77 шт., $CV = 12,24\%$.

Масса семян с растения – сильно варьирующий признак, в большой степени зависящий от среды. В нашем исследовании размах изменчивости признака был для отдельных растений от 3,0 г до 50,8 г/растение; средних

Таблица 1. Значения признаков структуры семенной продуктивности 30 образцов гуара из коллекции ВИР
(Волгоградская опытная станция ВИР, полив, 2024 г.)**Table 1. Variability of seed productivity structure traits in 30 guar accessions from the VIR collection**
(Volgograd Experiment Station of VIR, irrigation, 2024)

Признак	Минимум (№ образца по каталогу ВИР)	Максимум (№ образца по каталогу ВИР)	Среднее	CV, %
Высота растения, см	66,60 ± 1,63 (к-52862)	116,0 ± 2,00 (к-52574)	92,95 ± 2,26	13,34
Число ветвей, шт.	0 (к-52574; 52906)	12,20 ± 1,77 (к-52934)	7,0 ± 0,66	51,72
Число узлов, шт.	16,2 ± 2,31 (к-52574)	39,0 ± 1,55 (к-52891)	28,18 ± 0,88	40,72.
Число бобов/узел, шт.	2,5 ± 0,00 (к-52945)	6,5 ± 0,00 (к-52932)	4,24 ± 0,20	25,48
Узлов со зрелыми бобами, шт.	3,4 ± 0,87 (к- 52920)	30,0 ± 5,36 (к-52929)	15,81 ± 0,72	56,01
Узлов с невызревшими бобами, шт.	1,0 ± 0,45 (к-52938)	23,6 ± 2,29 (к-52932)	10,77 ± 0,49	56,15
Вызреваемость, %	25,73 ± 3,57 (к-52920)	95,5 ± 4,59 (к-52938)	58,9 ± 4,20	22,87
Масса зрелых бобов с растения, г	10,40 ± 0,51 (к-52924)	70,80 ± 20,80 (к-52857)	37,46 ± 3,07	44,91
Длина боба, см	4,42 ± 0,18 (к-52529)	6,62 ± 0,18 (к-52910)	5,52 ± 0,11	10,81
Число семян в бобе, шт.	4,80 ± 0,23 (к-52929)	8,20 ± 0,28 (к-52938)	6,77 ± 0,15	12,24
Масса семян с растения, г	3,42 ± 0,23 (к-52924)	30,18 ± 7,69 (к-52860)	16,14 ± 1,41	47,79
Масса 1000 семян, г	37,0 (к-52906)	47,4 (к-52575; 52934)	42,04 ± 0,68	8,81

**Рис. 1. Габитус растений гуара из коллекции ВИР:** слева – одностебельный неветвящийся сорт ‘Вектор’, РФ (к-52574); справа – базально ветвящийся сорт ‘Kinman’, США (к-52585)**Fig. 1. Habitus of guar plants from the VIR collection:** on the left – single-stemmed non-branching cv. ‘Vector’, Russian Federation (к-52574); on the right – basally branching cv. ‘Kinman’, USA (к-52585)

по образцам – от 3,42 до 30,18 г/раст., среднее по выборке – 16,14 г/раст., CV = 47.79%.

Масса 1000 семян – незначительно варьирующий признак (CV = 8,81%). Изменчивость средних значений по образцам – от 37,0 г до 48,2 г при среднем по выборке 42,04 г.

Соответствующие сведения имеются для каждого из изученных образцов, что является основанием для пользователей заказывать материал из коллекции с требуемыми характеристиками. Образцы с минимальным и максимальным значениями признаков приведены в таблице 1.

Наиболее значимый признак для получения камеди – семенная продуктивность растений. В нашей выборке максимальное значение признака – выше 25 г/растение – показали 5 образцов: к-52584 (США), к-52857, к-52860, к-52910, к-52918, к-52935 (Индия).

Проведенный корреляционный анализ взаимосвязей признаков показал следующие достоверные коэффициенты корреляции (табл. 2). Высота растения умеренно взаимосвязана с числом семян в бобе ($r = 0,38$), которое в свою очередь значимо связано с массой зрелых бобов ($r = 0,40$) и созревших семян с растения ($r = 0,55$), а также имеет отрицательную корреляцию с массой 1000 семян ($r = -0,56$). Масса созревших семян с растения с признаками «число узлов», «число узлов со зрелыми бобами» и «длина боба» имеет средний характер связи ($r = 0,50$, 0,64 и 0,42 соответственно), а также высокую связь с массой зрелых бобов с растения ($r = 0,87$).

Масса зрелых бобов с растения также имеет высокий уровень корреляции с числом узлов с созревшими бобами ($r = 0,71$). Очевидно, что число узлов высоко коррелирует с числом узлов обоих классов – с созревшими и невызревшими бобами ($r = 0,90$ и 0,71 соответственно). Также число узлов достоверно средне связано с числом ветвей ($r = 0,54$). В свою очередь, число ветвей также имеет среднюю характеристику связи с числом узлов со зрелыми и невызревшими бобами ($r = 0,45$ и 0,46 соответственно).

Окраска семян. Окраска семян у образцов коллекции ВИР не охватывает всю гамму, присущую семенам бобовых: от белой до черной. Отмечено четыре главных варианта окраски, в разной степени присущих образцам коллекции: серая, оттенки оливковой, светло- и темно-бежевая, коричневая разной степени интенсивности (рис. 2). Серо-оливковая и бежевая окраски характерны для большинства образцов.

Скороспелость. Эта характеристика образца сильно зависит от погодных условий. Универсальная привязка сроков созревания к определенной группе спелости крайне затруднена для разных географических локаций, к примеру для юга европейской части РФ и Индии. Известно, что в Индии скороспелые сорта созревают за 60–90 сут., позднеспелые имеют вегетационный период до 150 сут. (Pathak, 2015). В южной Италии самые скороспелые сорта созревали за 155–163 сут. (Gresta et al., 2018). В условиях РФ такой период вегетации невозможен. Поэтому о скороспелости образцов коллекции гуара ВИР, оцениваемых на территории РФ, мы судим косвенно по двум характеристикам:

1. *Вызреваемость.* Отношение числа узлов с созревшими бобами к общему числу узлов – косвенный, но важный показатель длительности вегетационного периода образцов. Чем выше этот показатель, тем скороспелее генотип. В нашем эксперименте он варьировал от 25,7 до 95,5% при среднем по выборке 60,3%. К сожалению,

дескриптора для описания и ранжирования признаков гуара нет. Алгоритм оценки степени вызреваемости мы нашли в методических указаниях для арахиса (Vakhru-sheva, 1995). Интересно, что в них этот признак позиционируется под рубрикой «Группа скороспелости (по % вызревающих бобов)». Если исходить из ранжирования генотипа арахиса на основе значений этого показателя, к скороспелым относятся генотипы с процентом вызревших бобов выше 69. В нашем опыте количество таких образцов в изученной выборке составило 37,5%. По среднему значению обсуждаемого нами показателя (60,3%) можно с большой степенью уверенности судить еще об одной важной характеристике изученных образцов – о реализации их потенциальной семенной продуктивности. В нашей выборке она реализовалась более чем наполовину.

Таким образом, критерий «вызреваемость» вполне можно использовать в качестве показателя скороспелости образцов, вегетационный период у которых продолжительнее, чем период вегетации в РФ.

2. *Фотопериодическая чувствительность.* Гуар – растение короткого дня. В работе С. Б. Архимандритовой (Тепляковой) с соавторами (Terlyukova et al., 2019) выявлен полиморфизм образцов коллекции ВИР по реакции на фотопериод и определены контрастные по этому признаку – рано и поздно цветущие генотипы. Здесь мы предлагаем алгоритм приведения полученных в нем результатов к принятому в ВИР определению коэффициента фотопериодической чувствительности $K_{фпч}$ (Koshkin, 2012), который, как сказано выше, невозможно оценить традиционным методом на фотопериодической площадке в г. Пушкине.

За короткий день приняли продолжительность фотопериода Кубанской ОС (в среднем за период изучения 15,4 ч), где образцы выращивали в поле, а за длинный – продолжительность светового дня в г. Пушкине – 18,2–18,9 ч, где те же генотипы выращивали в теплице при естественном освещении. Вычисленный $K_{фпч}$ в изученной выборке варьировал от 0,72 до 3,94. В международных классификаторах разных культур реакция на длину дня (диапазон изменчивости $K_{фпч}$) ранжируется на 3 (низкая, средняя, высокая) или на 5 классов (добавлены значения «очень низкая» и «очень высокая»). В соответствии со второй градацией мы отнесли генотипы гуара, имеющие $K_{фпч}$ менее 1,4 и 1,9, к очень низко- и низкофоточувствительным соответственно, что свидетельствует о возможности их вызревания в сравнительно высоких широтах и позволяет считать их скороспелыми. Общее количество таких генотипов составило 38,4% от исследуемой выборки.

Таким образом, по показателю вызреваемости к скороспелым генотипам относится 37,5% выборки и по фоточувствительности, изученной на другой выборке из коллекции, – 38,4%. Показатели имеют очень близкие значения. Поэтому мы считаем возможным и объективным суждение о скороспелости образцов по этим двум критериям.

Считаем уместным добавить комментарий о реакции растений южного происхождения на фотопериод высоких широт. Известно, что она срабатывает в сочетании с другими факторами окружающей среды, наиболее распространенный из которых – температура воздуха, что определяет ее как фототермальную реакцию (Vishnyakova et al., 2014; Novikova et al., 2022). Анализ температурных режимов периода перехода рано зацветающих генотипов гуара к цветению в двух разных по длине дня гео-

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между количественными признаками образцов гуара на поливе (Волгоградская опытная станция ВИР, 2024 г.)
Table 2. Correlation coefficients for quantitative traits of guar accessions under irrigation at the Volgograd Experiment Station of VIR, 2024

Признаки	Высота растения	Число ветвей	Число узлов	Число бобов в узле	Число узлов с созревшими бобами	Число зрелых бобов с растения	Длина боба	Число семян в бобе	Масса созревших семян с растения	Масса 1000 семян
Высота растения		0,11	0,09	0,03	-0,03	0,25	0,24	0,38*	0,36	-0,07
Число ветвей	0,11		0,54*	-0,23	0,45*	0,46*	-0,02	-0,13	0,07	0,19
Число узлов	0,09	0,54*		-0,18	0,90*	0,71*	0,56*	0,04	0,50*	-0,18
Число бобов в узле	0,03	-0,23	-0,18		-0,14	0,34	0,71*	0,10	0,16	0,06
Число узлов с созревшими бобами	-0,03	0,45*	0,90*	-0,14		0,34	0,05	0,13	0,64*	-0,18
Число зрелых бобов с растения	0,25	0,46*	0,71*	-0,16	0,34		0,36	-0,11	0,05	-0,11
Длина боба	0,24	-0,02	0,56*	0,20	0,71*	0,05		0,40*	0,87*	-0,29
Число семян в бобе	0,20	-0,32	-0,18	0,11	-0,04	-0,33	0,36	0,71*	0,42*	-0,30
Масса созревших семян с растения	0,36	-0,13	0,04	0,10	0,13	-0,11	0,40*		0,55*	-0,25
Масса 1000 семян	-0,07	0,19	-0,18	0,06	-0,18	-0,11	-0,29	-0,56*	-0,25	

Примечание: * – выделены достоверные коэффициенты корреляции с уровнем значимости $p < 0,05$
Note: * – statistically significant correlation coefficients with a significance level of $p < 0,05$



Рис. 2. Окраска семян у образцов гуара коллекции ВИР

Fig. 2. Seed coloration in guar accessions from the VIR collection

графических точках изучения показал их сопоставимость, поэтому мы сочли корректным определение $K_{флч}$ предлагаемым способом. Выявлена генотипическая изменчивость этого показателя и дифференциация изученных образцов на низко- и высокочувствительные к фотопериоду. Первые зацветают, развиваются и созревают значительно раньше (Terlyakova et al., 2019) и потому отнесены нами в категорию скороспелых. Метод определения $K_{флч}$ одновременно в разных географических точках с контрастным фотопериодом кажется нам приемлемым для культур с требованиями к теплообеспечению выше, чем в условиях фотопериодической площадки ВИР в г. Пушкине, если другие, в частности температурные, параметры среды в этих местах сопоставимы.

Как сказано выше, дескриптор (классификатор) гуара пока не создан. Полагаем, что полученные в нашем исследовании данные могут быть положены в основу ранжирования значений признаков для условий РФ, что оптимизирует создание признаковых коллекций и структуризацию коллекционного материала.

Необходимо отметить, что в коллекции гуара ВИР и в изученной выборке преобладают местные индийские сорта, что можно принимать как своего рода гарантию значительного генетического разнообразия и возможности поиска оригинальных геномных вариантов. Это вытекает, во-первых, из известного правила «бутылочного горла» на этапе «доместикация – селекция» – потери части генетического разнообразия при создании сортов научной селекции (Tanksley, 1997). А во-вторых, показано, что в зародышевой плазме индийского гуара более высокий уровень генетического разнообразия, по сравнению с генофондом гуара США и Пакистана, поскольку индийский генофонд состоит из многих предковых групп (Malani, 2024).

Интересно, что результаты полевого изучения гуара в Индии (Pathak, 2015; Balakumbahan et al., 2020), США (Garcia et al., 2023), Италии (Gresta et al., 2018) зачастую сравнимы с полученными нами данными по ряду параметров структуры семенной продуктивности. При этом Волгоградская область, где получена большая часть наших данных по оценке коллекции в открытом грунте, – самая северная точка выращивания и изучения гуара в мире.

Наличие созданных отечественных сортов гуара – скороспелых и сравнительно продуктивных – свидетельство того, что у культуры есть перспективы производства в РФ, а коллекция ВИР содержит еще достаточно большое неиспользованное разнообразие, оцененное и ранжированное по целому ряду селекционно значимых признаков, которое послужит исходным материалом для адресной селекции культуры. Дальнейшее развитие исследований не только пополнит знания о характеристиках генофонда, но и позволит понять механизмы адаптивности и их генетические основы.

Заключение

Проанализирована изменчивость 13 селекционно значимых признаков у образцов коллекции гуара при выращивании на Волгоградской ОС ВИР. Приведены границы изменчивости изученных признаков, их средние значения по выборке и коэффициенты варьирования. По этим показателям можно судить о селекционном потенциале образцов коллекции ВИР для использования в региональной селекции в качестве исходного материала. Предложен модифицированный способ для определения реакции образцов гуара на фотопериод и их ранжирования в соответствии с коэффициентом фотопериодической чувствительности для косвенного определения скороспелости генотипов.

References / Литература

- Balakumbahan R., Prabukumar G., Sivakumar V. Evaluation of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub) genotypes for fruit and gum yield. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*. 2020;2(5):1-4. DOI: 10.24018/ejfood.2020.2.5.ID
- Bulyntsev S.V., Valyannikova T.I., Silaeva O.I., Kopot E.I., Pimonov K. Guar: a new legume crop for Russia. In: *Innovations in Crop Cultivation Technologies: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Persianovka: Don State Agrarian University; 2017. p.167-172. [in Russian] (Булынецов С.В., Вальянникова Т.И., Силаева О.И., Копоть Е.И., Пимонов К.И. Гуар – новая бобовая культура для России. В кн.: *Инновации*

- в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Персиановка: Донской ГАУ; 2017. С.167-172).
- Dzyubenko E.A. Intraspecies polymorphism of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Vavilovia*. 2021;4(3):16-39. [in Russian] (Дзюбенко Е.А. Внутривидовой полиморфизм гуара (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Vavilovia*. 2021;4(3):16-39). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-3-16-39
- Garcia A., Grover K., VanLeeuwen D., Stringam B., Schutte B. Growth and performance of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes under various irrigation regimes with and without biogenic silica amendment in arid Southwest US. *Plants (Basel)*. 2023;12(13):2486. DOI: 10.3390/plants12132486
- Gresta F., Avola G., Cannavò G., Santonoceto C. Morphological, biological, productive and qualitative characterization of 68 guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes. *Industrial Crops and Products*. 2018;114:98-107. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.01.070
- Koshkin V.A. Methodical approaches of diagnosis of photoperiodical sensitivity and earliness of plants. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;170:118-129. [in Russian] (Кошкин В.А. Методические подходы в диагностике фотопериодической чувствительности и скороспелости растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;170:118-129).
- Kruchina-Bogdanov I.V., Miroshnichenko E.V., Shaukharov R.A., Kantemirova E.N., Golovina M.A., Abdullaev K.M. et al. Impact of growing conditions on the gum properties of different genotypes of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(7):941-948. DOI: 10.18699/VJ19.570
- Kuravadi N., Verma S., Pareek S., Gahlot P., Kumari S., Tanwar U. et al. Guar: an industrial crop from marginal farms In: G.S. Bhullar, N.K. Bhullar (eds). *Agricultural Sustainability: Progress and Prospects in Crop Research*. Amsterdam: Elsevier; 2013. p.47-60. DOI: 10.1016/B978-0-12-404560-6.00003-4
- Lebed D.V., Kostenkova E.V., Voloshin M.I. Agronomic rationale for the placement of *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) in the south of the European part of Russia. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2017;1(9):53-64. [in Russian] (Лебедь Д.В., Костенкова Е.В., Волошин М.И. Агрономическое обоснование размещения посевов *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) на юге европейской части России. *Таврический вестник аграрной науки*. 2017;1(9):53-64).
- Malani S., Ravelombola W., Manley A., Pham H. Genetic diversity and population structure analysis in guar. *Plants*. 2024;13(22):3183 DOI: 10.3390/plants13223183
- MMR. Guar gum market: global industry analysis and forecast (2025–2032): [website]. Available from: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-guar-gum-market/17787> [accessed Apr. 27, 2025].
- Novikova L., Seferova I., Matvienko I., Shchedrina Z., Vishniyakova M. Photoperiod and temperature sensitivity in early soybean accessions from the VIR collection in Leningrad Province of the Russian Federation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2022;46(6):947-954. DOI: 10.55730/1300-011X.3055
- Pathak R. Clusterbean: physiology, genetics and cultivation. Singapore: Springer; 2015. DOI: 10.1007/978-981-287-907-3
- Radchenko E.E., Sokolova D.V. Resistance of guar *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. to harmful organisms (review). *Agricultural Biology*. 2018;53(5):897-906. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.897eng
- Sindhuja S., Malik D.P., Kundu S., Kundu K.K. Trends and economic dynamics of guar in India. *Economic Affairs*. 2022;67(5):769-785. DOI: 10.46852/0424-2513.5.2022.11
- State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Admitted for Usage: [website]. [in Russian] (Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: [сайт]). URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni> [дата обращения: 18.06.2025].
- Tanksley S.D., McCouch S.R. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science*. 1997;277(5329):1063-1066 DOI: 10.1126/science.277.5329.1063
- Teplyakova S.B., Volkov V.A., Dzyubenko E.A., Potokina E.K. Variability of the photoperiod response in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes of different geographic origin. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):100-107. DOI: 10.18699/VJ19.547
- Thombare N., Jha U., Mishra S., Siddiqui M.Z. Guar gum as a promising starting material for diverse applications: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016;88:361-372. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001
- Vakhrusheva T.E. Evaluation of the peanut collection (*Arachis hypogaea* L.). Guidelines (Izucheniye kollektsii arakhisa (*Arachis hypogaea* L.). Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1995. [in Russian] (Вахрушева Т.Е. Изучение коллекции арахиса (*Arachis hypogaea* L.). Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР; 1995).
- Vishnyakova M.A., Dzyubenko E.A., Kocherina N.V., Agakhnov M.M., Shaukharov R.A. Phenotyping of guar accessions from the VIR collection under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(1):93-105. [in Russian] (Вишнякова М.А., Дзюбенко Е.А., Кочерина Н.В., Агаханов М.М., Шаухаров Р.А. Фенотипирование образцов гуара из коллекции ВИР в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(1):93-105). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-93-105
- Vishnyakova M.A., Koshkin V.A., Egorova G.P., Novikova L.Yu., Matvienko I.I. The photoperiod and temperature sensitivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the North-West of Russia. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2014;(5):123-132. [in Russian] (Вишнякова М.А., Кошкин В.А., Егорова Г.П., Новикова Л.Ю., Матвиенко И.И. Фотопериодическая и температурная чувствительность фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) в условиях Северо-Запада РФ. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2014;(5):123-132).
- Vishniyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.V., Burlyaeva M.O., Semenova E.V., Filipenko G.I., Aleksandrova T.G., Egorova G.P., Yankov I.I., Bulyntsev S.V., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying. Guidelines. St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Филипенко Г.И., Александрова Т.Г., Егорова Г.П., Яньков И.И., Булынецев С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение. Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР; 2018).

дические указания. Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-79-5

Voloshin M.I., Bepalov E.A. Optimization of plant density of *Cyatopsis tetragonoloba* L. on the leached chernozems of western Ciscaucasia. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2019;2(18):15-22. [in Russian] (Волошин М.И., Беспалов Е.А. Оптимизация густоты стояния посевов гуара (*Cyatopsis tetragonoloba* L.) на

выщелоченном черноземе западного Предкавказья. *Таврический вестник аграрной науки*. 2019;2(18):15-22. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-15-22

Whistler R.L. Guar – a new industrial crop. *Chemistry and Industry*. 1948;62:60-61.

Whistler R.L., Hymowitz T. Guar: agronomy, production, industrial use, and nutrition. West Lafayette, IN: Purdue University Press; 1979.

Информация об авторах

Маргарита Афанасьевна Вишнякова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, m.vishnyakova.vir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

Рамазан Абатович Шаухаров, специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, 404160 Россия, Волгоградская область, Среднеахтубинский район, Краснослободск, квартал Опытная станция ВИР, 30, romanshauharov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9794-104X>

Наталья Викторовна Кочерина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, alle007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8791-1899>

Серафима Борисовна Архимандритова, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, serafima.teplyakova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5624-4245>

Елена Александровна Дзюбенко, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, elena.dzyubenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4576-1527>

Information about the authors

Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, m.vishnyakova.vir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

Ramazan A. Shaukharov, Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Volgograd Experiment Station – branch of VIR, 30 VIR Exp. Station Block, Krasnoslobodsk 404160, Russia, romanshauharov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9794-104X>

Natalia V. Kocherina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alle007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8791-1899>

Serafima B. Arkhimandritova, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, serafima.teplyakova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5624-4245>

Elena A. Dzyubenko, Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, elena.dzyubenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4576-1527>

Вклад авторов: Вишнякова М. А. – концепция; анализ данных; написание. Шаухаров Р. А. – фенотипирование. Кочерина Н. В. – статистическая обработка и интерпретация данных. Архимандритова С. Б. – сбор и анализ данных по фотопериоду. Дзюбенко Е. А. – иллюстрации, редактирование

Contribution of the authors: Vishnyakova M. A. – conceptualization; data analysis; writing. Shaukharov R. A. – phenotyping. Kocherina N. V. – statistics and data interpretation. Arkhimandritova S. B. – photoperiod data collection and analysis. Dzyubenko E. A. – illustrations and editing.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 01.08.2025; одобрена после рецензирования 22.08.2025; принята к публикации 04.09.2025. The article was submitted on 01.08.2025; approved after reviewing on 22.08.2025; accepted for publication on 04.09.2025.