

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Краткое сообщение

УДК 575.1:575.2:63

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-4-249-256



Генетические ресурсы растений – основа для технологических решений в различных отраслях промышленности

Е. К. Хлесткина^{1,2}, И. В. Розанова², О. С. Ефремова^{1,2}, Е. А. Крылова^{1,2}, Ю. В. Ухатова^{1,2}

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

² Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, Краснодарский край, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Константиновна Хлесткина, director@vir.nw.ru

Эффективное наукоемкое использование генетических ресурсов растений позволяет обеспечивать разнообразные отрасли промышленности не просто сырьевой биоресурсной базой, но высокотехнологичной продукцией с заданными свойствами, создание которой сопряжено с уменьшением воздействия на окружающую среду, минимизацией отходов, экономией энергетических и других ресурсов. Рассматриваются примеры применения растительного сырья в различных отраслях промышленности, способы лабораторной оценки генетических ресурсов растений для максимального вовлечения генетического разнообразия на ранних этапах научно-производственного цикла «Коллекции – селекция – семеноводство – производство товарной продукции – переработка». Эти технологические подходы позволяют повышать эффективность селекции для формирования свойств растительного сырья. Также рассматриваются перспективные способы целенаправленной прижизненной модификации свойств растительной продукции за счет применения генетических технологий.

Ключевые слова: биологические (биоресурсные) коллекции, биотехнология, генетические ресурсы растений, генетические технологии, источники растительного сырья

Благодарности: статья подготовлена в рамках государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус»» (Соглашение № 18-03 от 10.09.2024). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Хлесткина Е.К., Розанова И.В., Ефремова О.С., Крылова Е.А., Ухатова Ю.В. Генетические ресурсы растений – основа для технологических решений в различных отраслях промышленности. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(4):249-256. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-4-249-256

BRIEF REPORTS

Brief report

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-4-249-256

Plant genetic resources: the basis for technological solutions in various industries

Elena K. Khlestkina^{1,2}, Irina V. Rozanova², Olga S. Efremova^{1,2}, Ekaterina A. Krylova^{1,2}, Yulia V. Ukhatova^{1,2}

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

² Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, Krasnodar Territory, Russia

Corresponding author: Elena K. Khlestkina, director@vir.nw.ru

Efficient science-intensive utilization of plant genetic resources can supply diverse industries with not just a raw bioresource base, but also high-tech products with desired properties, designed to reduce environmental impacts, minimize waste, and save energy and other resources. Examples of the uses of plant raw materials in various industrial sectors are discussed, as well as methods for laboratory evaluation of plant genetic resources to maximize the utilization of genetic diversity in the early stages of the research and production cycle “Collections – Breeding – Seed production – Plant production – Processing”. These technological approaches make it possible to increase the efficiency of plant breeding for the development of raw material properties. Promising methods for targeted *in vivo* modification of plant product properties through the use of genetic technologies are also discussed.

Keywords: biological (bioresource) collections, biotechnology, plant genetic resources, genetic technologies, sources of plant raw materials

Acknowledgments: this article was prepared with financial support from the state program for the Sirius Federal Territory “Scientific and technological development of the Sirius Federal Territory” (Agreement No. 18-03 dated Sept. 10, 2024). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Khlestkina E.K., Rozanova I.V., Efremova O.S., Krylova E.A., Ukhatova Yu.V. Plant genetic resources: the basis for technological solutions in various industries. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(4):249-256. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-4-249-256

Традиционно растения в контексте широкого спектра отраслей промышленности рассматриваются в первую очередь как сырьевая база. Действительно, растительное сырье используется, помимо обеспечения задач продовольственной безопасности, в различных производствах (целлюлозно-бумажная, текстильная, фармацевтическая, парфюмерная и другие отрасли; рис. 1). Этот подход к использованию растительного сырья можно отнести к биоэкономике первого уровня (природоёмкому направлению экономики на основе традиционных подходов к применению биоресурсов в секторах экономики).

Следующий уровень, предполагающий использование не просто биоресурсов, а генетических ресурсов для выбора и создания источников растительного сырья с оптимальными заданными свойствами, например для создания сортов культур – источников растительного белка с желаемыми количественными и качественными характеристиками продукта переработки – или сортов (гибридов) культур – источников растительных масел с заданным биохимическим составом продукта (Ромо-

рова et al., 2023; Shelenga et al., 2025b). Современная селекция, основанная на подходах комбинационной селекции с применением вспомогательных методов ускоренного отбора (Kolchanov et al., 2017), позволяющая генетические ресурсы одного и того же биологического вида направить на создание сырья разного назначения для разных отраслей промышленности, – это инструмент биоэкономики второго уровня.

Следующий технологический уровень экономического уклада основан на эффективном сочетании цифровых (включая использование ИИ) и биотехнологий. В применении к генетическим ресурсам растений (с учетом возрастающей диверсификации использования растительного сырья в производственных циклах и растущих вызовах со стороны климатических изменений) этот новый уклад – по сути, единственный способ в относительно короткие сроки отвечать на климатические вызовы и создавать селекционные достижения, занимающие новые рынки.

Указом Президента Российской Федерации № 309 от 7 мая 2024 г. «О национальных целях развития Россий-

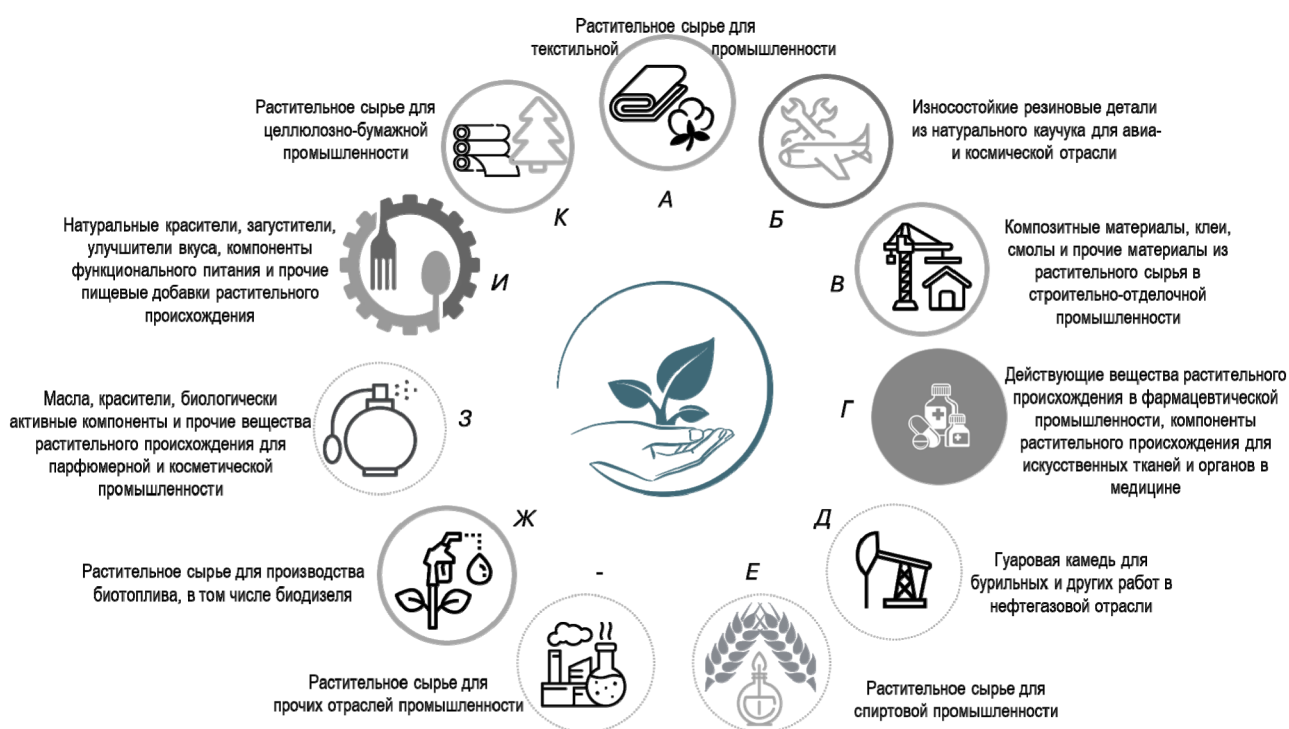


Рис. 1. Применение растительного сырья в различных отраслях промышленности. Примеры культур (групп культур), сырье которых используется / может потенциально использоваться для соответствующих отраслей: А – лен, хлопчатник; Б – гевея, гваюла, кок-сагыз; В – широкий спектр источников целлюлозы, растительные источники смол, крахмалоносы (модифицированный крахмал для клеев, полимеров); Г – широкий спектр лекарственных растений, крахмалоносы (модифицированный крахмал для искусственной крови, для биополимеров); Д – гуар; Е – зерновые культуры; Ж – широкий спектр источников целлюлозы, масличные культуры; З – эфиромасличные и другие культуры; И – широкий спектр различных культур (для загустителей – гуар и крахмалоносы, для красителей – например, свекла, шафран, для функционального питания – например, источники богатые полифенолами – виноград, некоторые ягодные культуры, и т. д.); К – широкий спектр источников целлюлозы, крахмалоносы

Fig. 1. Utilization of plant raw materials in various industries. Examples of the crops (groups of crops) whose raw materials are used / can potentially be used in appropriate industrial production processes: А – flax, and cotton; Б – rubber tree, guayule, and kok-saghyz; В – wide diversity of cellulose sources, plant resin sources, and starch crops (modified starch for glues, polymers, etc.); Г – wide diversity of medicinal herbs and starch plants (modified starch for blood substitutes, biopolymers, etc.); Д – guar; Е – cereal crops; Ж – wide diversity of cellulose sources, and oil crops; З – essential oil crops, etc.; И – wide diversity of other crops (guar and starch crops for thickening agents; beet, saffron, etc. for dyes; sources rich *inter alia* in polyphenols – grapes, some berry crops, etc. – for functional foods, etc.); К – wide diversity of cellulose sources, and starch crops

ской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» в числе целевых показателей и задач, выполнение которых характеризует достижение национальной цели «Технологическое лидерство», важное место занимают обеспечение технологической независимости и формирование новых рынков по таким направлениям, как биоэкономика и продовольственная безопасность (Decree of the President..., 2024). В федеральном законе № 428-ФЗ от 30.11.2024 «О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях и о внесении изменений в статью 29 Федерального закона «О животном мире», регулирующем, среди прочих биологических коллекций, «коллекции растений, в том числе коллекции генетических ресурсов растений, гербарные коллекции» (Federal Law..., 2024), в числе задач создания, формирования, сохранения, развития, изучения и использования биологических биоресурсных коллекций указывается «сохранение и изучение <...> генетического разнообразия в целях <...> обеспечения научно-технологического развития Российской Федерации и повышения конкурентоспособности отечественной науки...» (Federal Law..., 2024, Article 4). Это понимание значимости биологических коллекций в полной мере отражает не только и не столько сырьевой, сколько технологический потенциал коллекций генетических ресурсов растений (рис. 2). Данный технологический потенциал коллекций реализуется через использование образцов генетических ресурсов растений (ГРП) как моделей для сравнительных геномных, генетических, омиксных исследований (Loskutov, 2025), результаты которых ложатся в основу разработки новых технологических подходов к эффективному использованию растительного сырья, в том

числе для прижизненного формирования свойств растительного сырья.

Свойства растительного сырья (молекулярные, физико-химические, физические) можно «запрограммировать» на этапе создания сорта / гибрида. Неисчерпаемые источники ценных свойств для селекции и создания новых сортов с заданными свойствами представлены в коллекции мировых генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей, сохраняемой и изучаемой в Федеральном исследовательском центре Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (Loskutov, 2025; Loskutov et al., 2025). Возможность при помощи селекции обеспечить прижизненное формирование свойств растительного сырья сложно переоценить: это и экономический эффект, связанный с тем, что затраты на этапе выращивания товарной растениеводческой продукции по сути не меняются, но при этом в ходе дальнейшей переработки возможно исключить некоторые этапы (например, химической модификации, если необходимая модификация биохимическим путем естественным образом, в силу генетических особенностей сорта, произошла в самом растении в процессе его выращивания), и, как следствие, сокращение цикла переработки – снижение нагрузки на окружающую среду.

С целью направленного отбора в процессе селекции генотипов с заданными свойствами разрабатываются способы, предназначенные для масштабного скрининга большого количества образцов, – это методы лабораторной экспресс-оценки и / или оценки малых проб растительного сырья (некоторые примеры представлены в таблице).



Рис. 2. Движение гермоплазмы и трансфер технологий в научно-производственном цикле «Коллекции ГРП – селекция – семеноводство – производство товарной продукции – переработка»

Fig. 2. Plant germplasm movement and technology transfer in the research and production cycle "PGR collections – Breeding – Seed production – Plant production – Processing"

Таблица. Примеры предложенных способов лабораторной экспресс-оценки или оценки малых проб растительного сырья для скрининга коллекций ГРП и для селекции**Table. Examples of the methods proposed for rapid laboratory assessment or evaluation of small samples of plant raw materials for screening PGR collections and for breeding practice**

Наименование культуры	Свойство	Значение для отраслей промышленности	Ссылка на предложенный способ лабораторной оценки
Рожь	Низкое содержание пентозанов в зерне	Зернофуражная (Kobylyansky et al., 2014), хлебопекарная (Solodukhina et al., 2018), спиртовая (Alimova et al., 2018) промышленность	Kobylyansky, Solodukhina (2023)
Лен	Качество волокна льна	Текстильная промышленность (Pavlov et al., 2025)	Pavlov et al. (2025)
Амарант	Содержание белка, пальмитиновой, олеиновой кислот	Пищевая промышленность (Shelenga et al., 2025b)	Shelenga et al. (2025b)
Вигна	Содержание белка, антоцианов и крахмала	Пищевая промышленность (Shelenga et al., 2025a)	Shelenga et al. (2025a)
Картофель	Содержание амилозы и амилопектина	Пищевая, целлюлозно-бумажная, строительно-отделочная (Khoroshavin, Khlestkin, 2018)	Khoroshavin, Khlestkin (2018)

Предлагаемые способы лабораторной оценки позволяют проводить отборы на ранних этапах селекции, существенно снижать на порядок трудозатраты и затраты ресурсов (и за счет этого иметь возможность вовлекать в селекционный процесс большее разнообразие), увеличивать точность отбора, ускорять процесс создания новых селекционных достижений. Например, способ оценки качества волокна льна по малым пробам (см. таблицу; Pavlov et al., 2025) позволяет сократить процесс получения сорта льна-долгунца с заданными свойствами волокна (с момента начала селекционной программы и до передачи сорта в Госсорткомиссию) в полтора раза.

Указанные в таблице примеры, а также использование для ускоренного отбора маркер-ориентированной и геномной селекции – это методы диагностики, не предполагающие вмешательства в геном анализируемых растений. Однако широкое изучение ГРП сравнительными геномными, омиксными и генетическими методами также позволяет выявлять гены-мишени для дальнейшей направленной модификации (при помощи геномного редактирования). Так, за первые десять лет применения на культурных растениях системы геномного редактирования CRISPR/Cas редактированию были подвергнуты около 300 генов-мишеней культурных растений с целью улучшения селекционно значимых свойств более 30 культур (Ukhatoeva et al., 2023). Например, в части изменения свойств растительного сырья A. Tuncel et al. (2019) и X. Zhao et al. (2021) при помощи нокаута генов биосинтеза крахмала *SBE1* и *SBE2* добились повышения содержания амилопектина в синтезируемом крахмале в клубнях картофеля. J. Ma et al. (2021) при помощи нокаута генов *GmFATB1a* и *GmFATB1b* сои достигли снижения содержания насыщенных жирных кислот (пальмитиновой и стеариновой) в соевом масле при стабильном уровне ненасыщенных кислот. S. Sugano et al. (2020) при помощи одновременного нокаута генов *GlymBd28K* и *GlymBd30K* предложили способ получения гипоаллергенных сортов сои. R. T. Do et al. (2019) и N. Wu et al. (2020)

путем нокаута генов *GmFAD2-1B* и *GmFAD2-2A* соответственно достигли оптимального содержания линолевой и линоленовой кислот (нокаут *GmFAD2-1B*) и линолевой кислоты (нокаут *GmFAD2-2A*). На рапсе (Sashidhar et al., 2020) путем нокаута трех паралогов *BnITPK* добились снижения содержания фитиновой кислоты в семенах.

Таким образом, эффективное наукоемкое использование генетических ресурсов растений в научно-производственном цикле «Коллекции – селекция – семеноводство – производство товарной продукции – переработка», широкое вовлечение в этот цикл на ранних этапах широкого генетического разнообразия позволяют обеспечивать разнообразные отрасли промышленности не только сырьевой биоресурсной базой, но и – с привлечением методов современной селекции и биотехнологий – высокотехнологичной продукцией с заданными свойствами, создание которой сопряжено с уменьшением воздействия на окружающую среду, минимизацией отходов, экономией энергетических и других ресурсов.

References / Литература

- Alimova D.S., Barakova N.V., Romanov V.A., Samodelkin E.A. Application of low pentosan rye potable ethanol production. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018;8(3):248-253. [in Russian] (Алимова Д.С., Баракова Н.В., Романов В.А., Самodelкин Е.А. Применение низкопентозановой ржи в технологии этилового спирта. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018;8(3):248-253). DOI: 10.20914/2310-1202-2018-3-248-253
- Decree of the President of the Russian Federation No. 529 dated June 18, 2024 "On approval of priority areas of scientific and technological development and a list of the most important science-intensive technologies (Ob utverzhdenii prioritnykh napravleniy nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya i perechnya vazhneyshikh naukoymkikh

- tekhnologiy)". *Official Internet Portal of the Legal Information*; 2024. [in Russian] [Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий: Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529. *Официальный интернет-портал правовой информации*. 2024]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202406180018> [дата обращения: 01.11.2025].
- Do P.T., Nguyen C.X., Bui H.T., Tran L.T.N., Stacey G., Gillman J.D. et al. Demonstration of highly efficient dual gRNA CRISPR/Cas9 editing of the homeologous *GmFAD2-1A* and *GmFAD2-1B* genes to yield a high oleic, low linoleic and α -linolenic acid phenotype in soybean. *BMC Plant Biology*. 2019;19(1):311. DOI: 10.1186/s12870-019-1906-8
- Federal Law No. 428-FZ of Nov. 30, 2024 "On bioresource centers and biological (bioresource) collections and on amendments to Article 29 of the Federal Law 'On the animal world' (O bioresursnykh tsentrakh i biologicheskikh (bioresursnykh) kollektsiyakh i o vnesenii izmeneniy v statyu 29 Federalnogo zakona 'O zhivotnom mire'). *Official Internet Portal of the Legal Information*; 2024. [in Russian] (O биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях и о внесении изменений в статью 29 Федерального закона 'O животном мире': Федеральный закон № 428-ФЗ от 30.11.2024. *Официальный интернет-портал правовой информации*; 2024). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202411300018> [дата обращения: 14.11.2025].
- Khoroshavin Yu.A., Khlestkin V.K. A modified procedure for the evaluation of the amylose and amylopectin content in potato starch. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(7):820-824. [in Russian] (Хорошавин Ю.А., Хлесткин В.К. Методические указания по оценке содержания амилозы и амилопектина в картофельном крахмале. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(7):820-824). DOI: 10.18699/VJ18.432
- Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V. Breeding and seed production technology for the rye of universal use with low content of water-soluble pentosans in grain. St. Petersburg: VIR; 2023. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Технология селекции и семеноводства ржи универсального использования с низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне. Санкт-Петербург: ВИР; 2023). DOI: 10.30901/978-5-907145-57-3
- Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V., Potapova G.N., Tkachenko I.V., Galimov K.A. The study of innovation grain fodder winter rye with low pentosans content. *Perm Agrarian Journal*. 2014;1(5):10-16. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Потапова Г.Н., Ткаченко И.В., Галимов К.А. Изучение инновационной зернофуражной низкопентозановой озимой ржи. *Пермский аграрный вестник*. 2014;1(5):10-16).
- Kolchanov N.A., Kochetov A.V., Salina E.A., Pershina L.A., Khlestkina E.K., Shumny V.K. Status and prospects of marker-assisted and genomic plant breeding. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2017;87(2):125-131. DOI: 10.1134/S1019331617020113
- Loskutov I.G. The history of the global collection of plant genetic resources in Russia. E.K. Khlestkina (ed.). 2nd ed. St. Petersburg: VIR; 2025. [in Russian] (Лоскутов И.Г. История мировой коллекции генетических ресурсов растений в России / под ред. Е.К. Хлесткиной. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2025). DOI: 10.30901/978-5-907780-18-7
- Loskutov I.G., Ukhatoeva Y.V., Khlestkina E.K. VIR: from a small Bureau in the Russian Empire to the present-day National Center for Plant Genetic Resources. *Genetic Resources*. 2025;(S2):58-69. DOI: 10.46265/genresj.EVEF5522
- Ma J., Sun S., Whelan J., Shou H. CRISPR/Cas9-mediated knockout of *GmFATB1* significantly reduced the amount of saturated fatty acids in soybean seeds. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(8):3877. DOI: 10.3390/ijms22083877
- Pavlov A.V., Brutch N.B., Porokhovina E.A., Khlestkina E.K. Flax fiber quality estimation technique for small samples using the Instron 5943 universal breaking device. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):112-126. [in Russian] (Павлов А.В., Брач Н.Б., Пороховина Е.А., Хлесткина Е.К. Методика определения качества волокна льна по малым пробам с использованием универсальной разрывной машины Instron 5943. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(3):112-126). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-112-126
- Pomorova Yu.Yu., Pyatovsky V.V., Serova Yu.M. Biochemical composition of soybean seeds produced in various regions of Russia and aspects of its biological value (review). *Oil Crops*. 2023;4(196):84-96. [in Russian] (Поморова Ю.Ю., Пятковский В.В., Серова Ю.М. Биохимический состав семян сортов сои, возделываемых в различных регионах России, и аспекты его биологической ценности (обзор). *Масличные культуры*. 2023;4(196):84-96). DOI: 10.25230/2412-608X-2023-4-196-84-96
- Sashidhar N., Harloff H.J., Potgieter L., Jung C. Gene editing of three *BnITPK* genes in tetraploid oilseed rape leads to significant reduction of phytic acid in seeds. *Plant Biotechnology Journal*. 2020;18(11):2241-2250. DOI: 10.1111/pbi.13380
- Shelenga T.V., Nikiforov A.A., Burlyaeva M.O., Perchuk I.N., Popov V.S. Rapid assessment of nutritional value indicators in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seed accessions from the VIR collection using NIR spectroscopy. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025a;186(2):68-78. [in Russian] (Шеленга Т.В., Никифоров А.А., Бурляева М.О., Перчук И.Н., Попов В.С. Экспресс-оценка показателей питательной ценности семян *Vigna unguiculata* (L.) Walp. из коллекции ВИР с помощью БИК-спектроскопии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025a;186(2):68-78). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-68-78
- Shelenga T.V., Solovyeva A.E., Sokolova D.V., Vasipov V.V., Smolenskaya A.E., Popov V.S. Rapid assessment of biochemical indicators of agronomic value in amaranth seed accessions from the VIR collection using NIR spectroscopy. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025b;186(1):52-60. [in Russian] (Шеленга Т.В., Соловьева А.Е., Соколова Д.В., Васипов В.В., Смоленская А.Е., Попов В.С. Экспресс-оценка биохимических показателей хозяйственной ценности образцов семян амаранта из коллекции ВИР с помощью БИК-спектроскопии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025b;186(1):52-60). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-52-60
- Solodukhina O., Kobylyansky V., Kuznetsova L., Lavrenteva N., Timina M. Prospects of low pentosane grain fodder rye use for baking purposes. *Russian Agricultural Sciences*. 2018;(6):3-5. [in Russian] (Солодухина О.В., Кобылянский В.Д., Кузнецова Л.И., Лаврентьева Н.С., Тимина М.А. Перспективы использования низкопентозановой ржи для хлебопекарных целей. *Россий-*

- ская сельскохозяйственная наука. 2018;(6):3-5). DOI: 10.31857/S250026270001823-0
- Sugano S., Hirose A., Kanazashi Y., Adachi K., Hibara M., Itoh T. et al. Simultaneous induction of mutant alleles of two allergenic genes in soybean by using site-directed mutagenesis. *BMC Plant Biology*. 2020;20(1):513. DOI: 10.1186/s12870-020-02708-6
- Tuncel A., Corbin K.R., Ahn-Jarvis J., Harris S., Hawkins E., Smedley M.A. et al. Cas9-mediated mutagenesis of potato starch-branching enzymes generates a range of tuber starch phenotypes. *Plant Biotechnology Journal*. 2019;17(12):2259-2271. DOI: 10.1111/pbi.13137
- Ukhatova Y.V., Erastenkova M.V., Korshikova E.S., Krylova E.A., Mikhailova A.S., Semilet T.V. et al. Improvement of crops using the CRISPR/Cas system: new target genes. *Molecular Biology*. 2023;57(3):375-397. DOI: 10.1134/S0026893323030135
- Wu N., Lu Q., Wang P., Zhang Q., Zhang J., Qu J. et al. Construction and analysis of *GmFAD2-1A* and *GmFAD2-2A* soybean fatty acid desaturase mutants based on CRISPR/Cas9 technology. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(3):1104. DOI: 10.3390/ijms21031104
- Zhao X., Jayarathna S., Turesson H., Fält A., Nestor G., González M.N. et al. Amylose starch with no detectable branching developed through DNA-free CRISPR-Cas9 mediated mutagenesis of two starch branching enzymes in potato. *Scientific Reports*. 2021;11(1):4311. DOI: 10.1038/s41598-021-83462-z

Информация об авторах

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, руководитель направления, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, 354340 Россия, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский пр., 1, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Ирина Вениаминовна Розанова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, 354340 Россия, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский пр., 1, rozanova.iv@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4341-0766>

Ольга Сергеевна Ефремова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, специалист-исследователь, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, 354340 Россия, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский пр., 1, o.efremova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9212-2117>

Екатерина Александровна Крылова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, и. о. руководителя группы, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, старший научный сотрудник, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, 354340 Россия, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский пр., 1, e.krylova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4917-6862>

Юлия Васильевна Ухатова, кандидат биологических наук, заместитель директора, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44; старший научный сотрудник, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, 354340 Россия, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», пгт. Сириус, Олимпийский пр., 1, y.ukhatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

Information about the authors

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, Research Area Manager, Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, 1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Settlement, Sirius Federal Territory, Krasnodar Territory 354340, Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Irina V. Rozanova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, 1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Settlement, Sirius Federal Territory, Krasnodar Territory 354340, Russia, rozanova.iv@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4341-0766>

Olga S. Efremova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia; Research Specialist, Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, 1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Settlement, Sirius Federal Territory, Krasnodar Territory 354340, Russia, o.efremova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9212-2117>

Ekaterina A. Krylova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Acting Head of a Group, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Senior Researcher, Sirius University of Science and Technology, Research Center of Genetics and Life Sciences, 1 Olimpiyskiy Ave., Sirius Settlement, Sirius Federal Territory, Krasnodar Territory 354340, Russia, e.krylova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4917-6862>

Yulia V. Ukhatova, Cand. Sci. (Biology), Deputy Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Senior Researcher, Sirius University of Science and Technology, Research

Center of Genetics and Life Sciences, 1 Olimpiysky Ave., Sirius Settle., Sirius Federal Territory, Krasnodar Territory 354340, Russia, y.ukhatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

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

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 10.11.2025; одобрена после рецензирования 05.12.2025; принята к публикации 06.12.2025.
The article was submitted on 10.11.2025; approved after reviewing on 05.12.2025; accepted for publication on 06.12.2025.