

Основные технические культуры как источник возобновляемого волокнистого сырья

А. В. Павлов, А. А. Слободкина, Л. П. Подольная, Е. А. Пороховинова

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

Автор, ответственный за переписку: Лариса Петровна Подольная, l.podolnaya@mail.ru

Человечество с незапамятных времен использует волокнистые растения для удовлетворения своих потребностей, собирая их в дикой природе, позже выращивая и постоянно улучшая. Волокно может быть получено из семян (хлопчатник и др.), плодов (капок и др.), стебля (лен и др.), листьев (сизаль и др.). Наибольшее распространение в мире получили десять культур. По данным ФАО, на первом месте находится хлопчатник, суммарная площадь под которым в 2023 г. – 31,8 млн га, или 90,8% всех угодий под волокнистыми культурами в мире. На втором месте – джут (4,4%). На сизаль (0,8%), лен-долгунец (0,7%), абаку (0,5%), капок (0,5%), кенаф (0,4%) и другие культуры в сумме приходится 4,8% угодий. По данным Росстата, в Российской Федерации в 2023 г. возделывали лен-долгунец на площади 35,2 тыс. га, коноплю – 11,4 тыс. га, хлопчатник – 0,2 тыс. га. В наше время, с появлением современных синтетических материалов, эти культуры не утратили своего значения, продолжая занимать важное место в промышленности и жизни каждого человека. В зависимости от особенностей и качественных характеристик, их волокно в изначальном, котонизированном или химически модифицированном виде используют для производства различных тканей бытового и технического назначения, одежды, ниток, веревок, канатов, ваты, одноразовой посуды и пороха, набивки подушек, сидений, при производстве композитных материалов в автомобильной и аэрокосмической промышленности. Их применение снижает антропогенную нагрузку на природу, обеспечивает промышленность возобновляемым сырьем.

Ключевые слова: натуральные волокна, волокно семян, волокно плодов, волокно листьев, лубяные волокна, хлопчатник, лен-долгунец, джут, кенаф, лубяные культуры

Благодарности: Работа выполнена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России от 15 февраля 2024 года № 075-02-2024-1090.

Для цитирования: Павлов А.В., Слободкина А.А., Подольная Л.П., Пороховинова Е.А. Основные технические культуры как источник возобновляемого волокнистого сырья. *Бюллетень ВИР*. 2024;(243):30-49.

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.

© Павлов А.В., Слободкина А.А., Подольная Л.П., Пороховинова Е.А., 2024

Review article

Basic industrial crops as a source of renewable raw fiber materials

Andrey V. Pavlov, Anastasia A. Slobodkina, Larisa P. Podolnaya, Elizaveta A. Porokhvinova

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

Corresponding author: Larisa P. Podolnaya, l.podolnaya@mail.ru

Humankind has been exploiting fiber plants to meet its needs since time immemorial: first, collecting them in the wild, and later, cultivating and constantly improving them. Fiber can be obtained from seed (cotton, etc.), fruit (kapok, etc.), stems (flax, etc.), or leaves (sisal, etc.). Ten crops have become the most widespread in the world. FAO reports that cotton is the leader, with a total area of 31.8 million hectares in 2023, or 90.8% of the total land under fiber crops in the world. Jute is the second (4.4%), while sisal (0.8%), flax (0.7%), abacá (0.5%), kapok (0.5%), kenaf (0.4%), etc. aggregately account for a total of 4.8% of the land. According to the Federal Statistics Service, in 2023 flax was cultivated in Russia on an area of 35,200 hectares, hemp on 11,400 hectares, and cotton on 200 hectares. Today, with the advent of modern materials, these crops have not lost their significance, still occupying an important place in industry and in every person's life. Depending on the features and quality characteristics, their fiber in its original, cottonized or chemically modified form is used for the production of various household and industrial fabrics, clothing, threads, ropes, wadding, disposable tableware and gunpowder, for stuffing pillows and seats, and in manufacturing composite materials for the automotive and aerospace industries. Their use reduces anthropogenic pressure on nature and provides industry with renewable raw materials.

Keywords: natural fibers, seed fiber, fruit fiber, leaf fiber, bast fiber, cotton, flax, jute, kenaf, bast crops

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the implementation of the Development Program of the National Center for Plant Genetic Resources under the Agreement with the Ministry of Education and Science of Russia dated February 15, 2024 No. 075-02-2024-1090.

For citation: Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Podolnaya L.P., Porokhvinova E.A. Basic industrial crops as a source of renewable raw fiber materials. *VIR Bulletin*. 2024;(243):30-49. (In Russ.).

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 employer.

© Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Podolnaya L.P., Porokhvinova E.A., 2024

Введение

В природе встречается много видов волокнистых растений, содержащих волокнистое сырье в достаточных объемах и произрастающих в разных географических зонах. Оно пригодно не только для текстильной промышленности, но и для производства строительных материалов, биокomпозитов и других товаров. Природные волокна имели огромное значение в человеческом обществе уже 14 тыс. лет назад. Роль природных волокон стала уменьшаться с 1885 г., когда первые искусственные волокна стали производиться в промышленных масштабах. Однако появление широкого ассортимента искусственных волокон не смогло заменить натуральные, так как последние обладают такими характеристиками, как гигроскопичность, воздухопроницаемость, естественные антибактериальные свойства, способность блокировать ультрафиолетовое излучение, хорошо окрашиваться и т. д. С увеличением населения земли увеличивается и спрос на природные возобновляемые волокна, постоянно расширяется область их применения (Kozłowski et al., 2012b, 2020). Чаще всего люди использовали волокно таких культур, как хлопчатник, лен, конопля, джут и др. В египетских гробницах найдена льняная ткань возрастом более 5 тыс. лет. Считается, что хлопчатобумажное прядение и ткачество зародились в Индии. Хлопчатобумажные ткани использовали в Древнем Китае, Египте, Мексике, Перу. Одним из предметов, которые Колумб привез из Америки королеве Изабелле, был моток хлопчатобумажной пряжи (Kozłowski et al., 2012b).

Группа растений, дающих волокнистый материал для изготовления товаров, называется волокнистыми растениями. Волокна этих растений являются возобновля-

емым и биоразлагаемым материалом. Их можно разделить на следующие группы:

- прядильные, используемые для получения различных тканей (хлопчатник, лен, конопля и др.);
- веревочно-канатные (джут, конопля, кенаф, канатник, агава и др.);
- бумажные (дрок, тутовое дерево, крапива, тростник);
- щеточные (агавы, пальмы);
- набивочные, для набивки мебели, подушек, спасательных поясов и др. (капок, кендырь);
- рогожно-корзиночные (ивы, солома злаков и др.) (Geister, 1934).

В мире культивируется 2288 видов растений (помимо декоративных, лесных). Из них лишь 405 видов (17%) приобрели широкое распространение, остальные являются культурами второстепенной хозяйственной ценности. Примерно 100 (из 2288 видов) относятся к волокнистым культурам и только 10 имеют значительное распространение (Wulff, 1987). На первом месте в мире находится хлопчатник. Так, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО ООН) (<https://www.fao.org/statistics/en>), в 2023 г. суммарная площадь под ним составила 31,762 млн га, или 90,8% от всей площади сельскохозяйственных угодий, занятой под основными волокнистыми культурами. На втором месте находится джут – 1,531 млн га, или 4,4% сельскохозяйственных угодий. На сизаль – 0,276 млн га (0,8%), лен-долгунец – 0,249 млн га (0,7%), абаку – 0,181 млн га (0,5%), капок – 0,179 млн га (0,5%), кенаф – 0,153 млн га (0,4%) и другие культуры приходится всего 4,8% сельскохозяйственных угодий, отведенных под эти культуры в мире (табл. 1).

Таблица 1. Основные волокнистые культуры, возделываемые в промышленных масштабах в мире по состоянию на 2023 г. (<https://rosstat.gov.ru>)

Table 1. Basic fiber crops cultivated on a worldwide scale, as of 2023 (<https://rosstat.gov.ru>)

№ п/п	Культура	Площадь	
		тыс. га	%
1	хлопчатник	31 762	90,75
2	джут	1531	4,37
3	агава сизалевая, сизаль (<i>Agave sisalana</i>)	276	0,79
4	лен-долгунец	249	0,71
5	абака	181	0,52
6	капок	179	0,51
7	кенаф	153	0,44
8	конопля	85	0,24
9	агава американская, пита (<i>A. americana</i>)	58	0,17
10	рами	4	0,01
11	другие волокнистые культуры	521	1,49
	Итого	34 999	100

В Федеральном исследовательском центре Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) сохраняется в живом состоя-

нии семенной материал ряда волокнистых культур. Наиболее широко представлены коллекции хлопчатника (6454 образца) и льна (6310 образцов) (табл. 2).

Таблица 2. Коллекции основных волокнистых культур, поддерживаемых в ВИР

Table 2. Main fiber crop collections maintained at VIR

№ п/п	Культура	Количество образцов в постоянном каталоге ВИР
1	хлопчатник	6454
2	лен	6310
3	конопля	491
4	канатник	436
5	кенаф	232
6	джут	162
7	бамия	30

Волокно в растении (табл. 3) может иметь разную природу и находиться на поверхности семени (трихомы – хлопчатник и др.), на эндокарпии плода (трихомы – капок), в околоплоднике (склеренхимные волокна проводящих пучков – кокосовая пальма), в стебле (лубяные волокна – лен, джут, конопля, рами, кенаф, сида, кроталария, мальва и др.), листьях (склеренхимные волокна проводящих пучков – агава, абака, новозеландский лен, ананас и др.). Размеры этих волокон зависят главным образом от их природы и расположения в растении. Волокна плодов и семян (трихомы) име-

ют длину в несколько сантиметров, в то время как техническое волокно стеблей и листьев намного длиннее (табл. 4). За исключением волокон семян и плодов, растительные волокна состоят из удлинённых клеток склеренхимы, которые встречаются в различных частях растения, в основном – стеблях и листьях. Волокна, которые образуются на семенах различных растений, являются выростами наружной эпидермы семенной кожуры и называются волосками или трихомами. В таблице 3 представлены источники растительных волокон разных типов.

Таблица 3. Источники растительных волокон разных типов расположения их в растении
(Ageeva et al., 2009; Kozłowski et al., 2009; Kozłowski et al., 2012b с дополнением)

Table 3. Sources of plant fibers of different types depending on their location in the plant
(Ageeva et al., 2009; Kozłowski et al., 2009; Kozłowski et al., 2012b, supplemented)

Тип волокон	Виды растений	
	широко возделываемые	не имеющие значительных площадей
Волокна семян	хлопчатник (<i>Gossypium hirsutum</i> , <i>G. barbadense</i>)	осина (<i>Populus tremula</i>), калотропис высокий (<i>Calotropis procera</i>), молочай (<i>Euphorbia</i> sp.)
Волокна плодов	кокос (волокно – койр, <i>Cocos nucifera</i>), капок (<i>Ceiba pentandra</i> , <i>Bombax ceiba</i>)	люффа (<i>Luffa aegyptiaca</i>)
Лубяные волокна	джут (<i>Corchorus capsularis</i>), лен (<i>Linum usitatissimum</i>), конопля (<i>Cannabis sativa</i>), кенаф (<i>Hibiscus cannabinus</i>), рами (<i>Boechmeria nivea</i>)	суданская роза (<i>Hibiscus sabdariffa</i>), крапива (<i>Urtica dioica</i>), исора (<i>Helicteres isora</i>), испанский дрок (<i>Spartium junceum</i>), кендырь (<i>Aprocynum cannabinum</i>)
Волокна листа	сизаль (<i>Agave sisalana</i>), агава американская (волокно – пита, <i>Agave americana</i>), абака (<i>Musa textilis</i>)	ананас (волокно – пинья, <i>Ananas bracteatus</i>), виды агав (ложный сизаль <i>Agave decipiens</i> , хенекен <i>Agave fourcroydes</i>), виды пальм (<i>Elaeis guineensis</i> , <i>Astrocaryum chambira</i> , <i>Leopoldina piassaba</i> , <i>Mauritia flexuosa</i>), фуркрея (волокно – Кабуа, <i>Furcraea andina</i> Trel.), юкка (<i>Yucca filamentosa</i>), сансевиерия (<i>Sansevieria</i> sp.), новозеландский лен (<i>Phormium tenax</i>)
Волокна злаков и тростника		бамбук (<i>Bambusa</i> spp.), сахарный тростник (багасс – волокно после отжатия сока, <i>Saccharum officinarum</i>), тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>), тотора (<i>Scirpus californicus</i>), мискантус (<i>Miscanthus sinensis</i>)
Древесные волокна		твёрдые древесные волокна (лиственные породы), мягкие древесные волокна (хвойные породы)

В таблице 4 представлен химический состав натуральных волокон основных технических культур. Больше всего целлюлозы содержит волокно хлопчатника, тогда как для лубоволокнистых культур и культур, у которых волокно получено из листьев, виден сильный разброс по показателям химического состава.

Таблица 4. Химический состав волокна
Table 4. Fiber chemistry

Волокно	Целлюлоза	Лигнин	Пектины и гемицеллюлоза	Источник
Волокно семян				
Хлопчатник	88–96	–	–	Dochia et al., 2012
Волокно из плодов				
Капок	50	20	13	Shao et al., 2024
Кокос (койр)	36–43	41–45	3–4	Kozłowski et al., 2010*
Волокно из стеблей				
Джут	51–78	10–15	37	Kozłowski et al., 2010*
Джут	58–59	13–14	22,5–25,5	Roy, Lutfar 2012a
Кенаф	44–57	15–19	–	Kozłowski et al., 2010*
Лен-долгунец	85–87	2,5–4	8,5–11,5	Kozłowski et al., 2012b
Лен-долгунец	71–86	н. д.**	14–29	Brutch et al., 2008
Конопля	67–78	3,5–5,5	17	Kozłowski et al., 2010*
Конопля	76,12	5,65	12,28	Horne, 2012
Крапива	53–82	0–5	0,9–4,8	Kozłowski et al., 2010*
Рами	67–99	0,5–1	22	Kozłowski et al., 2010*
Рами	69–76	0,6–0,7	15,0–18,6	Roy, Lutfar 2012b
Волокно из листьев				
Сизаль	60–80	6–14	13	Kozłowski et al., 2010*
Абака	60–80	6–14	13	Kozłowski et al., 2010*
Ананас	80	13	–	Kozłowski et al., 2010*
Агава (пита)	80	–	17	Kozłowski et al., 2010*
Волокна злаков и тростника				
Бамбук	26–43	21–31	–	Kozłowski et al., 2010*

Примечание: * – цит. по Kozłowski et al. 2012b; ** н. д. – нет данных
Note: * – cited from Kozłowski et al., 2012b; ** н. д. – no data

В таблице 5 приведен размер волокон некоторых волокнистых культур. Показано, что самое длинное элементарное волокно имеют рами, лен и новозеландский лен. Длина технических волокон, как правило, соответствует длине технической части стебля или длине листа, соответственно тех частей растения, из которых получено техническое волокно.

Таблица 5. Характеристика волокна технических культур
Table 5. Characteristics of industrial crop fibers

Культура	Тип волокна	Размеры волокна		Источник
		длина, мм	диаметр, мкм	
Волокна на семенах				
Хлопчатник	трихомы (волоски)	25–45	15–25	Mirakhmedov, 1985
Волокна в плодах				
Капок	трихомы (волоски)	10–25	15,0–35,0	Sangalang, 2021
Кокос	склеренхимные волокна проводящих пучков	0,3–1,0	12,0–24,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Волокна в стебле				
Джут	техническое	20–500	н. д.**	Roy, Lutfar, 2012a

Таблица 5. Продолжение

Культура	Тип волокна	Размеры волокна		Источник
		длина, мм	диаметр, мкм	
Джут	элементарное	0,8–6,0	12–25	Roy, Lutfar, 2012a
Джут	элементарное, флоэмное, первичное	0,8–7,0	5,0–25,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Джут	элементарное, флоэмное, вторичное	2,2–2,5	16	McDougall et al., 1993*
Лен-долгунец	техническое	600–1000	н. д.	Lavrenteva et al., 2022
Лен-долгунец	элементарное флоэмное первичное	5–70,0 до 120 (25,0)	20–25	Gorshkova et al., 2003*, Elladi, 1940
Кенаф	техническое	1500–2000	14–25	Medvedev, 1940b
Кенаф	элементарное, флоэмное, первичное	1,5–11,0	14,0–33,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Кенаф	элементарное, флоэмное, вторичное	1,0–2,6	20,0–24,0	McDougall et al., 1993*, Lam et al., 2003*
Кенаф	элементарное, флоэмное	1–8	14–25	Medvedev, 1940b
Конопля	техническое	700–1500	н. д.	Lavrenteva et al., 2022
Конопля	элементарное, флоэмное, первичное	3–55 (17,5)	30	Tchernova et al., 2005*
Конопля	элементарное, флоэмное, вторичное	3,0–35,0 (7,6)	8,0	Tchernova et al., 2005*
Рами	техническое	60–250	15–80	Roy, Lutfar, 2012b
Рами	элементарное, флоэмное, первичное	50–200	15–18	van Dam, Gorshkova, 2003*
Рами	элементарное, флоэмное, вторичное	39,0–150,0	31,0	McDougall et al., 1993*
Кроталария	техническое	1000	н. д.	Pereverzev, 1940
Кроталария	элементарное	4–12	26–50	Pereverzev, 1940
Кендырь	элементарное, флоэмное, первичное	2–55	16–50	Zhukovsky, 1982*
Крапива	элементарное, флоэмное, первичное	4,5–55,0	20–70	Zhukovsky, 1982*
Волокна в листьях				
Сизаль	Элементарное, ассоциированное с проводящими пучками	0,8–8,0	10,0–40,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Абака	Элементарное, ассоциированное с проводящими пучками	3,0–12,0	12,0–36,0	van Dam, Gorshkova, 2003*
Новозеландский лен	Элементарное, ассоциированное с проводящими пучками	25,0–56,0	8,0–19,0	Zhukovsky, 1982*

Примечание: * – цит. по Ageeva et al., 2009; ** н. д. – нет данных
 Note: * – cited from Ageeva et al., 2009; ** н. д. – no data

В таблице 6 приведены параметры качества волокна. Показано, что по прочности и упругости (модуль Юнга) лидирует волокно льна-долгунца, по удлинению при разрыве (среди прядомых) – хлопчатник, а среди всех культур – кокосовое волокно.

В мире существует большое разнообразие волокнистых растений –источников натурального волокна. Цель данной публикации – дать общее представление о волокнистых культурах и провести систематизацию накопленного материала об их возделывании и основном исполь-

зовании.

Распределение по группам культур в публикации основано на наличии значительных промышленных площадей (индексируемых в базе данных ФАО ООН), а также по происхождению волокна. В конце статьи приводятся виды растений, не имеющие на данный момент значительных площадей, но использовавшиеся в прошлом или имеющие локальное применение.

В своей работе мы опирались на систему таксонов APG IV (Chase et al., 2016).

Таблица 6. Физико-механические свойства волокна различных культур

Table 6. Physical and mechanical characteristics of different crop fibers

Культура	Диаметр (mkm)	Прочность на растяжение (МПа)	Модуль Юнга (GPa)	Удлинение при разрыве (%)	Влагопоглощение, %	Источник
Волокна на семенах						
Хлопчатник	15–25	264–800	5,0–12,6	4–8	8–25	Rogovina et al., 2019
Волокна в плодах						
Капок	22–65	45–64	1,73–2,49	2–4	н. д. **	Venkata Reddy et al., 2009*
Кокос (койр)	100–450	131–175	4–6	15–40	н. д. **	Hakeem et al., 2014*
Кокос (койр)	100–450	106–175	4–6	14,2–49	10	Rogovina et al., 2019
Волокна в стебле						
Джут	25–200	393–773	13–26,5	1,16–1,50	н. д. **	Hakeem et al., 2014*
Джут	20–200	200–800	10–55	1,16–8,00	12	Rogovina et al., 2019
Лен	10–40	600–2000	12–85	1–4	н. д. **	Hakeem et al., 2014*
Лен	н. д. **	300–1500	24–80	1,3–10	7	Rogovina et al., 2019
Кенаф	н. д. **	295–1191	2,86	3,5	н. д. **	Rogovina et al., 2019
Конопля	н. д. **	310–900	30–70	1,6–6,0	8	Rogovina et al., 2019
Конопля	14–50	н. д. **	н. д. **	2,2–3,0	н. д. **	Lavrenteva et al., 2022
Рами	н. д. **	348–938	44–128	1,2–8	12–17	Rogovina et al., 2019
Волокна в листьях						
Сизаль	50–200	468–640	9,4–22,0	3–7	н. д. **	Hakeem et al., 2014*
Сизаль	50–200	80–840	9–38	2–25	11	Rogovina et al., 2019
Ананас	н. д. **	170–1627	60–82	2,4	н. д. **	Rogovina et al., 2019
Банан (абака)	н. д. **	529–914	27–32	3	н. д. **	Rogovina et al., 2019
Финиковая пальма	100–1000	58–203	2,0–7,5	5–10	н. д. **	Hakeem et al., 2014*

Примечание: * – цит. по Sangalang, 2021; ** н. д. – нет данных

Note: * – cited from Sangalang, 2021; ** н. д. – no data

Растения с волокном семян и плодов, возделываемые в промышленном масштабе

Хлопчатник

Хлопчатник – важная мировая культура комплексного использования. Его возделывают в тропической и субтропической зонах. По данным ФАО, в 2023 г. его выращивали в 82 странах. Основное значение хлопчатник имеет как прядильная культура, тем не менее объем производства хлопкового масла пищевого и технического назначения в мире уступает только соевому и пальмовому.

Хлопчатник (*Gossypium* L.) принадлежит к семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. В настоящее время разные авторы рассматривают в роде 41–46 видов (Strygina et al, 2020). Культивируются 4 вида рода, но наибольшие площади заняты сортами тетраплоидных новосветских видов *G. hirsutum* L. (средневолокнистый хлопчатник, или упланд) и *G. barbadense* L. (тонковолокнистый хлопчатник, или египетский), дающими наиболее длинное волокно с лучшими прядильными характеристиками. Старосветские диплоидные виды *G. arboreum* L., *G. herbaceum* L. занимают небольшие площади в Индии,

так как растения этих видов не приспособлены к машинной уборке и требуют большого количества рабочих рук. Волокно этих видов короткое, но упругое, поэтому оно востребовано для набивки сидений в дорогих автомобилях и мебели. Все виды хлопчатника – древесные растения, но культивируются как однолетние, поэтому при тропическом происхождении (родиной различных культивируемых видов хлопчатника являются Мексика, Перу, Юго-Восточная Азия и Восточная Африка) культурный хлопчатник, особенно вид *G. hirsutum*, смог продвинуться далеко на север – от центра происхождения вплоть до юга России, где находится самая северная зона выращивания этой культуры.

Волокно хлопчатника (выросты наружного слоя семенной кожуры – трихомы) состоит только из целлюлозы, снаружи покрыто воском, оно менее прочное, чем более грубые лубяные волокна других прядильных культур. Но простота получения чистого волокна (механическое отделение волосков от семян) и, как следствие, дешевизна производства вывели хлопчатник на первое место в мире среди других прядильных культур. Волокно хлопчатника делится на длинное (собственно волокно) и короткое, называемое «подпушек», или «линт». Содержание длинного волокна составляет в среднем 35%

от общего урожая хлопка-сырца. Лучшие современные сорта Австралии дают свыше 40% волокна (Podolnaya et al., 2016).

Главные показатели волокна, имеющие значение для прядения, – длина и прочность (удельная разрывная нагрузка) волокна. По общепринятой системе HVI верхняя средняя длина (UHM), колеблется от 25 до 34 мм, наиболее употребительная длина – 27–30 мм, характерная для лучших сортов средневолокнистого хлопчатника. Прочность (Str) – 23–35 гс/текс. Для средневолокнистого хлопчатника наилучшая прочность – 26–27 гс/текс (Kelly et al., 2015).

Под хлопчатник (среди всех прядильных культур) отведено наибольшее количество сельскохозяйственных угодий в мире. Так, в 2023 г., по данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), общая площадь в 82 странах составила 31,8 млн га. На долю Индии при-

ходится 12 927 тыс. га, или 41% всей площади, а на долю США (2859 тыс. га), Китая (2788 тыс. га), Пакистана (2424 тыс. га), Бразилии (1709 тыс. га) и Узбекистана (1036 тыс. га) – 34%. В общей сложности на 6 стран приходится 75% всех площадей, занятых под хлопчатником. Если посмотреть динамику за 10 лет, то посевные площади в мире, занятые под хлопчатником, колебались в незначительных пределах: 2013 – 31,8 тыс. га, 2018 – 32,6 тыс. га, 2023 – 31,8 тыс. га. (рис. 1, А). По данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>) по состоянию на 2023 г., на территории Российской Федерации (РФ) хлопчатник возделывают в Республике Дагестан на площади 0,2 тыс. га. Если посмотреть динамику площадей, занятых под хлопчатником в России с 2017 г., то видно, что наибольшая площадь была отведена в 2018 г. и составила 0,36 тыс. га (рис. 1, В).

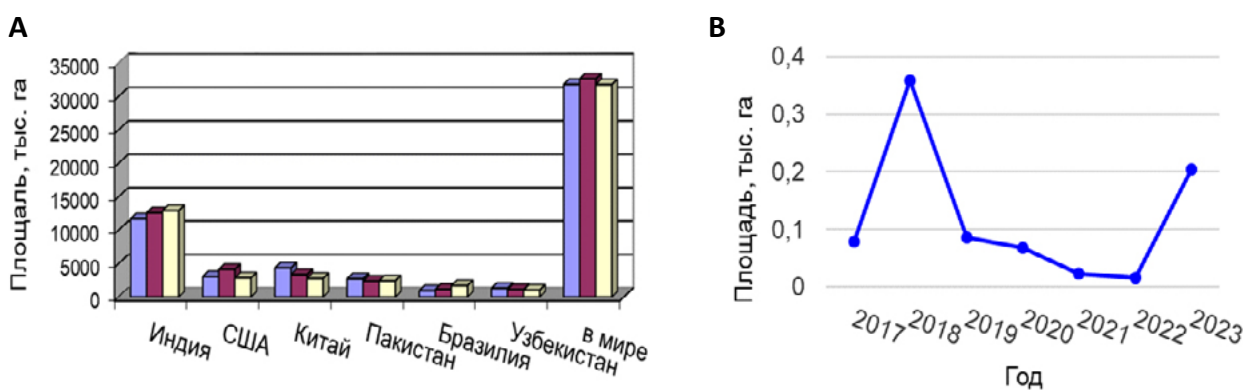


Рис. 1. Площади под хлопчатником в мире (А) и в России (В)

Fig. 1. Cotton cultivation areas in the world (А) and in Russia (В)

Волокно, получаемое из хлопчатника, широко используется в текстильной промышленности для производства различных видов тканей: сатин, ситец, батист и др. Ткани, получаемые из волокна хлопчатника, обладают хорошей прочностью, мягкостью, гигроскопичностью, воздухопроницаемостью, гипоаллергенностью. Они легко окрашиваются, относительно дешевы. Их недостатками являются сминаемость, пиллингуемость (скатываемость), усадка при стирке. Также волокно идет на изготовление ваты, композитных материалов. Линт (хлопковый пух) используется для изготовления искусственного шелка, бумаги, изоляционных материалов, пороха.

Беловолокнистые формы хлопчатника явились результатом естественных мутаций и были отобраны селекционерами (рис. 2, А) (Tuz et al., 2023). В середине прошлого века начали разрабатывать новое направление селекции – создание сортов с цветным волокном. Осно-

вой послужили дикорастущие формы вида *G. hirsutum*, волокно которых имело окраску. В России создан сорт со светло-коричневым волокном – ‘Браун’ (рис. 2, В) (Tuz et al., 2023).

В ФГБУ «Госсорткомиссия» передан сорт с зеленым волокном – ‘Грин’ (рис. 3).

Природно окрашенное волокно обладает преимуществами. Оно не требует ни отбеливания, ни окрашивания, что резко снижает нагрузку на окружающую среду (Yatsu et al., 1983, Dutt et al., 2004). Изделия из натурально окрашенного волокна гипоаллергенны. В силу устойчивости волокна к пекто- и целлюлозолитическим микроорганизмам в изделиях может снижаться уровень продуктов его биодеструкции (афлатоксины) (Illarionova, Grigorev, 2020). В настоящее время сорта с природно окрашенным волокном занимают значительные площади, особенно в Китае (Sun et al., 2009; Zhang et al., 2019).



Рис. 2. Коробочки хлопчатника: А – сорт 'АС-5' с белым и В – сорт 'Браун' с природно окрашенным волокном (Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, с. Солёное Займище, 2018 г.; фото Л. П. Подольной)

Fig. 2. Cotton bolls: cv. 'AS-5' with white fiber (A), and cv. 'Brown' with naturally colored fiber (B) (Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoe Zaimishche, 2018; photo by L. P. Podolnaya)



Рис. 3. Коробочка хлопчатника с зеленым волокном (Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, с. Солёное Займище, 2018 г.; фото Л. П. Подольной)

Fig. 3. Cotton bolls with green fiber (Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoe Zaimishche, 2018; photo by L. P. Podolnaya)

Капок

Под названием «капок» культивируют два вида тропических деревьев. Хлопковое дерево, или капок настоящий *Bombax ceiba* L. (syn. *B. thorelii* Gagner.), и хлопковое дерево *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. относятся к семейству Malvaceae, подсемейству Bombacoideae. Плоды – крупные (10–12 см) вскрывающиеся коробочки, содержащие семена. Собственно «капок» – это одноклеточные волоски (трихомы), выросты эпидермы, которые покрывают внутреннюю часть плода. Они, в отличие от волокна хлопчатника, состоящего практически полностью из целлюлозы, имеют в своем составе 50% целлюлозы, около 13% гемицеллюлозы и около 20% лигнина. Во время

раскрытия коробочки волоски отрываются от ее стенки и с помощью выделяемой слизи приклеиваются к семенам, увеличивая их «летучесть», что способствует их распространению. Капок, в отличие от хлопка, – волокно коробочек, оно легко разрушается и практически не прячется (Grudzinskaya, 1981; Shao et al., 2024).

По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), в 2023 г. капок выращивали в Индонезии (156 тыс. га) и Таиланде (23 тыс. га). При этом на долю Индонезии приходилось 87% всех площадей, занятых под этой культурой. В динамике за 10 лет площади колебались в незначительных пределах – от 180 и 182 тыс. га в 2013 и 2018 г. к 179 тыс. га в 2023 г. (рис. 4).

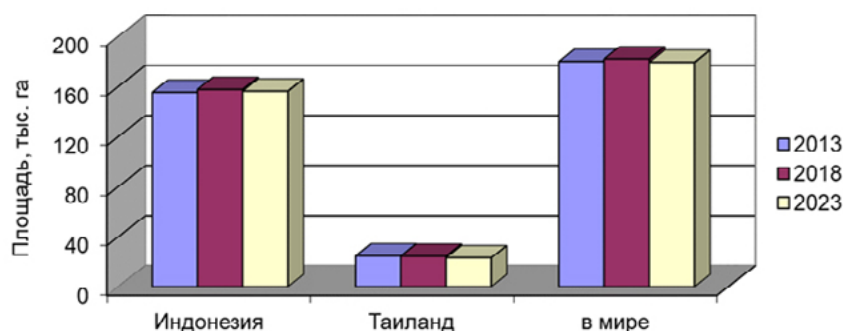


Рис. 4. Площади в Индонезии, Таиланде и в мире, занятые под капком (2013–2023 гг.)

Fig. 4. Kapok cultivation areas in Indonesia, Thailand, and the entire world (2013–2023)

Волокна капока тонкие, мягкие и блестящие, от светло-желтого до светло-коричневого цвета, легкие, так как имеют большие (около 74% от площади) внутренние пространства, заполненные воздухом, поэтому они более чем в 8 раз легче хлопка. Волокна имеют достаточно высокое содержание жира и покрыты гидрофобным восковым слоем, что делает их очень устойчивыми к влаге, водонепроницаемыми и плавучими. Это волокно используют для набивки мягкой мебели, игрушек, спальных мешков, матрасов, а также как звуко- и теплоизоляционный материал. Кроме того, оно применяется для производства гигроскопичной марли, изоляционных материалов и в обивке, в качестве плавающего материала в спасательных жилетах, для получения бумаги. Для биокomпозитов капок может выступать в качестве армирующих структур, после модификации может использоваться для адсорбции ионов тяжелых металлов и красителей из водных растворов (Baraniak et al., 2023).

Койр (кокос)

Кокос – это плод кокосовой пальмы *Cocos nucifera* L., являющейся единственным видом рода, относящимся к семейству Агесасеае. Кокосовая пальма – однодомное дерево до 30 м высотой с розеткой листьев наверху, устойчивое к засолению. В пазухах листьев развиваются соцветия, дающие плоды – крупные (массой до 2 кг) костянки, называемые кокосовыми орехами. Как и другие плоды, кокос имеет три слоя: экзокарпий, мезокарпий и эндокарпий. Экзокарпий – внешний слой околоплодника (или плода), образующий прочную и водонепроницаемую внешнюю стенку плодов кокоса. Мезокарпий содержит большое количество проводящих пучков, окруженных склеренхимными волокнами (или койром), внутри паренхимной ткани. Шелуха кокосовой пальмы на 30% состоит из волокон и на 70% – из паренхимы. Кокосовая скорлупа является сырьем для производства кокосового волокна. Кокосовое волокно делится на две совершенно разные категории – белые и коричневые волокна. Белое волокно получают из зеленой шелухи после процесса замачивания. Кокосовое волокно хорошего качества может быть получено из зеленой шелухи

с меньшим содержанием лигнина и почти таким же количеством целлюлозы. Полученное таким образом белое волокно является мягким, более гладким и эластичным, чем коричневое волокно. Коричневое волокно получают из полностью созревших кокосовых орехов, которые в процессе созревания приобретают коричневую окраску (Grimwood 1975; Kadam et al., 2014).

Волокно из мезокарпия плодов (койр), прочное, эластичное, устойчивое к соленой морской воде, служит для изготовления веревок, канатов, циновок, ковров, щеток, матов, мешков, набивки матрасов. В Камбодже его используют для изготовления метел. Также койр употребляют как субстрат для выращивания орхидей в теплицах (Grimwood, 1975; Ikhmanitskaya, 1982).

Кокосовая пальма – экономически очень важная культура. Она возделывается в той или иной степени в 80 странах. Площади, отводимые под эту культуру в 2023 г., составили 11,245 млн га. Основные производители – Филиппины (3,665 млн га), Индонезия (2,810 млн га) и Индия (2,277 млн га). Однако не известно, какой процент кокосовых орехов используется на производство волокна (<https://www.fao.org/statistics/en>).

Лубоволокнистые растения, возделываемые в промышленном масштабе

Джут

Джут (*Corchorus capsularis* L. и *C. olitorius* L.) относится к семейству Malvaceae, подсемейству Grewioideae. Волокно белого джута лучшего качества, однако длинноплодный джут занимает большие площади (Pereverzev, Kultiasov, 1940; Vasiliev, 1981).

Джут круглоплодный (*C. capsularis*), известный как белый джут, – это прямостоячий полукустарник до 2 и более метров высотой, с округлыми коробочками. Предполагается, что родина белого джута – Китай (Pereverzev, Kultiasov, 1940).

Джут длинноплодный (*C. olitorius*) – это прямостоячая однолетняя трава, довольно ветвящаяся, до 3 м высотой, но при возделывании на волокно может достигать 4 м, коробочки удлинённые, стручковидные. Считается,

что родина джута длинноплодного – Индия (Pereverzev, Kultiasov, 1940).

Джутовое волокно получают из луба (флоэмы). Содержание волокна в стебле джута достигает 20–25%. Количество клеток в волокнистом пучке у джута колеблется от 8–9 до 20–25. Считается, что такой разброс в их количестве является основной причиной изменения физических и механических свойств волокна и его качества (Roy, Lutfar, 2012a).

Джут занимает второе место среди основных волокнистых культур. Площади, отводимые под эту культуру в 2023 г., составили 1,531 млн га. Его возделыванием занимались 18 стран. По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), наибольшее количество сельскохозяйственных угодий занято под джутом в Бангладеш – 730 тыс. га, Индии – 619 тыс. га, Камбодже – 162 тыс. га. На эти страны приходится 98,7% всей площади под этой культурой в мире (рис. 5).

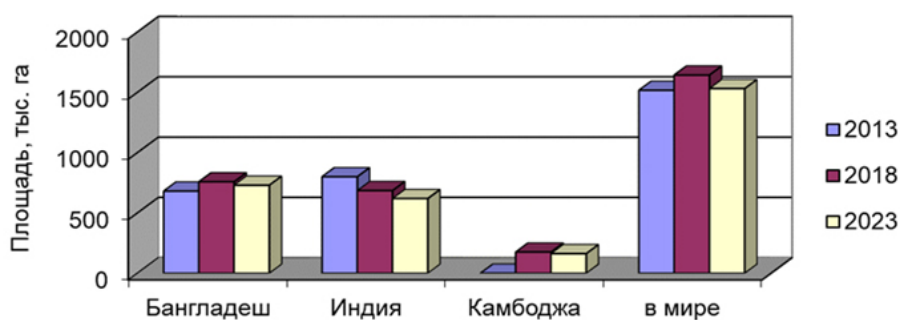


Рис. 5. Изменение посевных площадей, занятых под джутом (2013–2023 гг.)

Fig. 5. Dynamics of jute cultivation areas in the world (2013–2023)

Джут используется для производства волокна в промышленных масштабах. Коммерческое волокно джута может иметь цвет от бледно-кремового до золотисто-желтого и от светло-коричневого до грязно-серого. Оно обладает природным шелковистым блеском, однако довольно грубое, жесткое, неэластичное. Хорошая фрикционная способность, прочность, высокий модуль упругости и низкое удлинение при разрыве делают джут идеальным упаковочным материалом. Джутовое волокно гигроскопично, смоченные волокна могут разбухать до 23% в диаметре. Основными преимуществами джута являются его высокая прочность, умеренный набор влаги, хорошая окрашиваемость с использованием различных красителей, хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства и низкая стоимость. Основные недостатки – грубость, жесткость, низкая прочность во влажном состоянии, умеренная усадка при стирке, высокая линька волокон, фотопожелтение, ломкость складок, подверженность гниению. Применение джута ограничено грубостью получаемых тканей, потому что соотношение длины к диаметру джутовых волокон составляет всего 100–120, что значительно ниже минимума в 1000, необходимого для качественного прядения (Roy, Lutfar, 2012a). Однако проблема в последнее время находит решение в получении котонина из волокна джута и смеси его с хлопковым, вискозным или полиэстерным волокном (Nawaz et al., 2008).

Джут используется для изготовления упаковочных материалов, таких как дерюга, мешковина, геотекстиль и технический текстиль, веревок и бечевков, канатов, для производства летних сумок, домашнего текстиля, оби-

вочных материалов, настенных покрытий, как ковровая основа (нетканый войлок и джутовые ковры), в качестве тканевых подложек для линолеума, изоляционных материалов при прокладывании венцов деревянных домов, армированных волокон для композитов (Roy, Lutfar, 2012a).

Лен

Лен (*Linum usitatissimum* L.) – однолетнее травянистое растение высотой до 140 см, относится к семейству Linaceae. Род *Linum* насчитывает около 200 видов, однако практическое значение имеет только один вид – *L. usitatissimum*. Первобытный человек употреблял волокно дикорастущих видов (*L. perenne* L., *L. angustifolium* Huds. и др.). Первые находки культурного льна относят к неолиту. Лен обыкновенный издавна использовался как прядильная и масличная культура. Для прядильных целей используют две разновидности льна обыкновенного: лен-долгунец для получения длинного волокна хорошего качества и лен-межеумок для короткого волокна как побочного продукта при выращивании масличного льна на семена (Wulff, 1940; Elladi, 1940; Kutuzova, 1998; Kutuzova et al., 2015; Porokhovinova et al., 2021).

Лен-долгунец занимает второе место среди лубоволокнистых культур после джута и четвертое место среди волокнистых культур. По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), в 2023 г. посевы льна на волокно в мире составили 249 тыс. га. Лидирующую позицию занимает Франция – 131 тыс. га, на долю которой прихо-

дится 52,6% всей площади. Второе и третье место занимают Беларусь и РФ – 36 и 31 тыс. га соответственно. Суммарная площадь, занятая под льном-долгунцом в этих странах, составляет 79,8% (рис. 6, А). В РФ, по данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>), за 10-летний период наблюдается сокращение посевных площадей (рис. 6, В).

Основные площади возделывания находятся в Приволжском (12,1 тыс. га), Центральном (10,5 тыс. га), Сибирском (10,4 тыс. га) федеральных округах. На долю Северо-Западного федерального округа приходилось лишь 2,3 тыс. га. Из них на Вологодскую область – 2,1 тыс. га.

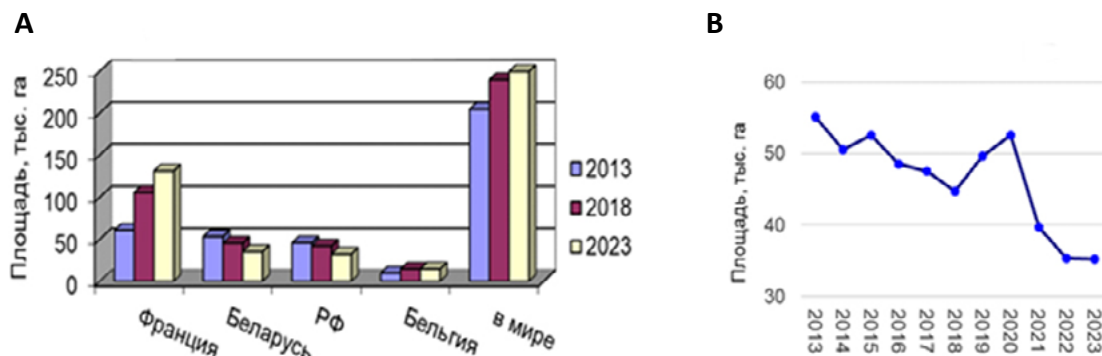


Рис. 6. Динамика посевных площадей льна-долгунца в мире (А) и России (В) за десятилетний период (2013–2023 гг.)

Fig. 6. Dynamics of flax cultivation areas in the world (A) and in Russia (B) over a ten-year period (2013–2023)

Лен-долгунец обладает самым ценным среди других лубяных культур волокном. Волокна льна имеют только первичное происхождение (первичная флоэма), что обеспечивает более высокое их качество. Общее содержание волокна в стебле, в зависимости от сорта, может колебаться от 25 до 40%. Длина технического волокна льна – от 60 до 100 см, оно прочнее хлопкового в два – три раза. Ткани, получаемые из льна, обладают высокой гигроскопичностью, хорошей теплопроводностью, химической инертностью, износостойкостью, антистатичностью, гипоаллергенностью. Недостатки – сильная сминаемость, усадка при стирке. Из волокна льна получают широкий ассортимент тканей: от батиста до брезента, которые идут на изготовление широкого ассортимента текстильных и трикотажных изделий. Короткое волокно применяется при производстве нетканых материалов, утеплителей, льняной ваты, биокomпозитов в аэрокосмической и автомобильной промышленности, для изготовления изоляции, строительных материалов. Другие сферы применения коротких грубых волокон – производство целлюлозы, пороха, папиросной бумаги, упаковки, ламината, древесностружечных плит и нетканых материалов различного назначения: от мебели до гео- и хемотекстиля. Из волокна льна любой длины можно получить модифицированное волокно (котонин) для выработки тонких бытовых тканей и трикотажа в смеси с другими волокнами (Ageeva et al., 2009; Brutch et al., 2008; Kozłowski et al., 2012a; Kutuzova et al., 2020; Lavrenteva et al., 2022).

Масличный лен (лен-межеумок). В мире под данной культурой в 2023 г. было занято 3,088 млн га. На долю двух стран – России (1,290 млн га) и Казахстана

(0,726 млн га) – приходилось 65,3% посевной площади. По данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>), на территории РФ больше всего эта культура занимала площади в 2023 г. в Сибирском (562,2 тыс. га), Приволжском (263,1 тыс. га), Уральском (246,3 тыс. га), Южном (214,0 тыс. га) федеральных округах.

В ВИР ведется работа по оценке физико-механических свойств волокна льна, которая показала, что лен-межеумок может иметь приемлемое качество волокна (Pavlov et al., 2022).

Кенаф

Кенаф (*Hibiscus cannabinus* L.) относится к семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. Однолетнее травянистое растение, стебель прямой, высотой до 3–4 м (Medvedev, 1940b).

В 2023 г., по данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), мировые посевы кенафа составили 153 тыс. га. Лидером является Индия, где посевы занимают 86,6 тыс. га, что соответствует 56% площадей (рис. 7).

В стеблях кенафа содержится 16–20% волокна. Волокно кенафа грубое, но имеет высокие показатели прочности, гибкости и гигроскопичности. Его используют при производстве мешковины, упаковочных материалов, брезентовых тканей, скатертей, ковров, канатов, шпагатов, веревок, рыболовных принадлежностей, бумаги и целлюлозы, биокomпозитов, изоляционных матов, абсорбционных материалов (Medvedev, 1940b; Ayadi et al., 2017).

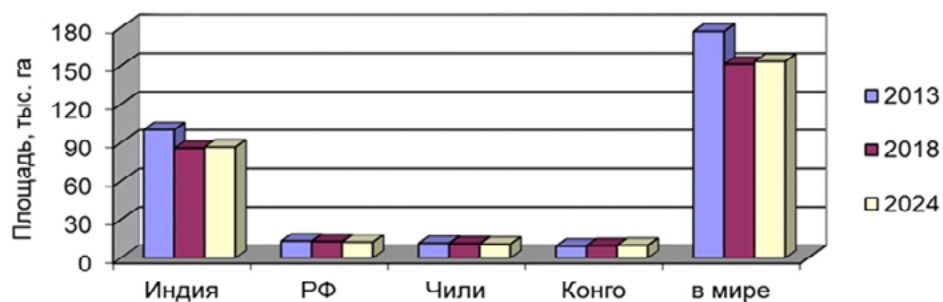


Рис. 7. Посевные площади, занятые под кенафом в мире (2013–2023 гг.)

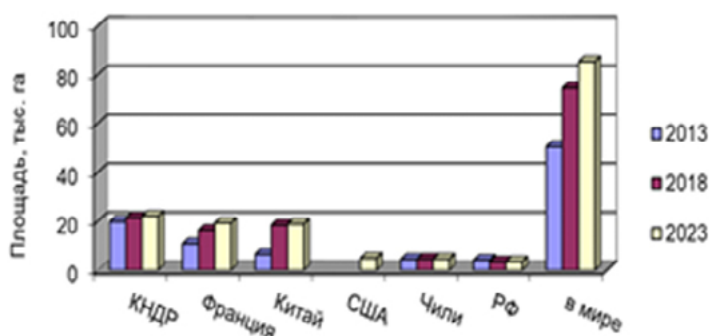
Fig. 7. Kenaf cultivation areas in the world (2013–2023)

Конопля

Конопля (*Cannabis sativa* L.) принадлежит к семейству Cannabaceae. Это однолетнее ветроопыляемое, в основном двудомное растение. Конопля – культура комплексного использования. Из семян извлекают масло. До начала производства подсолнечного масла конопляное было самым распространенным растительным маслом в Российской империи. Мужские особи называют «посконь», женские – «матерка». Из стеблей поскони получается волокно лучшего качества по сравнению с тем, что дают растения матерки. Однако посконь созревает значительно раньше матерки и полегает, поэтому ее надо удалять сразу после цветения. В настоящее время созданы однодомные сорта конопли, более пригодные к механизированной уборке. Однодомность – генетически неустой-

чивый признак, пока не созданы сорта конопли, стабилизированные по этому признаку. Стебли растения конопли борозчатые снаружи, полые, длиной от 1 до 5 м, диаметром от 5 до 25 мм в зависимости от условий выращивания и от сорта (Pylnev, 2005; Horne, 2012; Serkov et al., 2019). По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), площади под коноплей в 2023 г. составили 85,0 тыс. га. Наибольшее количество земли под культурой отведено в КНДР – 22 тыс. га, Франции – 19,4 тыс. га, Китае – 19 тыс. га. Меньшую площадь посева конопли занимают в США, Чили, РФ – 4,9, 4,5 и 3,5 тыс. га соответственно. На долю этих стран приходится 70% посевных площадей в мире (рис. 8, А). По данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>), на территории РФ под коноплей в 2023 г. было занято 11,4 тыс. га. (рис. 8, В), главным образом в Приволжском и Центральном федеральных округах.

А



В

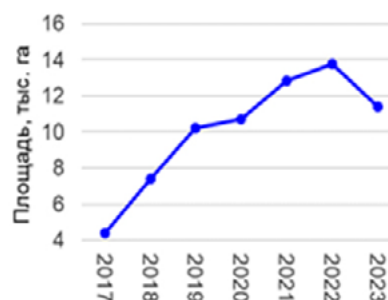


Рис. 8. Динамика посевных площадей конопли в мире (А) и в России (В)

Fig. 8. Dynamics of hemp cultivation areas in the world (А) and in Russia (В)

Содержание волокна в стебле конопли – от 16 до 35% (Pylnev, 2005). По гигроскопическим и физико-механическим свойствам волокно конопли (пенька) близко к волокну льна, однако оно более грубое и сильнее мнется. Волокно конопли используется для производства бумаги, изоляционных материалов, брезента, парусины,

канатов, веревок, биокomпозитов, а также в текстильном и мебельном производстве. Конопляную ткань применяют для пошива постельного белья и одежды. Конопляная вата используется в медицине, автомобильной и строительной отраслях (Serebryakova, Sizov, 1940; Horne, 2012; Serkov et al., 2019).

Рами

Рами (*Boehmeria*) принадлежит семейству Urticaceae. Культивируются два типа рами – белое рами (*B. nivea* (L.) Gaudich.) и зеленое рами, или рея (*B. nivea* var. *tenacissemata* (Gaudich.) Miq.). Белое рами, или настоящее рами, или китайская трава, является китайским культурным растением. Считается, что зеленое рами, или рея, – это гибрид с участием белого рами в качестве одного из родителей, и он появился на Малайском полуострове. Белое и зеленое рами различаются по месту произрастания: белое рами лучше всего растет в умеренных и субтропических зонах, а зеленое рами – в тропических регионах.

Рами – прямостоячее, обычно неветвящееся, высокое, быстрорастущее травянистое или полукустарниковое

многолетнее растение, достигающее в зрелом возрасте 1,0–2,5 м в высоту. Листья сердцевидной формы, длиной 7–15 см, шириной 6–12 см, белые с нижней стороны у белой рами и зеленые – у зеленой рами, с густыми мелкими волосками, что придает им серебристый оттенок (Medvedev, 1940a).

Считается, что зеленое рами имеет более высокий выход и прочность волокна, однако волокно белого рами превосходит его по плотности и ценится за приятный цвет (Medvedev, 1940a; Roy, Lutfar, 2012a).

Рами – одна из старейших прядильных культур и известна не менее 6000 лет. По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), возделыванием рами занимается Китай – 3,7 тыс. га. Причем в 2023 г. (по сравнению с 2013 г.) произошло сокращение посевных площадей в 17 раз. Небольшие площади находятся в Лаосе – 0,68 тыс. га, по данным за 2023 г. (рис. 9).

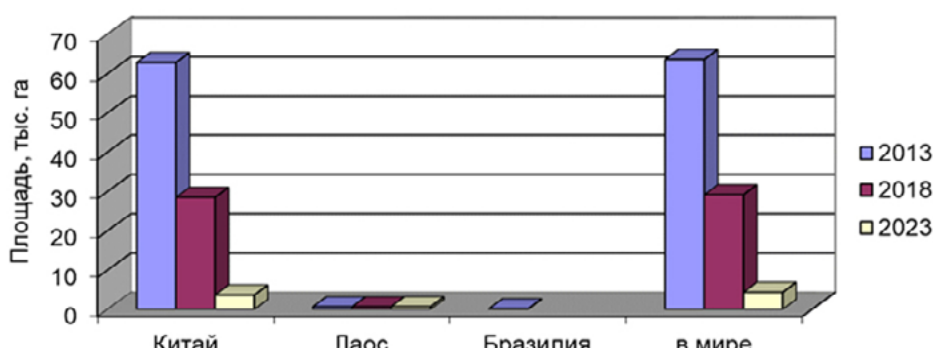


Рис. 9. Изменение посевных площадей рами в мире (2013–2023 гг.)

Fig. 9. Dynamics of ramie cultivation areas in the world (2013–2023)

Содержание волокна в стебле составляет около 20%. Волокна рами достаточно длинные, 130–150 мм в среднем (Roy, Lutfar, 2012b). Волокно рами обладает прочностью и устойчивостью к гниению. Недостатки – сминаемость, образование заломов на сгибах (Medvedev, 1940a).

Исторически волокно рами использовалось для изготовления очень тонкой ткани для верхней одежды, в том числе высококачественных кимоно, особенно в Японии и Корее. Блеск волокна рами напоминает шелк и лен, оно легко поддается окрашиванию, благодаря чему используется в производстве дорогих тканей для пошива костюмов, рубашек, постельного белья. Грубые волокна рами из-за высокой прочности и отсутствия растяжения чаще используются для изготовления шпагатов и ниток. Благодаря своей высокой прочности при намокании, способности быстро высыхать и значительной устойчивости к бактериальной деструкции, рами применяется для изготовления парусной ткани, рыболовных сетей, пожарных шлангов, поясов, брезента, упаковки для морских шахт, тканей для фильтров. Более короткие волокна и отходы, называемые poils, смешанные с хлопком/вискозой, используются для изготовления низкосорт-

ных тканей и высококачественной специальной бумаги, такой как папиросная бумага, бумага для банкнот и т. д. (Medvedev, 1940a). В последнее время намечается тенденция к производству смесовых тканей на основе волокна рами и хлопка (Chattopadhyay et al., 2008). Волокна рами используют для производства пластика, который применяется, в частности, для отделки автомобилей (Netravali, 2004).

Растения с волокном из листьев, возделываемые в промышленном масштабе

Агава

Род *Agave* L. относится к семейству Asparagaceae. С целью получения волокна в основном возделываются 3 вида агавы – сизаль (*Agave sisalana* Perrine), пита (*A. americana* L.) и флоридская агавы, или фальшивый сизаль (*A. decipiens* Baker). Центром происхождения всех видов агавы является Центральная Америка и юг США, но европейцы интродуцировали эту культуру в страны тропической Африки и Юго-Восточной Азии.

Растения *A. sisalana* и *A. americana* имеют короткий стебель, образующий розетку крупных мясистых жестких листьев, до 90–130 см и 80–120 см длиной и 9–12 см и 15–25 см шириной соответственно^{1, 2}. Растения *A. decipiens* древесные³, стволы высотой 1–3 (4) м, Листья длиной 70–100 (200) см и шириной – 7–10 см. Все три вида – монокарпики. По данным ФАО (<https://www.fao.org/statistics/en>), в 2023 г. площадь под агавой сизалевой составила 276 тыс. га. Наибольшие территории под агавой сизалевой заняты в Бразилии (104 тыс. га) и Танза-

нии (73 тыс. га), что составляет 63,8% мировой площади посева. На долю Кении, Гаити и Мадагаскара приходится 26,1% посева (рис. 10).

В 2023 г. площадь под агавой американской составила 58 тыс. га (<https://www.fao.org/statistics/en>). Ее возделывали 8 стран. Больше всего площадей под данной культурой занято в Колумбии (19,6 тыс. га) и Мексике (13,4 тыс. га). На эти страны приходится 57% сельскохозяйственных угодий (рис. 11).

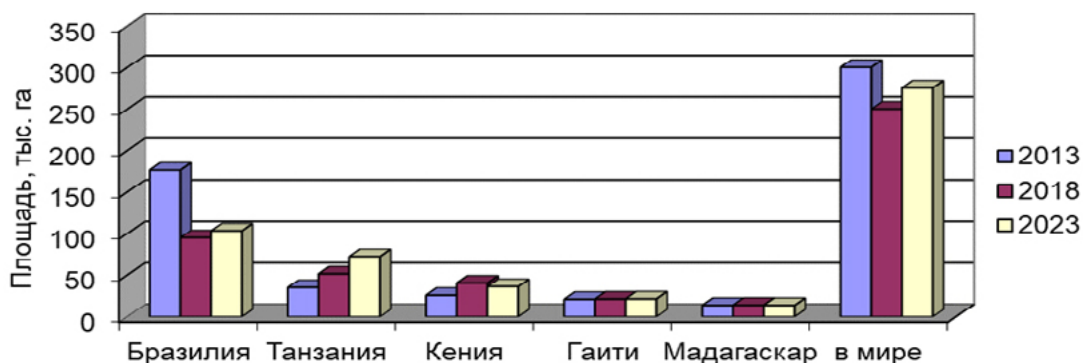


Рис. 10. Изменение посевных площадей агавы сизалевой в 2013–2023 гг.

Fig. 10. Dynamics of *Agave sisalana* cultivation areas in 2013–2023

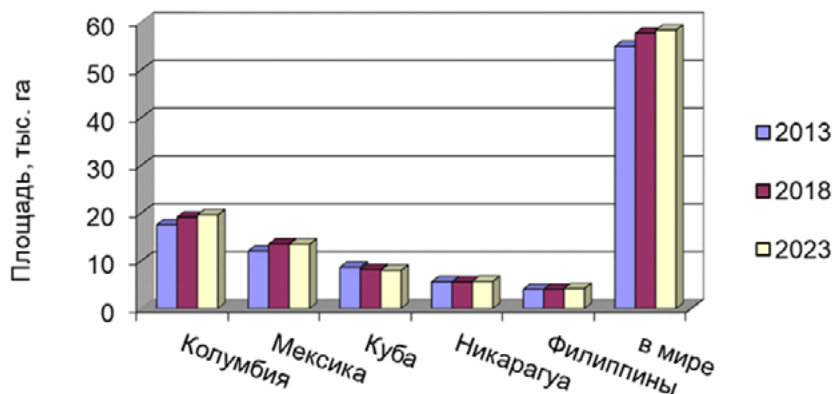


Рис. 11. Изменение посевных площадей агавы американской в 2013–2023 гг.

Fig. 11. Dynamics of *Agave americana* cultivation areas in 2013–2023

¹ eFloras.org. Flora of North America. *Agave sisalana*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200028033

² eFloras.org. Flora of North America. *Agave americana*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200028030

³ eFloras.org. Flora of North America. *Agave decipiens*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=242101303

Волокно агав (агавы сизалевой – сизаль, агавы американской – пита, агавы флоридской – фальшивый сизаль): прочное, износостойкое, устойчивое к ультрафиолету, (Quinaya, d'Almeida, 2018), плохо прядомое, легко окрашивается, идет на изготовление веревок, канатов, сетей, шпагата, упаковочных тканей, холстов, используется в качестве наполнителя в ортопедических матрасах, а также для ковров в смеси с шерстью или акрилом. Отходы от производства применяются в изготовлении строительных материалов и т. д. (Kadolph, Langford, 2001; Kozłowski et al., 2012b).

Абака

Абака, или банан текстильный (*Musa textilis* Nee), относится к семейству Musaceae. Многолетнее травянистое растение. Известен под названием манильская конопля. Общая площадь посева в 2023 г. составила 181 тыс. га. Основная доля посева приходится на Филиппины – 148 тыс. га, что составляет 82% всей площади посева (рис. 12).

Волокно абаки очень прочное, эластичное, износо-

стойкое, устойчиво к ультрафиолету и морской воде, воздухопроницаемо, гипоаллергенно, обладает длительным сроком эксплуатации. Оно используется для изготовления ткани, которая идет на пошив блузок, рубашек, туник, брюк, платьев. Грубое волокно идет на изготовление головных уборов, циновок, гамаков, парусов и канатов, а также на производство бумаги (Kozłowski et al., 2005).

Прочие волокнистые растения, не имеющие значительных посевных площадей

Среди прочих волокнистых растений отдельно можно отметить лубоволокнистые растения: канатник, крапиву, кроталарию, дрок испанский, мальву, кендырь, а также новозеландский лен, у которого волокно производят из листьев.

Бамия (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) (Indian Okra) относится к семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. Стебли используются как побочный продукт при выращивании плодов в Индии. Выход волокна – 10–25% (Kolte, Shivankar, 2024).

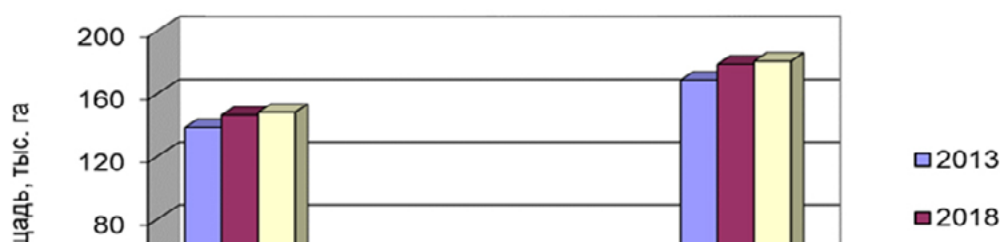


Рис. 12. Площади, занятые под абакой в 2013–2023 гг.

Fig. 12. Dynamics of abacá cultivation areas in 2013–2023

Канатник (*Abutilon theophrasti* Medik.) принадлежит семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. Однолетнее травянистое растение до 4,5 м высоты, выход волокна – 14,5–27,0%. Получаемое из него волокно грубое, ломкое и непрочное, годное для производства мешковины, шпагатов, веревок, рыболовных сетей и т. д. (Lysova, 1940).

Крапива (*Urtica dioica* L.) принадлежит семейству Urticaceae. Двудомное многолетнее травянистое растение до 2 м высотой. Крапива как прядильная культура известна давно. Изделия из волокна крапивы найдены на стоянках человека Бронзовой эры в Дании. Позже из него делали одежду, сети, паруса. В начале XX века ее волокно применяли для изготовления бельевых и более грубых тканей, веревочно-канатных изделий. Так как выход волокна у крапивы – 7,5–13,0% (Medvedev, 1940d; Sfiligoj Smole et al., 2013), ее выращивание с появлением искусственных волокон стало невыгодно, и сейчас она не возделывается в промышленных масштабах. Однако проводятся работы по ее изучению: так, в Италии в 2006–2007 гг. показано, что крапива может быть рентабельна, так как ее волокно похоже на волокно конопли по диаметру, содержанию лигнина и относительному удлинению,

а также на волокно льна и хлопчатника по прочности при растяжении (Bacci et al., 2009).

Кроталария прядильная (*Crotalaria juncea* L.) принадлежит семейству Fabaceae. Однолетнее травянистое растение высотой 2–3 м, возделывалось в Индии. Выход волокна – 8–12%. Волокно носило название «индийская пенька», которую использовали для изготовления холста, мешков, веревки, в том числе сетей, а также бумаги. Его качество не уступало волокну из джута (Pereverzev, 1940).

Дрок испанский (*Spartium junceum* L.) относится к семейству Fabaceae. Кустарник, реже дерево до 5 м высотой. Лубяные волокна, которые добывают из стеблей, обладают большой прочностью, устойчивостью против инсоляции и влаги. Они идут на изготовление грубых тканей (полотна, дерюги, холста и парусины), а также на производство бумаги, изоляционных материалов, линолеума, могут использоваться для котонизации. Древние греки и римляне применяли волокно дрока для изготовления грубых, а также более тонких тканей (Muratova, 1940).

Мальва мелюка (*Malva meluca* Graebn.) принадлежит к семейству Malvaceae, подсемейству Malvoideae. Однолетнее травянистое растение высотой 2–3 м, инт-

родуцирована в СССР в начале 1930-х годов. Имеет грубое, жесткое, ломкое волокно, пригодное для веревочно-канатного производства. Выход волокна – 13–21% (Medvedev, 1940c).

Кендырь (*Arosynum cannabinum* L. и другие виды) относится к семейству Аросунпасеае. Многолетнее травянистое растение имеет прямостоячий стебель длиной до 1 м и более. Выход волокна – 9,0–12,2%. Техническое волокно отличается прочностью эластичностью, длиной. В Казахстане и Монголии из него изготавливали ткани, веревки, рыболовные сети, в Северной Америке – ткани, тетиву луков, веревку, рыболовную леску. В современных условиях может использоваться для производства котонина, бумаги (Kaminer, 1940a).

Новозеландский лен (*Phormium tenax* J.R. Forst. & G. Forst.) – травянистое многолетнее растение семейства Asphodelaceae, растущее в Новой Зеландии и на острове Норфолк. Имеет длинные (до 2–3 м в длину и 5–12 см в ширину) узколанцетные листья, расположенные веерообразно, которые содержат тонкие, но крепкие волокна. Выход волокна достигает 22% от веса зеленого листа (Kaminer, 1940b). Целые листья и извлеченные из них (содранные с живого листа) волокна используются для традиционного ткачества. Маори из новозеландского льна изготавливают одежду, сетки, сумки, корзины и циновки, сплетенные из полосок листьев или сотканые из волокна, содранного с листьев (Kaminer, 1940b; Wehi, Clarkson, 2007). В связи с развитием производства биокomпозитов волокно новозеландского льна является перспективным для использования в качестве армирующего компонента. Новозеландский лен сейчас активно используется в качестве декоративного растения в условиях мягкого климата (Furtado et al., 2023).

Заключение

В данной публикации рассмотрены волокнистые культурные растения, многие из которых возделываются на значительных площадях (хлопчатник, джут, лен-долгунец и др.), другие имеют только локальное применение (новозеландский лен, бамбук, юкка и др.), третьи почти забыты или остались только в фольклоре (крапива, кендырь и др.). Волокна одних культур являются источником дохода (хлопчатник, лен-долгунец, сизаль), других – побочной продукцией (кокос, лен масличный, сахарный тростник, бамбук, бамия). Есть культуры, которые большей частью имеют декоративное применение (агавы, новозеландский лен), многие участвуют в биоремедиации почв (лен-долгунец, конопля). Часто волокнистые культуры используют в производстве биокomпозитов (лен-долгунец, джут, конопля, рами). Все они являются возобновляемым источником сырья.

References / Литература

Ageeva M.V., Amenitsky S.I., Gorshkova T.A., Guryanov O.P. Biogenesis of plant fibers: a monograph (Biogenez rastitelnykh volokon: monografiya). T.A. Gorshkova (ed.). Moscow: Nauka; 2009. [in Russian] (Ageeva M.B., Аменицкий С.И., Горшкова Т.А.,

Гурьянов О.П. Биогенез растительных волокон: монография / под ред. Т.А. Горшковой. Москва: Наука; 2009).

Yadi R., Hanana M., Mzid R., Hamrouni L., Khouja M.L., Hanachi A.S. *Hibiscus Cannabinus* L. – Kenaf: a review paper. *Journal of Natural Fibers*. 2017;14(4):466-484. DOI: 10.1080/15440478.2016.1240639

Bacci L., Baronti S., Predieri S., di Virgilio N. Fiber yield and quality of fiber nettle (*Urtica dioica* L.) cultivated in Italy. *Industrial Crops and Products*. 2009;29(2-3):480-484. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.09.005

Baraniak J., Kania-Dobrowolska M. Multi-purpose utilization of kapok fiber and properties of *Ceiba pentandra* tree in various branches of industry. *Journal of Natural Fibers*. 2023;20(1):2192542. DOI: 10.1080/15440478.2023.2192542

Brutch N.B., Soret-Morvan O., Porokhovina E.A., Sharov I.Y., Morvan C. Characters of fibre quality in lines of flax genetic collection. *Journal of Natural Fibers*. 2008;5(2):95-126. DOI: 10.1080/15440470801928939

Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F., Byng J.W., Judd W.S., Soltis D.E. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016;181(1):1-20. DOI: 10.1111/boj.12385

Chattopadhyay S.K., De S., Venugopal B. Value added knits from ramie-cotton blended yarns spun using short staple (cotton) spinning system. In: *Proceedings Book of the International Conference on Flax and Other Bast Plants; 2008 July 20–23; Saskatoon, Saskatchewan, Canada*. Saskatoon; 2008. p.1-9.

Dochia M., Sirghie C., Kozłowski R.M., Roskwitalski Z. Cotton fibres. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Cambridge Woodhead Publishing; 2012. p.11-23. DOI: 10.1533/9780857095503.1.9

Dutt Y., Wang X.D., Zhu Y.G., Li Y.Y. Breeding for high yield and quality in colored cotton. *Plant Breeding*. 2004;123(2):145-151. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2003.00938.x

eFloras.org. Flora of North America. *Agave americana*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200028030 [accessed Dec. 01, 2024].

eFloras.org. Flora of North America. *Agave decipiens*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=242101303 [accessed Dec. 01, 2024].

eFloras.org. Flora of North America. *Agave sisalana*: [website]. Available from: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200028033 [accessed Dec. 01, 2024].

Elladi E.V. *Linum usitatissimum* L. Vav. consp. nov. – Flax (Len). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.109-208. [in Russian] (Эллади Е.В. *Linum usitatissimum* L. Vav. consp. nov. – Лен. В кн.: *Культурная Флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.109-208).

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics: [website]. Available from: <https://www.fao.org/statistics/en> [accessed Dec. 01, 2024].

Federal State Statistics Service (Rosstat): [website]. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики (Росстат): [сайт]). URL: <https://rosstat.gov.ru> [дата обращения: 01.12.2024].

Furtado F., Flores-Sahagun T.H.S., Franco T.S. Analysis of polymeric composites of *Phormium tenax*. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2023;13(2):124. DOI: 10.33263/BRIAC132.124

Geister A.I. (ed.). *Agricultural glossary and reference directory (Selskokhozyaystvenny slovar-spravochnik)*. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1934. [in Russian] (Сельскохозяйственный словарь-справочник / под ред. А.И. Гайстера. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1934). URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/agriculture/513/ВОЛОКНИСТЫЕ> [дата обращения: 01.12.2024].

Grimwood B.E. *Coconut palm products: their processing in developing countries*. Rome: FAO; 1975.

Grudzinskaya I.A. The bombax family (Bombacaceae) (Semeystvo bombakovykh [Bombacaceae]). In: A.L. Takhtajan (ed.). *Life of Plants (Zhizn rasteniy)*. Moscow: Prosveshcheniye; 1981. Vol. 5, pt. 2. p.128-132. [in Russian] (Грудзинская И.А. Семейство бомбаксовые [Bombacaceae]. В кн.: *Жизнь растений* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Москва: Просвещение; 1981. Т. 5, ч. 2. С.128-132).

Horne M.R.L. Bast fibres: hemp cultivation and production. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres. Vol. 1:*

- Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Cambridge Woodhead Publishing; 2012. p.114-145. DOI: [10.1533/9780857095503.1.114](https://doi.org/10.1533/9780857095503.1.114)
- Ikhmanitskaya N.N. The palm tree order (Arecales) (Poryadok palmy [Arecales]). In: A.L. Takhtajan (ed.). *Life of Plants (Zhizn rasteniy)*. Moscow: Prosveshcheniye; 1982. Vol. 6. p.410-447. [in Russian] (Ихманицкая Н.Н. Порядок пальмы (Arecalis). В кн.: *Жизнь растений* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Москва: Просвещение; 1982. Т. 6. С.410-447).
- Illarionova K., Grigorev S. Micromycetes-resistant colored cotton is promising material to reduce mycotoxins amounts in textiles. *E3S Web of Conferences*. 2020;164(6):06015. DOI: [10.1051/e3sconf/202016406015](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016406015)
- Kadam V., Chattopadhyay S.K., Bharimalla A., Venugopal B. Mechanical characterization of brown and green coconut husk. *Journal of Natural Fibers*. 2014;11(4):322-332. DOI: [10.1080/15440478.2013.879086](https://doi.org/10.1080/15440478.2013.879086)
- Kadolph S.J., Langford A.L. *Textiles*. 9th ed. Harlow: Pearson Education Ltd.; 2001.
- Kaminer L.V. *Apocinum* L. – Dogbane (Kendyr). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940a. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.278-289. [in Russian] (Каминер Л.В. *Апоцинум* L. – Кендырь. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940а. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.278-289).
- Kaminer L.V. *Phormium* Forst. – New Zealand flax (Novozelandskiy len). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940b. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.304-308. [in Russian] (Каминер Л.В. *Формиум* Forst. – Новозеландский лен. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940b. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.304-308).
- Kelly B., Abidi N., Ethridge D., Hequet E.F. Fiber to fabric. In: D.D. Fang, R.G. Percy (eds). *Agronomy Monographs*. 2nd ed. Madison, WI; 2015. Vol. 57: Cotton. p.665-744. DOI: [10.2134/agronmonogr57.2013.0031](https://doi.org/10.2134/agronmonogr57.2013.0031)
- Kolte P.P., Shivankar V.S. Some studies on *Abelmoschus esculentus* (Indian Okra) fiber characteristics. *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*. 2024;19(1):39. DOI: [10.1186/s40712-024-00188-2](https://doi.org/10.1186/s40712-024-00188-2)
- Kozłowski R., Baraniecki P., Barriga-Bedoya J. Bast fibres (flax, hemp, jute, ramie, kenaf, abaca). In: R.S. Blackburn (ed.). *Biodegradable and Sustainable Fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2005. p.36-88. DOI: [10.1533/9781845690991.36](https://doi.org/10.1533/9781845690991.36)
- Kozłowski R., Kicińska-Jakubowska A., Muzyczek M., Natural fibres for interior textiles. In: T. Rowe (ed.). *Interior Textiles: Design and Developments*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2009. p.3-38. DOI: [10.1533/9781845696870.1.3](https://doi.org/10.1533/9781845696870.1.3)
- Kozłowski R., Mackiewicz-Talarczyk M., Allam A.M. Bast fibres: flax. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres*. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Cambridge Woodhead Publishing; 2012a. p.56-113. DOI: [10.1533/9780857095503.1.56](https://doi.org/10.1533/9780857095503.1.56)
- Kozłowski R., Mackiewicz-Talarczyk M., Barriga-Bedoya J. Natural fibers production, processing, and application: inventory and future prospects. In: L. Korugic-Karasz (ed.). *ACS Symposium Series*. Vol. 1061. *Contemporary Science of Polymeric Materials*. Washington, DC: American Chemical Society; 2010. p.41-51. DOI: [10.1021/bk-2010-1061.ch003](https://doi.org/10.1021/bk-2010-1061.ch003)
- Kozłowski R., Mackiewicz-Talarczyk M. Introduction to natural textile fibres. In: R.M. Kozłowski, M. Mackiewicz-Talarczyk (eds). *Handbook of Natural Fibres*. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing; 2020. p.1-13. DOI: [10.1016/B978-0-12-818398-4.00001-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00001-3)
- Kozłowski R., Muzyczek M., Kregielczak A. Natural fibers. In: *Wiley Encyclopedia of Composites*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2012b. p.1953-1963. DOI: [10.1002/9781118097298.weoc161](https://doi.org/10.1002/9781118097298.weoc161)
- Kutuzova S.N. The genetics of flax (Genetika lna). In: *Genetics of Cultivated Plants (Flax, Potato, Carrot, Greens, Gladiolus, Apple, and Alfalfa) (Genetika kulturnykh rasteniy [len, kartofel, morkov, zelenyye kultury, gladiolus, yablonya, lyutserna])*. St. Petersburg: VIR; 1998. p.6-96. [in Russian] (Кутузова С.Н. Генетика льна. В кн.: *Генетика культурных растений (лен, картофель, морковь, зеленные культуры, гладиолус, яблоня, люцерна)*. Санкт-Петербург: ВИР; 1998. С.6-96).
- Kutuzova S.N., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V. Worldwide gene pool of fiber flax at VIR, and breeding of rust-resistant varieties. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):57-64. [in Russian] Кутузова С.Н., Пороховинова Е.А., Брэтч Н.Б., Павлов А.В. Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):57-64. DOI: [10.30901/2227-8834-2020-2-57-64](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-57-64)
- Kutuzova S.N., Porokhovinova E.A., Pendinen G.I. Origin and evolution of *Linum usitatissimum* L. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(2):436-455. [in Russian] (Кутузова С.Н., Пороховинова Е.А., Пендинен Г.И. Происхождение и эволюция *Linum usitatissimum* L. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2015;176(4):436-455). DOI: [10.30901/2227-8834-2015-4-436-455](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2015-4-436-455)
- Lavrenteva E.P., Sanina O.K., Belousov R.O. The deep processing of bast fibers as the way to the revival of the national traditions of Russia. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*. 2022;3(399):130-139. [in Russian] (Лаврентьева Е.П., Санина О.К., Белоусов Р.О. Глубокая переработка лубяных волокон – путь к возрождению национальных традиций России. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2022;3(399):130-139). DOI: [10.47367/0021-3497_2022_3_130](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_3_130)
- Lysova E.I. *Abutilon avicennae* Gaertn. – Abutilon (Kanatnik). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.258-270. [in Russian] (Лысова Е.И. *Абутилон авиценнае* Gaertn. – Канатник. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.258-270).
- Medvedev P.F. *Boehmeria* Jacq. – Ramie (Rami). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940a. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.66-83. [in Russian] (Медведев П.Ф. *Бохмерия* Jacq. – Рами. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940а. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С. 66-83).
- Medvedev P.F. *Hibiscus cannabinus* L. – Kenaf. In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940b. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.241-257. [in Russian] (Медведев П.Ф. *Гибискус каннабис* L. – Кенаф. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940b. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С. 241-257).
- Medvedev P.F. *Malva* L. – Mallow (Malva). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940c. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.272-277. [in Russian] (Медведев П.Ф. *Мальва* L. – Мальва. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940с. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.272-277).
- Medvedev P.F. *Urtica* L. – Nettle (Krapiva). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940d. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.55-66. [in Russian] (*Urtica* L. – Крапива. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940d. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.55-66).
- Mirakhmedov S.M. (ed.). *Encyclopedia of cotton production in 2 volumes*. Vol. 1 (Entsiklopediya khlopkovodstva v 2 tomakh. T. 1). Tashkent; 1985. [in Russian] (Энциклопедия хлопководства в 2- томах. Т. 1 / под ред. С.М. Мирахмедова. Ташкент; 1985).
- Muratova V.S. *Spartium junceum* L. – Spanish broom, or weaver's broom (Drok ispanskiy, ili pryadilny). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.85-87. [in Russian] (Муратова В.С. *Спартиум юнсеум* L. – Дрок испанский, или прядильный. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Прядильные. С.85-87).
- Nawaz S.M., Farooq A., Baig S.A. Studies on cottonized jute composite structures spun on ring, rotor and air jet spinning systems. In: *Proceedings Book of the International Conference on Flax and Other Bast Plants; 2008 July 20–23; Saskatoon, Saskatchewan, Canada*. Saskatoon; 2008. p.290-298.
- Netravali A.N. Ramie fiber reinforced natural plastics. In: F.T. Wallenberger, N.E. Weston (eds). *Natural Fibers, Plastics and Composites*. Boston, MA: Springer; 2004. p.321-343. DOI: [10.1007/978-1-4419-9050-1_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9050-1_18)
- Pavlov A.V., Porokhovinova E.A., Novikova L.Yu., Kutuzova S.N., Brutch N.B. New linseed accessions in the VIR collection, suitable for dual utilization (seed and fiber) in the North-Western Region of the Russian Federation. *Journal of Natural Fibers*. 2022;19(14):7553-7565. DOI: [10.1080/15440478.2021.1952137](https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1952137)
- Pereverzev G.A. *Crotalaria* L. – Rattlebox (Krotalyariya). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.87-96. [in Russian] (Переверзев Г.А.

- Crotalaria* L. – Кроталария. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Пряжильные. С.87-96).
- Pereverzev G.A., Kultiasov N.V. *Corchorus* (Tourn.) L. – Jute (Dzhut). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.212-224. [in Russian] (Переверзев Г.А., Культиасов Н.В. *Corchorus* (Tourn.) L. – Джут. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Пряжильные. С.212-224).
- Podolnaya L., Ivanova N., Abaldov A., Kushnareva T., Hodjaeva N. The variability of cotton accessions (*Gossypium hirsutum* L.) with different leaf forms under non-irrigated conditions. *Biological Communications*. 2016;(2):70-86. DOI: [10.21638/11701/spbu03.2016.205](https://doi.org/10.21638/11701/spbu03.2016.205)
- Porokhovinova E.A., Kutuzova S.N., Pavlov A.V., Slobodkina A.A., Yakusheva T.V., Brutch N.B. Collection of flax genetic resources of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(2):75-90. [in Russian] (Пороховинова Е.А., Кутузова С.Н., Павлов А.В., Слободкина А.А., Якушева Т.В., Брач Н.Б. Коллекция генетических ресурсов льна Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;7(2):75-90). DOI: [10.18699/LettersVJ2021-7-09](https://doi.org/10.18699/LettersVJ2021-7-09)
- Pylnev V.V. (ed.). Special breeding of field crops (Chastnaya selektsiya polevykh kultur). Moscow: KolosS; 2005. [in Russian] (Частная селекция полевых культур / под ред. В.В. Пыльнева. Москва: КолосС; 2005).
- Quinaya D.C.P., d'Almeida J.R.M. Effect of surface treatments on the cross-section area and on the tensile properties of sisal fibers. *Journal of Natural Fibers*. 2019;16(6):817-824. DOI: [10.1080/15440478.2018.1439427](https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1439427)
- Rogovina S.Z., Prut E.V., Berlin A.A. Composite materials based on synthetic polymers reinforced with natural fibers. *Polymer Science, Series A*. 2019;61(4):417-438. DOI: [10.1134/S0965545X19040084](https://doi.org/10.1134/S0965545X19040084)
- Roy S., Lutfar L.B., Bast fibres: jute. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Cambridge Woodhead Publishing; 2012a. p.24-46. DOI: [10.1533/9780857095503.1.24](https://doi.org/10.1533/9780857095503.1.24)
- Roy S., Lutfar L.B. Bast fibres: ramie. In: R.M. Kozłowski (ed.). *Handbook of Natural Fibres. Vol. 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. Cambridge Woodhead Publishing; 2012b. p.47-55. DOI: [10.1016/B978-1-84569-697-9.50004-7](https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-697-9.50004-7)
- Sangalang R.H. Kapok fiber – Structure, characteristics and applications: a review. *Oriental Journal of Chemistry*. 2021;37(3):513-523. DOI: [10.13005/ojc/370301](https://doi.org/10.13005/ojc/370301)
- Serkov V.A., Belousov R.O., Alexandrov R.M., Davydova O.K. Latest directions of common hemp selection for solving modern problems of domestic economy and import substitution. *Volga Region Farmland*. 2019;3(3):24-30. DOI: [10.26177/VRF.2019.3.3.005](https://doi.org/10.26177/VRF.2019.3.3.005)
- Serebryakova T.Ya., Sizov I.A. Fam. Cannabiaceae Lindl. – Hemp family (Konoplyanye). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.1-53. [in Russian] (Серебрякова Т.Я., Сизов И.А. Сем. Cannabiaceae Lindl. – конопляные. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Пряжильные. С.1-53).
- Sfiligoj Smole M., Hribnik S., Kleinschek K.S., Kreže T. Plant fibres for textile and technical applications. In: S. Grundas, A. Stepniewski (eds). *Advances in Agrophysical Research*. London: IntechOpen; 2013. p.369-398. DOI: [10.5772/52372](https://doi.org/10.5772/52372)
- Shao L., Jin S., Chen J., Yang G., Fan R., Zhang Z. et al. High-quality genomes of *Bombax ceiba* and *Ceiba pentandra* provide insights into the evolution of Malvaceae species and differences in their natural fiber development. *Plant Communications*. 2024;5(5):100832. DOI: [10.1016/j.xplc.2024.100832](https://doi.org/10.1016/j.xplc.2024.100832)
- Strygina K., Khlestkina E., Podolnaya L. Cotton genome evolution and features of its structural and functional organization. *Biological Communications*. 2020;65(1):15-27. DOI: [10.21638/spbu03.2020.102](https://doi.org/10.21638/spbu03.2020.102)
- Sun D.L., Sun J.L., Jia Y.H., Ma Z.Y., Du X.M. Genetic diversity of colored cotton analyzed by simple sequence repeat markers. *International Journal of Plant Science*. 2009;170(1):76-82. DOI: [10.1086/593037](https://doi.org/10.1086/593037)
- Tuz R.K., Asfandiurova M.Sh., Podolnaya L.P. 'Braun': the first Russian cotton cultivar with naturally colored fiber. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):154-162. [in Russian] (Туз Р.К., Асфандиярова М.Ш., Подольная Л.П. 'Браун' – первый российский сорт хлопчатника с природно-окрашенным волокном. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):154-162). DOI: [10.30901/2227-8834-2023-1-154-162](https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-1-154-162)
- Vasiliev I.V. The linden family (Tiliaceae) (Semeystvo lipovye [Tiliaceae]). In: A.L. Takhtajan (ed.). *Life of Plants (Zhizn rasteniy)*. Moscow: Prosveshcheniye; 1981. Vol. 5, pt. 2. p.117-120. [in Russian] (Васильев И.В. Семейство липовые (Tiliaceae). В кн.: *Жизнь растений* / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Москва: Просвещение; 1981. Т. 5, ч. 2. С.117-120).
- Wehi P.M., Clarkson B.D. Biological flora of New Zealand 10. *Phormium tenax*, harakeke, New Zealand flax. *New Zealand Journal of Botany*. 2007;45(4):521-544. DOI: [10.1080/00288250709509737](https://doi.org/10.1080/00288250709509737)
- Wulff E.V. Cultivated flora of the globe. Lists of taxa by floristic complexes (Kulturnaya flora Zemnogo shara. Spiski taksonov po floristicheskim kompleksam). M.G. Agaev (ed.). Leningrad: VASKhNIL; 1987. [in Russian] (Вульф Е.В. Культурная флора Земного шара. Списки таксонов по флористическим комплексам / под ред. М.Г. Агаева. Ленинград: ВАСХНИЛ; 1987).
- Wulff E.V. Linaceae (DC.) Dumort. – Flax family (Lnovye). In: E.V. Wulff (ed.). *Flora of Cultivated Plants*. Moscow; Leningrad; 1940. Vol. 5, pt. 1: Fiber Plants. p.97-108. [in Russian] (Вульф Е.В. Linaceae (DC.) Dumort. – Льновые. В кн.: *Культурная флора СССР* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1940. Т. 5, ч. 1: Пряжильные. С.97-108).
- Yatsu L.Y., Espelie K.E., Kolattukudy P.E. Ultrastructural and chemical evidence that the cell wall of green cotton fiber is suberized. *Plant Physiology*. 1983;73(2):521-524. DOI: [10.1104/pp.73.2.521](https://doi.org/10.1104/pp.73.2.521)
- Zhang X., Pan L.P., Du M., Chen Z., Hua W.C., Yuan C. et al. Physiological characteristics associated with fiber development in two naturally colored cotton cultivars. *Agronomy Journal*. 2019;111(3):1190-1197. DOI: [10.2134/agronj2018.03.0166](https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0166)

Информация об авторах

Андрей Валерьевич Павлов, кандидат сельскохозяйственных 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, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Анастасия Александровна Слободкина, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.slobodkina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2333-1980>

Лариса Петровна Подольная, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.podolnaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4962-1989>

Елизавета Александровна Пороховинова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.porokhovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Information about the authors

Andrey V. Pavlov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Anastasia A. Slobodkina, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.slobodkina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2333-1980>

Larisa P. Podolnaya, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.podolnaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4962-1989>

Elizaveta A. Porokhovinova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.porokhovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

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 03.12.2024; одобрена после рецензирования 12.12.2024; принята к публикации 22.12.2024.

The article was submitted on 03.12.2024; approved after reviewing on 12.12.2024; accepted for publication on 22.12.2024.