

Научная статья

УДК 631.522/.524:633.37(470.45)

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-01



Содержание и вязкость камеди в образцах гуара коллекции ВИР, выращенных в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области

И. В. Кручина-Богданов¹, Л. Ю. Новикова², Р. А. Шаухаров³, М. А. Вишнякова²

¹ ООО «АМТ», Санкт-Петербург, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, Волгоград, Россия

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

Актуальность. Камедь гуара *Suamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. – зернобобового растения тропического происхождения – важный стратегический ресурс, используемый в таких основополагающих отраслях экономики России, как добыча нефти и газа. Это полисахарид галактоманнан с высокой гелеобразующей способностью, благодаря чему он используется в качестве загустителя и стабилизатора во многих других секторах отечественной экономики. Российская Федерация (РФ) закупает гуаровую камедь (ГК) на внешнем рынке. После интродукции гуара в РФ в начале XXI века появились перспективы производства отечественной камеди. В связи с этим необходимы исследования генофонда культуры для выявления количества и качества продуцируемой растениями камеди в зависимости от генотипа и среды. **Материал и методы.** Анализировали 12 образцов гуара из коллекции ВИР: четыре толерантных, четыре чувствительных и четыре нейтральных по отношению к засухе. Содержание камеди в семенах и приведенную удельную вязкость определяли ускоренным лабораторным методом получения вытяжек камеди для вискозиметрической оценки. Статистическая обработка данных проведена в пакете Statistica 13.3. **Результаты.** Содержание камеди в семенах в среднем по выборке составило 22,3%, а приведенной удельной вязкости (η) 10770. Концентрация ГК слабо зависит от проанализированных в опыте факторов: год, режим водоснабжения, отношение образца к водоснабжению. Установлено, что на изменчивость значений η решающее влияние оказывает генотип (51%), влияния искусственной засухи, устанавливаемой после начала плодообразования, на этот признак не обнаружено. Выявлены образцы с наибольшими показателями ГК и η . **Заключение.** Сравнительно большое значение η обнаружено у генотипов, толерантных к засухе. Год эксперимента оказался вторым по значимости фактором после генотипа. Полагаем, что более продолжительный период созревания в 2023 году и более высокая сумма накопленных активных температур способствовали большему содержанию и большей приведенной удельной вязкости камеди.

Ключевые слова: гуар, количество и качество камеди, водоснабжение, условия года

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

Для цитирования: Кручина-Богданов И.В., Новикова Л.Ю., Шаухаров Р.А., Вишнякова М.А. Содержание и вязкость камеди в образцах гуара коллекции ВИР, выращенных в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):17-28. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-01

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Кручина-Богданов И.В., Новикова Л.Ю., Шаухаров Р.А., Вишнякова М.А., 2025

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-01

Gum content and viscosity in VIR guar accessions grown under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Region

Igor V. Kruchina-Bogdanov¹, Lyubov Yu. Novikova², Roman A. Shaukharov³, Margarita A. Vishnyakova²¹ AMT, Ltd., St. Petersburg, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia³ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Volgograd Experiment Station – a branch of VIR, Volgograd, Russia**Corresponding author:** Margarita A Vishnyakova, m.vishnyakova.vir@gmail.com

Background. The gum extracted from guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.), a tropical legume, is an important strategic resource required in such fundamental sectors of the Russian economy as oil and gas production. It is a polysaccharide galactomannan with high gelling capacity, making it used as a thickener and stabilizer in many other sectors of the national economy. The Russian Federation imports guar gum. Following the introduction of guar to the Russian Federation in the early 21st century, opportunities for domestic gum production emerged. In this regard, research is needed to determine how the quantity and quality of the plant-produced gum depend on genotype and environment, and to find ways to maximize these characteristics. **Materials and Methods.** Twelve guar accessions from the VIR collection were analyzed: four tolerant, four sensitive and four neutral to drought. Seed gum content and the reduced specific viscosity were determined using a rapid laboratory method for obtaining gum extracts for viscometric evaluation. The data were statistically processed using the Statistica 13.3 package. **Results.** The average gum content in the seeds across the accessions was 22.3%, and the reduced specific viscosity (η) was 10,770. The gum content was found to weakly depend on such analyzed factors as the year, water supply regime, and the response of the accession to water supply. It was established that the variability of the reduced specific viscosity was mostly affected by the genotype (51%). The content and reduced specific viscosity of gum in guar seeds were insensitive to artificial drought initiated after the onset of fruiting and to the water supply regime. The accessions with the highest gum content and η values have been identified. **Conclusions.** A comparatively higher reduced specific viscosity of gum was found in drought-tolerant genotypes. The year of the experiment turned out to be the second most important factor after the genotype. We suppose that the longer maturation period in 2023 and the higher total accumulated active temperatures contributed to the higher content and higher reduced specific viscosity of the gum.

Keywords: guar, gum quality and quantity, water supply, year conditions**Acknowledgements:** This study was supported by the Russian Science Foundation under research project No. 23-16-00195 dated May 15, 2023**For citation:** Kruchina-Bogdanov I.V., Novikova L.Yu., Shaukharov R.A., Vishnyakova M.A. Gum content and viscosity in VIR guar accessions grown under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Region. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):17-28. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-01

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Kruchina-Bogdanov I.V., Novikova L.Yu., Shaukharov R.A., Vishnyakova M.A., 2025

Введение

Камедь, получаемая из семян гуара *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. – бобового растения тропического происхождения – важный ингредиент, используемый в разных отраслях промышленности. Натуральные камеди – это природные полисахариды, способные значительно повышать вязкость раствора даже при минимальных концентрациях.

Камедь гуара – галактоманнан – состоит из сложных углеводных полимеров галактозы и маннозы, соотношение которых может варьировать. Галактоманнан обладает одной из самых высоких молекулярных масс среди всех встречающихся в природе водорастворимых полимеров, имеет высокую гелеобразующую способность, нетоксичен (Thombare, 2016).

Гуаровая камедь широко используется в пищевой, бумажной, фармакологической и других отраслях народного хозяйства. Особую значимость камеди на современном мировом рынке определяет ее использование для гидравлического разрыва пласта при бурении нефтяных и газовых скважин. В 2025 году мировой рынок гуаровой камеди достиг 1,34 млрд долларов и его ежегодный рост прогнозируется в 4,8%. Основные поставщики камеди гуара на мировой рынок – Индия и Пакистан, а основные импортеры – США, РФ и Германия (Guar Market, 2025).

В наши дни технологическая независимость России, импортозамещение в сфере технологий и ресурсов для них, особенно в связи с долгосрочным характером санкций – приоритеты экономического развития. Поэтому гуаровую камедь, используемую в таких основополагающих отраслях экономики России как добыча нефти и газа, можно отнести к категории стратегических ресурсов.

Перспектива производства собственной камеди в РФ зависит от организации масштабного выращивания гуара. По агроклиматическим условиям для этого благоприятен климат Южного федерального округа, куда в начале XXI века интродуцировали гуар из юго-западной Азии (Dzyubenko et al., 2017). Имеющиеся на сегодняшний день попытки возделывания гуара в ряде южных областей страны свидетельствуют о возможности его выращивания в РФ, но пока недостаточно системны. Это касается, во-первых, отсутствия знания дифференциации генофонда гуара по адаптивности к разным агроклиматическим условиям, в частности, к количеству осадков, которое может различаться даже в пределах одной области (Gudko et al., 2024). Во-вторых, пока нет достаточно убедительного анализа количества и качества продуцируемой растениями камеди в зависимости от генотипа

и среды и, соответственно, разработки комплекса мероприятий, необходимых для максимизации этих показателей камеди.

Единственное исследование зависимости количества и качества камеди от условий среды было организовано в ВИР в 2017-2018 годах. На южных опытных станциях (ОС) института, климатические условия которых отвечают критериям теплообеспеченности гуара, исследовали 13 образцов из коллекции ВИР на богаре и при орошении. Убедительно показано, что при выращивании на Волгоградской, Астраханской, Дагестанской и Кубанской ОС ВИР максимальные показатели процентного содержания камеди и ее вязкости отмечены на первых двух, где был обеспечен полив. Показатели на двух других станциях, в отсутствие водоснабжения, были значительно ниже (Kruchina-Bogdanov et al., 2019). Наше исследование в определенной степени является продолжением этого анализа с использованием другого набора образцов из коллекции ВИР, выращенных при разных режимах полива и в условиях искусственной засухи на Волгоградской ОС ВИР.

Целью данного исследования был анализ генотипической изменчивости содержания и вязкости камеди в образцах коллекции ВИР, по-разному переносящих дефицит воды, и зависимости этих показателей от условий выращивания.

Материалы и методы

Материалом послужили 12 образцов гуара из коллекции ВИР: толерантные, чувствительные и нейтральные к водоснабжению, что в данной статье мы называем «статусом образцов» (табл. 1).

Эта дифференциация основана на анализе стабильности семенной продуктивности и элементов ее структуры при выращивании образцов на Волгоградской ОС ВИР (48°42' с. ш., 44°34' в. д.) в 2023 и 2024 годах при разных режимах капельного орошения (Vishnyakova et al., 2025). Пятьдесят образцов из коллекции ВИР в 2023 году и 30 выбранных из них по результатам года как наиболее продуктивные в следующем, 2024 году, репродуцировали в двух повторностях: при поливе в течение всей вегетации и в условиях искусственной засухи, созданной после начала плодообразования. Норма полива в 2023 году – 5 л/растение в неделю, в 2024 году – 2,5 л/растение в неделю. Эти условия мы называем «режимом водоснабжения» (табл. 2). Посевы были изолированы от естественных осадков полиэтиленовым тентом.

Таблица 1. Исследованные образцы

Table 1. Accessions studied

№/ No.	№ каталога ВИР/ VIR catalogue No.	Образец/ Accession	Страна-донор/ Donor country	Статус образца в отношении к дефициту водоснабжения/ Accession status in relation to water shortage
1	52854	местный*	Индия	нейтральный
2	52877	Cluster Beans Long Kothu Avarai	Индия	толерантный
3	52891	Suvti	Индия	нейтральный
4	52904	J.C.8926	Индия	чувствительный
5	52910	P.L.G.850	Индия	толерантный
6	52918	местный*	Индия	чувствительный
7	52924	местный*	США	чувствительный
8	52926	местный*	США	чувствительный
9	52931	Cluster Beans	США	нейтральный
10	52932	местный*	Пакистан	нейтральный
11	52937	PLG 422	Индия	толерантный
12	52938	J.C. 3118	Индия	толерантный

* – традиционный/стародавний сорт/

Таблица 2. Варианты полевого опыта выращивания гуара на Волгоградской опытной станции ВИР, 2023-2024 годы

Table 2. Variants of field experiment on cultivating guar at the Volgograd Experiment Station of VIR, 2023-2024

№/ No.	Год/ Year	Режим водоснабжения/ Water supply regime	Количество подаваемой воды/ Amount of water supplied	Дополнительные условия/ Additional conditions
1	2023	Полив в течение всей вегетации	5 л/растение в неделю	Изоляция от естественных осадков (полиэтиленовый тент)
2	2023	Прекращение полива после начала плодообразования	-	- « -
3	2024	Полив в течение всей вегетации	2,5 л/растение в неделю	- « -
4	2024	Прекращение полива после начала плодообразования	-	- « -

Содержание камеди в семенах – ГК (весовой %) и приведенную удельную вязкость η (безразмерная, условные единицы) определяли ускоренным лабораторным методом получения вытяжек камеди для вискозиметрической оценки в соответствии с «Методическими указаниями по определению биохимических признаков сортов гуара для использования камеди в бурильных работах» (Kruchina-Bogdanov et al., 2019).

Проанализированы характеристики камеди у образцов, выращенных в условиях оптимального полива и засухи, и рассчитан индекс их стабильности аналогично индексу стабильности урожайности YSI (yield stability index) (Bouslama, Schapaugh, 1984).

$$YSI = Y_s / Y_p$$

где Y_s – характеристика при засухе,

Y_p – характеристика при поливе

В качестве характеристик стабильности образца рассчитаны коэффициенты вариации изученных признаков по четырем вариантам опыта и коэффициенты регрессии на условия среды по Эберхарту и Расселу (Eberhart, Russell, 1966). Дисперсионный анализ с апостериорными сравнениями по критерию Фишера LSD проведен в пакете Statistica 13.3. В исследовании принят уровень значимости 5%.

Погодные условия эксперимента. Средняя суточная температура воздуха взята с сайта (meteo.ru, 2025) для метеостанции в Волгограде, которая работает в соот-

ветствии со стандартами Всемирной метеорологической организации (World Meteorological Organization Identifier, WMO ID 34561). В целом вегетационный период гуара в 2024 году был более теплым, чем в 2023 году. Средняя температура апреля составила в 2023 году 7°C, в 2024 году 11°C, что позволило осуществить посев в 2024 году 18 апреля (рис. 1) – раньше, чем в 2023 году, в котором посев проводили 28 апреля. Продолжительность периода от посева до конца цветения/ начала плодообразования (окончания полива) в оба года составила 56 суток, сумма температур за этот период примерно одинакова, 1083,5°C в 2023 году и 1051,9°C в 2024 году. Уборка была произведена в 2024 году значительно раньше (29-30 августа), чем

в 2023 (25-27 сентября). Средняя температура «посев-конец цветения» в 2024 году (18,9°C) была ниже, чем в 2023 году (19,3°C) из-за более прохладного мая, а периода «конец цветения-уборка» – выше в 2024 году (25,2°C), чем в 2023 году (23,3°C). Период от конца цветения до уборки в 2024 году был короче – 78 сут., в 2023 году – 96 сут. В результате сумма температур за этот период в 2024 году была меньше (1965,9°C), чем в 2023 году (2234,9°C). Уборка проведена на 26 суток раньше, чем в предыдущем году, в том числе из-за начавшегося спонтанного вскрытия созревающих бобов. В целом период «посев-уборка» в 2024 году был на 17 суток короче, чем в 2023 году, и составлял 134 и 151 суток соответственно.



Рис. 1. Средняя декадная температура воздуха и даты посева, конца цветения и уборки гуара за два года эксперимента, Волгоградская опытная станция ВИР

Fig. 1. Average ten-day air temperature and dates of guar sowing, flowering termination, and harvesting in two years of the experiment, Volgograd Experiment Station of VIR

Результаты

Факторы, влияющие на содержание и приведенную удельную вязкость гуаровой камеди. Средний показатель ГК в семенах за оба года во всех вариантах опыта составил 22,3%, содержание приведенной удельной вязкости (η) – 10770. Средние для выборки показатели содержания камеди в 2023 году как в условиях полива, так и при засухе были выше по сравнению с 2024 годом (табл. 3). При засухе наблюдалась недостоверная тенденция к снижению ГК в оба года исследования на 0,3-0,4%. Влияние окружающей среды на η было недостоверным и разнонаправленным: в 2023 году η в условиях засухи снизилась на 1236 условных единиц, в 2024 году повысилась на 106 (рис. 4). Максимальные значения ГК и η были зарегистрированы в 2023 году в условиях полива, мини-

мальные – в 2024 году, при этом показатели, полученные в условиях двух режимов, полива и засухи, не различались.

Трехфакторный дисперсионный анализ (год, полив, сорт) показал, что на ГК значимо влиял только год эксперимента ($p=0,002$); генотип и режимы полива влияли незначимо ($p=0,148$ и $p=0,541$). На η значимо влиял и год ($p<0,001$), и генотип ($p<0,001$), полив – незначимо ($p=0,189$). Доля влияния года на содержание камеди составила 17,9%, генотипа – 27,6%, полива – 0,6%, неизвестных факторов – 53,9%. Доля влияния факторов на η составила: 19,3% – год, 51,3% – генотип, 1,5% – полив, 27,9% – неизвестные факторы. Таким образом, наиболее заметным выявленным фактором был генотип, контролирующей большую часть (51,3%) изменчивости приведенной удельной вязкости камеди. В содержании каме-

ди бóльшая часть изменчивости (53,9%) контролируется неизвестными факторами.

Нами выделены две контрастные группы генотипов по приведенной удельной вязкости по критерию Фише-

ра (LSD): со средней вязкостью в опыте выше 11000 у.е. (группа «с» на рис. 2б) и ниже 8900 у.е. (группа «а» на рис. 2б). По содержанию камеди генотипы, как было сказано выше, не различались (рис. 2а).

Таблица 3. Содержание камеди в семенах, различающихся по устойчивости к засухе образцов гуара в четырех вариантах опыта на Волгоградской ОС, 2023-2024 годы

Table 3. Gum content in seeds of guar accessions differing in drought tolerance in four experimental variants at the Volgograd Experiment Station, 2023-2024

Статус образца в отношении к дефициту водоснабжения/ Accession status in relation to water shortage	Содержание камеди в семенах, %/ Gum content in seeds, %			
	2023		2024	
	Полив (5 л/раст./неделя)/ Watering (5 l/plant/week)	Засуха/ Drought	Полив (2,5 л/раст./неделя)/ Watering (2.5 l/plant/week)	Засуха/ Drought
Толерантные к засухе/ Tolerant to drought	25,03±0,50	23,38±0,8	20,98±1,70	20,83±1,47
Нейтральные к режиму водоснабжения/ Neutral to water supply	24,3±1,35	22,90±0,46	21,75±0,73	20,95±1,28
Чувствительные к засухе/ Sensitive to drought	21,58±1,28	23,28±1,25	21,88±0,47	20,83±0,96
Среднее для всех образцов/ Average for all accessions	23,5±0,76	23,18±0,47	21,53±0,59	21,12±0,74

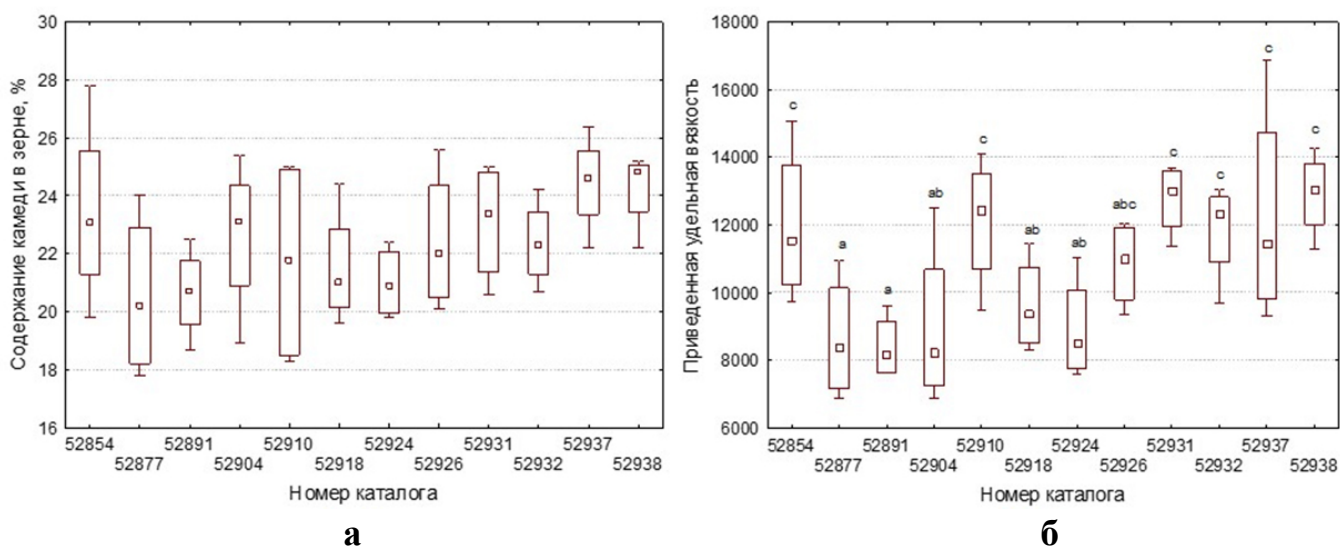


Рис. 2. Генотипическая изменчивость а) содержания и б) приведенной удельной вязкости камеди у 12 образцов гуара в четырех вариантах опыта, Волгоградская ОС, 2023-2024 годы

Fig. 2. Genotypic variability of gum a) content and б) reduced specific viscosity in 12 guar accessions in four experimental variants, Volgograd Experiment Station, 2023-2024

Индекс засухоустойчивости ГК (отношение значений в условиях засухи и при поливе) варьировал в 2023 году от 0,8 до 1,3, в 2024 году – от 0,8 до 1,2; η – от 0,7 до 1,1 в 2023 году, в 2024 году от 0,7 до 1,5. Таким образом, в условиях засухи наблюдались как снижение содержания камеди до 20%, так и повышение до 30%; как снижение вязкости до 30%, так и повышение до 50%.

Корреляционные связи характеристик гуаровой камеди. В каждом из 4-х вариантов опыта наблюдалась положительная корреляция ГК и η , максимальная в 2023 году в условиях полива $r = 0,75$. В остальных вариантах корреляции недостоверны (в 2023 году в условиях засухи $r = 0,46$, в 2024 году в условиях полива $r = 0,42$, при засухе $r = 0,28$). По совокупности 4-х опытов корреляция достоверна: $r = 0,58$. В среднем при увеличении концентрации камеди на 1% вязкость увеличивается на 564,2.

Ранговые корреляции образцов (по Спирмену) в 4-х вариантах опыта по ГК не были достоверны: в 2023 году в условиях засухи и полива $r = 0,07$, в 2024 году $r = 0,50$ ($p = 0,095$); в условиях полива в 2023 и 2024 годах $r = 0,26$, при засухе $r = 0,10$. Ранжирование по η было более устойчивым – наблюдалась значимая связь рангов в трех из четырех опытов, корреляция была незначима только между рангами образцов при разных режимах полива в 2023 году: $r = 0,48$ ($p = 0,112$), остальные – значимы: в 2024 году между режимами полива $r = 0,68$; в условиях полива в 2023 и 2024 годах $r = 0,60$, самая сильная – между режимами «засуха» в 2023 и 2024 годах: $r = 0,80$. Таким образом, подтвердилась связь приведенной удельной вязкости

камеди с генотипом гуара.

Поскольку влияние полива было незначимо, мы посчитали варианты полив/ засуха повторностями. Усредненные по режимам водоснабжения значения η коррелировали между годами сильнее, чем в отдельных опытах, $r = 0,82$, в случае ГК – незначимо: $r = 0,18$. Таким образом, в условиях различной теплообеспеченности и продолжительности формирования семени ранг генотипа в отношении приведенной удельной вязкости камеди сохранялся, а абсолютные значения были выше в год с большей суммой температур за период созревания.

Сравнение характеристик камеди у групп образцов разного статуса. Связь характеристик камеди со стабильностью семенной продуктивности при разных режимах водоснабжения, выраженной через статус образца, исследована по средним значениям за год. Группы образцов разного статуса не различались значимо средним содержанием камеди ($p = 0,565$), влияние года было значимо ($p = 0,003$), содержание ГК во всех группах показало тенденцию к снижению в 2024 году (взаимодействие факторов группа и год незначимо, $p = 0,512$) (рис. 3). Приведенная удельная вязкость у образцов разного статуса была различна ($p = 0,023$), взаимодействия года и этого показателя не было ($p = 0,764$). Наибольшая η была у группы толерантных к засухе генотипов в 2023 году: среднее значение для четырех генотипов – 12539, которое достоверно превысило показатель – 8320 – в случае чувствительных образцов в 2024 году.

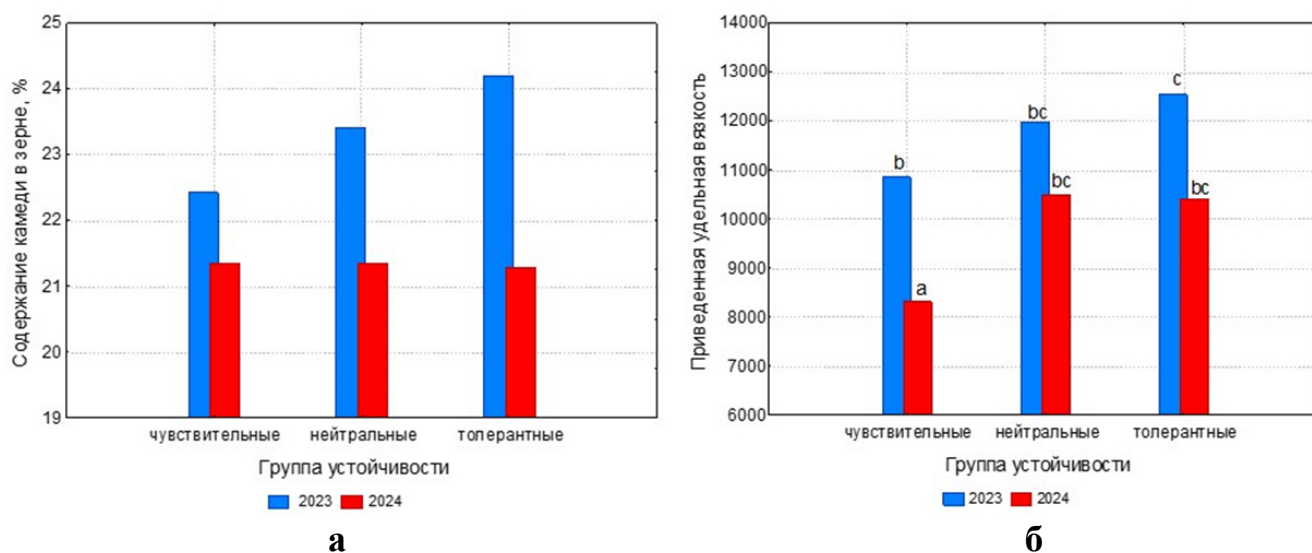


Рис. 3. Характеристики камеди в группах образцов гуара с разным отношением к водоснабжению, Волгоградская ОС. а) содержание камеди; б) приведенная удельная вязкость. Одинаковыми буквами отмечены достоверно не различающиеся группы

Fig. 3. Gum characteristics in groups of guar accessions with different water supply status, Volgograd Experiment Station. а) gum content; б) reduced specific viscosity. The groups that do not differ significantly are marked with same letters

Таким образом, толерантные к засухе образцы имели сравнительно бóльшую η и более высокий процент ГК.

Стабильность характеристик камеди у образцов. Выделяющиеся по высокому значению показателя η образцы к-52932, к-52854, к-52910, к-52937, к-52931, к-52938 характеризовались разной ее стабильностью (табл. 4). По степени варьирования выделяются два образца из перечисленных: к-52931 и к-52938 с коэффициентами вариации 8,3% и 9,7% соответственно. По коэф-

фициенту b_i лучшими считаются образцы со значениями, близкими к единице, в данном случае со значениями 0,9-1,2. Это образцы к-52877, к-52924, к-52926, к-52938.

Как видно из таблицы 4, максимальное значение η и одно из самых высоких значений ГК определены у J.C. 3118 (к-52938, Индия), который по нашей классификации (см. табл. 1) относится к группе толерантных к засухе образцов.

Таблица 4. Изменчивость характеристик камеди у образцов гуара в четырех вариантах опыта

Table 4. Variability of gum characteristics in guar accessions across four experimental variants

№ каталога ВИР*/ VIR catalogue No.*	Статус образца/ Accession status	Содержание камеди в зерне, %/ Gum content in seeds, %				Приведенная удельная вязкость/ Reduced specific viscosity			
		Среднее/ Average	Стандартное отклонение/ SD	CV**, %	b_i ***	Среднее/ Average	Стандартное отклонение/ SD	CV**, %	b_i ***
52891	нейтр.	20,7	1,6	7,6	1,1	8390	950	11,3	0,5
52877	толер.	20,6	2,9	14	2,3	8652	1852	21,4	0,9
52924	чувств.	21	1,3	6	-1	8907	1573	17,7	1,2
52904	чувств.	22,6	2,7	12	1,9	8961	2484	27,7	1,9
52918	чувств.	21,5	2,1	9,6	0,9	9623	1417	14,7	0,7
52926	чувств.	22,4	2,5	11	0,1	10854	1289	11,9	0,9
52932	нейтр.	22,4	1,5	6,6	0,7	11853	1498	12,6	0,3
52854	нейтр.	23,4	3,3	14,1	2,2	11979	2337	19,5	1,3
52910	толер.	21,7	3,7	17	3,1	12097	1971	16,3	0,2
52937	толер.	24,5	1,7	7,1	1	12258	3353	27,4	2,6
52931	нейтр.	23,1	2,1	9,1	0,4	12765	1060	8,3	0,6
52938	толер.	24,3	1,4	5,7	0,7	12907	1256	9,7	0,9

* Образцы перечислены в порядке увеличения вязкости/ Accessions arranged in order of increasing average viscosity

** CV – коэффициент вариации, %/ coefficient of variation, %;

*** b_i – коэффициент регрессии на условия среды по Эберхарту, Расселлу/ Eberhart and Russell regression coefficient for environmental conditions (Eberhart, Russell, 1966)

Статус образца/ Accession status: нейтр. – нейтральный/ neutral; чувств. – чувствительный/ sensitive; толер. – толерантный/ tolerant

Обсуждение

Гуар имеет репутацию засухоустойчивого растения (Undersander et al., 1991; Sultan et al., 2012), тем не менее требующего определенного количества осадков перед посевом и для инициации созревания семян (Anderson, 1949). Показано, что избыток влаги на ранней стадии роста и после созревания семян приводит к снижению качества бобов гуара (Heune, Whistler, 1948). По нашим данным, водоснабжение – фактор, в значительной мере определяющий стабильность семенной продуктивно-

сти растений гуара (Vishnyakova et al., 2025). В мировом генофонде гуара выявлена дифференциация генотипов по отношению к водоснабжению, а именно контрастные по отношению к засухе образцы: устойчивые и неустойчивые (Stafford et al., 1991; Khanzada et al., 2001; Al-Shameri et al., 2017; Avola et al., 2020; Pandey et al., 2022). Аналогичная дифференциация выявлена нами у образцов гуара из коллекции ВИР (Vishnyakova et al., 2025). Однако исследования количества и качества камеди у образцов, по-разному переносящих дефицит воды, нам неизвестны.

Работ по изменчивости содержания камеди в семе-

нах у различных генотипов гуара, имеющих в мировых генбанках, немного. Еще меньше работ, показывающих зависимость ГК и η от условий среды. В работе А. Joshi с соавторами (Joshi et al., 2015) проанализированы значения этих показателей у 15 генотипов, выращиваемых в четырех географических пунктах. Размах изменчивости ГК в эксперименте – 26,12-31,46%, вязкости – от 2104 до 6240. При этом различие в первой характеристике у одного образца в разных пунктах могло составлять четыре и более процента, к примеру 26,77% и 30,93%, а показатель вязкости имел разницу в 4020 у. ед. (2020 и 6240).

В работе В. Dinesha с соавторами (Dinesha et al., 2021) была выявлена генотипическая изменчивость ГК в пределах 23%-30,33% и вязкости – от 2055,17 до 3167,9 единиц. Для 9 образцов гуара из коллекции Хизарского аграрного университета (Индия) показано значение ГК 29,10%-31,34%, но у селекционных линий, созданных специально для получения камеди, – 35,35-36,75 (Guar status, potential..., 2015). Большой размах изменчивости ГК выявлен в выборке из 40 генотипов коллекции исследовательского института центральной аридной зоны г. Джодхпур (Индия): от 7,6% до 30,93% (Sharma et al., 2025).

Анализ биохимического состава семян шести сортов гуара из разных стран юго-западной части Сицилии (Gresta et al., 2017) показал, что среднее содержание галактоманнана в изученной выборке составило 30%, а генотипическая изменчивость находилась в пределах от 28,6% до 34,6%. Исследователи подсчитали выход камеди у изученной выборки сортов в промышленных масштабах – в среднем 0,55 т/га, с вариацией от 0,46 т/га у сорта 'Matador' (США) до 0,66 т/га у сорта 'Lewis' (США). Самые высокие показатели ГК показаны для современных российских сортов – до 47% (Characteristics of plant varieties, 2024).

Попытки оценить влияние среды на урожайность семян и характеристики камеди у 22 образцов гуара в г. Хайдарабад (Индия), предпринятые в течение трех сезонов, характеризовавшихся небольшими погодными различиями, привели исследователей к заключению, что ГК и вязкость незначительно зависели от условий выращивания растений (Naik et al., 2013). К аналогичным выводам пришли иранские ученые: сроки посева и плотность растений на делянке (Mahdipour-Afra et al., 2021), а также режим орошения (Meftahizadeh et al., 2019) не влияли на содержание камеди.

В контексте процитированных исследований определенные нами показатели ГК в изученных образцах, имеющие размах изменчивости 20,6%-24,5% при среднем во всех вариантах опыта 22,3%, следует считать относительно низкими.

Особенно странным кажется то обстоятельство, что при определении количества и качества камеди у 13 образцов из коллекции ВИР на Волгоградской ОС ВИР в 2018 году изменчивость ГК фиксировали в пределах 32%-48%, со средним значением 40,7% (Kruchina-Bogdanov et al., 2019), то есть почти в два раза выше пока-

зателей настоящего исследования.

Мы склонны объяснить это разницу следующими причинами:

во-первых, в 2018 году посева на Волгоградской ОС ВИР находились в открытом поле, а в нашем опыте – под полиэтиленовым тентом, установленным во избежание попадания естественных осадков. Известно, что радиационный режим под укрытием (парники, теплицы) при солнечном обогреве существенно отличается от режима в посевах открытого грунта (Losev, Zhurina, 2003). По характеристикам продукции, публикуемым производителями в разных источниках, полиэтиленовая пленка пропускает 80-90% видимого света, и ее прозрачность для солнечных лучей снижается до 40-60% уже к концу первого сезона;

во-вторых, посев в нашем эксперименте осуществляли в почву, температура которой была эмпирически определена в предшествующие годы на уровне 15°C. В оба года были получены дружные всходы на 4-5-й день после посева. В 2024 году посев был произведен 18 апреля на 10 суток раньше, чем в 2023 году, так как температура воздуха была выше 17°C в течение всей второй декады апреля, что на 3-8°C выше, чем в 2023 году. Однако это весеннее преимущество в дальнейшем нивелировалось флуктуациями температуры в течение вегетации. Конец цветения в оба года пришелся на период со сравнимыми температурами – немногим выше 20°C, а активное плодообразование, приходящееся на август, в 2024 году происходило при более низких температурах, чем в 2023 году (см. рис. 1). В результате, вегетационный период 2024 года, сокращенный на 17 дней из-за более раннего сбора урожая, характеризовался значительно меньшей суммой накопленных активных температур – 1965,9°C vs 2234,9°C в 2023 году. Итоговая разница недобранных активных температур – 369°C.

Этими двумя факторами – укороченным вегетационным периодом, что привело к недобору суммы активных температур, и тентом из полиэтиленовой пленки, на наш взгляд, в значительной степени можно объяснить и доли влияния года на содержание камеди – 17,9%, и доли неизвестных факторов – 53,9%. Это предположение подтверждается также тем, что в 2023 году, по нашим ранее полученным данным, на растениях гуара было достоверно меньше узлов с невызревшими бобами: 8 шт./растение в 2023 году и 11 шт./растение в 2024 году (Vishnyakova et al., 2025).

Мы не обнаружили четких зависимостей изучаемых характеристик (ГК и η) от принадлежности образцов к группам толерантных, чувствительных и нейтральных по отношению к засухе. Межгрупповые различия по годам этих показателей в 2023 году и их практическое отсутствие в 2024 году позволяют выдвинуть следующее предположение. В 2023 году в условиях полива образцы дифференцировались на приспособленные и нет, а в 2024 году различия были в пределах случайной ошибки опыта, различия же между режимами водоснабжения – в рамках

случайной изменчивости. В пользу первого предположения можно привлечь данные из нашей работы по семенной продуктивности изучаемой выборки в 2023 году. Среднее значение этого признака в условиях полива у 50 изученных образцов было $10,20 \pm 1,00$, а в условиях засухи – $11,62 \pm 0,78$ г/раст. (Vishnyakova et al., 2025). Поскольку в условиях полива у отдельных образцов практически отсутствовали зрелые семена, в то время как в условиях засухи завязывалось минимум 4,3 г/раст., мы сочли режим полива 5 л/раст. в неделю избыточным.

В научных публикациях, посвященных гуару, имеется определенный пул исследований, проведенных в разных географических зонах и посвященных изучению влияния сроков посева (Garcia et al., 2023; Sher et al., 2022; Singla et al., 2016), а также норм высева и полива (Meftahizadeh et al., 2019; Mahdipour-Afra et al., 2021) на продуктивность и выход камеди. Для каждой зоны определены оптимальные условия, позволяющие максимизировать содержание камеди в семенах гуара. В частности, на Сицилии посев производят в начале мая, уборку в начале октября. Это означает, что длительность вегетационного периода составляет не менее 150 суток (Gresta et al., 2017).

Полученный опыт выращивания гуара на Волгоградской ОС ВИР свидетельствует о том, что оптимальными сроками для его посева является период с 15 по 30 апреля, а уборку необходимо производить не ранее середины сентября (Vishnyakova et al., 2024; Vishnyakova et al., 2025), при этом вегетационный период продолжается не менее 150 суток. Данные по содержанию и вязкости камеди в экспериментах наших коллег на Волгоградской ОС ВИР в 2018 году (Kruchina-Bogdanov et al., 2019) и данные F. Gresta с соавторами (Gresta et al., 2017) на Сицилии сопоставимы, даже с некоторым превышением значения признаков в Волгограде. Мы считаем, что причинами этого являются: во-первых, отсутствие ограничений, характерных для нашего эксперимента в 2024 году, а именно укороченного вегетационного периода и наличия полиэтиленового тента, а, во-вторых, допускаем возможность некоторых модификаций в методах определения изученных нами признаков у разных исследователей.

Заключение

Для 12 образцов гуара из коллекции ВИР, классифицированных ранее как толерантные, чувствительные и нейтральные по отношению к режиму водоснабжения (засухе), показано, что содержание камеди в семенах (количественный показатель) слабо зависит от проанализированных в опыте факторов: год, режим водоснабжения, отношение образца к водоснабжению. Более 50% изменчивости объясняется неизвестными факторами. Для приведенной удельной вязкости η (качественный показатель) выявлена решающая роль (51%) влияния генотипа на изменчивость признака. Влияние искусственной засухи, устанавливаемой после начала плодообразования, и режима водоснабжения на содержание и приведенную

удельную вязкость камеди в семенах гуара не обнаружено. В условиях засухи наблюдались как снижение, так и повышение этих показателей у разных генотипов. Между тем, бóльшая приведенная удельная вязкость камеди обнаружена у толерантных к засухе генотипов. Год эксперимента оказался вторым по значимости фактором после генотипа. Полагаем, что более продолжительный период созревания в 2023 году и более высокая сумма накопленных активных температур способствовали бóльшему содержанию и бóльшей приведенной удельной вязкости камеди. Изменчивость показателей камеди позволила выявить образцы с наиболее высоким содержанием ГК. Максимальный уровень приведенной удельной вязкости камеди (12907) и ее стабильность (коэффициент вариации 9,7%, регрессия на условия среды 0,9) выявлены у индийского толерантного к засухе образца J.C. 3118 (к-52938), который имеет также один из самых высоких в изученной выборке процентов среднего содержания камеди – 24,3%.

References/Литература

- Al-Shameri A., Al-Qurainy F., Khan S., Mohammad N., Gaafar A.-R., Tarroum M., Alameri A., Alansi S., Ashraf M. Appraisal of guar accessions for forage purpose under the typical Saudi Arabian environmental conditions encompassing high temperature, salinity and drought. *Pakistan Journal of Botany*. 2017;49(4):1405-1413.
- Anderson E. Endosperm mucilages of legumes: occurrence and composition. *Industrial and Engineering Chemistry*. 1949;41(12):2887-2890.
- Avola G., Riggi E., Trostle C., Sortino O., Gresta F. Deficit irrigation on guar genotypes (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.): effects on seed yield and water use efficiency. *Agronomy*. 2020;10(6):789. DOI: 10.3390/agronomy10060789
- Bouslama M., Schapaugh W.T. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984;24(5):933-937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x
- Characteristics of plant varieties first included in the State Register of Breeding Achievements approved for use: official publication. Moscow: Rosinformagrotech; 2024. [in Russian] (Характеристики сортов растений, впервые включённых в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: официальное издание. Москва: Росинформагротех; 2004). URL: <https://gossortrf.ru/publications>. [дата обращения: 22.09.2025].
- Dinesha B.L., Nidoni U., Manjunath B., Ambrish G., Sharanagouda H., Vijayakumar H. Physico-chemical properties of four different varieties of guar seeds (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *The Pharma Innovation*. 2021;10(3):230-234. DOI: 10.22271/tpi.2021.v10.i3d.5777
- Dzyubenko N.I., Dzyubenko E.A., Potokina E.K., Bulyntsev S.V. Clusterbeans (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) – properties, use, plant genetic resources and expected introduction in Russia (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(6):1116-1128. [in Russian] (Дзюбенко Н.И. Дзюбенко Е.А., Потокина Е.К., Булынтцев С.В. Гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.): характеристика, применение, генетические ресурсы и возможность интродукции в России (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(6):1116-1128). DOI: 10.15389/agrobiol.2017.6.1116rus
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- 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*. 2023;12(13):2486. DOI: 10.3390/plants12132486
- Gresta F., Ceravolo G., Presti V.L., D'Agata A., Rao R., Chiofalo D. Seed yield, galactomannan content and quality traits of different guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes. *Industrial Crops and Products*. 2017;107:122-129. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.05.037
- Guar Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts. MordorIntelligence – Precise market intelligence and advisory; 2025-2030. Available from: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/guar-market> [accessed Oct. 02, 2025].
- Guar status, potential, prospects challenges and R&D road map. 2015. Available from: https://www.tifac.org.in/images/pdf/pub/guar_report.pdf. [accessed Oct. 02, 2025].
- Gudko V., Usatov A., Minkina T., Duplii N., Azarin K., Tatarinova T.V., Sushkova S., Garg A., Denisenko Y. Dependence of the pea grain yield on climatic factors under semi-arid conditions. *Agronomy*. 2024;14(1):133. DOI: 10.3390/agronomy14010133
- Heyne E., Whistler R.L. Chemical composition and properties of guar polysaccharides. 1125 *Journal of the American Chemical Society*. 1948;70(6):2249-2252. DOI: 10.1021/ja01186a075
- Joshi A.A., Bhokre C.K., Rodge A.B. Evaluation of gum content and viscosity profile of different genotypes of guar from different locations. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015;4(4):553-557.
- Khanzada B., Ashraf M.Y., Ala S.A., Alam S.M., Shirazi M.U., Ansari R. Water relations in different guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes under water stress. *Pakistan Journal of Botany*. 2001;33(3):279-287.
- Kruchina-Bogdanov I.V., Miroshnichenko E.V., Shaukharov R.A., Kantemirova E.N., Golovina M.A., Abdullaev K.M., Balashov A.V., Rusinova E.V., Rusinov P.G., Potokina E.K. 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
- Losev A.P., Zhurina L.L. Agrometeorology (Agrometeorologiya). Moscow: Kolos; 2003. [in Russian] (Лосев А.П., Журина Л.Л. Агротеморология. Москва: Колос; 2003).
- Mahdipour-Afra M., AghaAlikhani M., Abbasi S., Mokhtassi-Bidgoli A. Growth, yield and quality of two guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) ecotypes affected by sowing date and planting density in a semi-arid area. *Plos One*. 2021;16(9):e0257692. DOI: 10.1371/journal.pone.0257692
- Meftahizadeh H., Ghorbanpour M., Asareh M.H. Changes in phenological attributes, yield and phytochemical compositions of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) landraces under various irrigation regimes and planting dates. *Scientia Horticulturae*. 2019;256:108577. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108577
- meteo.ru: website. RIHMI-World Data Center. 2025. [in Russian] (meteo.ru: сайт / ВНИИГМИ – Мировой центр данных. 2025). URL: <https://www.meteo.ru> [дата обращения: 19.06.2025]
- Naik C.S.R., Ankaiah R., Sudhakar P., Reddy T.D., Murthy V.R., Spandana B., Jatothu J.L. Variation in the protein and galactomannan content in guar seeds of different genotypes. *Plant Archives*. 2013;13(1):247-252.
- Pandey K., Kumar R.S., Prasad P., Pande V., Trivedi P.K., Shirke P.A. Coordinated regulation of photosynthesis and sugar metabolism in guar increases tolerance to drought. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;194:104701. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2021.104701
- Sharma S., Tyagi A., Ramakrishna G., Saxena S., Mithra A., Mehla H.R., Golui D., Sharma R., Gaikwad K. Comparative assessment of nutritional, industrial and agronomic valuable traits of underutilized guar genotypes. *Legume Research*. 2025;48(12):1958-1968. DOI: 10.18805/LR-5145
- Sher A., Calone R., Allah S.-U., Sattar A., Ijaz M., Sarwar B., Barbanti A.Q.L. Growth, yield and quality attributes of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes grown under different planting dates in a semi-arid region of Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2022;59(5):757-763. DOI: 10.21162/PAKJAS/22.151
- Singla S., Grover K., Angadi S., Begna S., Schutte B., Van Leeuwen D. Growth and yield of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under different planting dates in the semi-arid Southern High Plains. *American Journal of Plant Sciences*. 2016;7:1246-1258. DOI: 10.4236/ajps.2016.78120
- Stafford R.E., McMichael B.L. Effect of water stress on yield components in guar. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 1991;166:63-68. DOI: 10.1111/j.1439-037X.1991.tb00884.x
- Sultan M., Yousaf M.N., Rabbani M.A., Shinwari Z., Masood M.S. Phenotypic divergence in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) landrace genotypes of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*. 2012;44:203-210.
- 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
- Undersander D.J., Putman D.H., Kaminski A.R., Helling K.A., Doll J.D., Oplinger E.S., Gunsolus J.L. Guar. In: *Alternative field crops manual*. University Wisconsin-Extension, Madison; 1991.
- Vishnyakova M.A., Dzyubenko E.A., Kocherina N.V., Agakhanov 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., Shaukharov R.A., Gurina A.K., Kocherina N.V., Dzyubenko E.A., Cherevatskaya M.A., Frolova N.V., Frolov A.A. Guar in the Russian Federation: an attempt to conceptualize the experience acquired. In: *Genepool and Plant Breeding (GPB 2024): Proceedings of the 7th International Conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician of the Russian Academy of Sciences P.L. Goncharov*; 2024 April 10-12; Novosibirsk, Russia. Novosibirsk: ICG SB RAS; 2024. p.88-92. [in Russian] (Вишнякова М.А., Шаухаров Р.А., Гурина А.К., Кочерина Н.В., Дзюбенко Е.А., Череватская М.А., Фролова Н.В., Фролов А.А. Гуар в Российской Федерации: попытка осмысления полученного опыта. В кн.: *Генофонд и селекция растений: материалы 7-й Международной конференции, посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова*; 10–12 апреля 2024 г.; Новосибирск, Россия. Новосибирск: ИЦиГ СО РАН; 2024. С.88-92). DOI: 10.18699/GPB2024-23

Информация об авторах

Игорь Вадимович Кручина-Богданов, генеральный директор, ООО «АМТ», 194021 Россия, Санкт-Петербург, переулок Институтский, 5, строение 2, igogo011@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5779-5404>

Любовь Юрьевна Новикова, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, отдел автоматизированных информационных систем, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

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, Опытная станция ВИР, 30; romanshauharov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9794-104X>

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

Information about the authors

Igor V. Kruchina-Bogdanov, General Director, LLC “AMT”, Building 2, 5, Institutsky Lane, St. Petersburg, 194021 Russia, igogo011@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5779-5404>

Lyubov Yu. Novikova, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Department of Automatic Information Systems, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

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

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

Вклад авторов: Кручина-Богданов И.В. – проведение анализа, получение данных; Шаухаров Р.А. – полевое фенотипирование; Новикова Л.Ю. – статистический и агрометеорологический анализ и интерпретация данных; Вишнякова М.А. – концепция, написание, редактирование.

Contribution of the authors: Kruchina-Bogdanov I.V. – analysis, data acquisition; Shaukharov R.A. – field phenotyping; Novikova L.Yu. – statistical and agrometeorological analysis and interpretation of data; Vishnyakova M.A. – concept, writing, editing.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 07.10.2025; одобрена после рецензирования 02.12.2025; принята к публикации 22.12.2025.

The article was submitted on 07.10.2025; approved after reviewing on 02.12.2025; accepted for publication on 22.12.2025.