ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЕМЯН КОЛЛЕКЦИИ ЦИАМОПСИСА ЧЕТЫРЕХКРЫЛЬНИКОВОГО ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ В НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-48-58
УДК 633.37:631.531.011.3
Поступление/Received: 22.04.2019
Принято/Accepted: 29.11.2019

SEED QUALITY EVALUATION IN THE COLLECTION OF *CYAMOPSIS TETRAGONOLOBA* AFTER LONG-TERM STORAGE UNDER UNCONTROLLED CONDITIONS

Н. В. РАКОВСКАЯ, О. Н. ЗАБЕГАЕВА, Е. А. ДЗЮБЕНКО*

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44;
** ✉ elena.dzyubenko@gmail.com*

N. V. RAKOVSKAYA, O. N. ZABEGAYEVA, E. A. DZYUBENKO*

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia;
** ✉ elena.dzyubenko@gmail.com*

Актуальность. Циамопсис четырехкрыльниковый, или гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) – однолетнее бобовое растение кормового, овощного и технического назначения. Из эндосперма семян циамопсиса извлекают гуаровую камедь. Генетические ресурсы циамопсиса коллекции ВИР имеют стратегическое значение для интродукции этого вида в южные регионы России с целью импортозамещения. **Материалы и методы**. В настоящее время коллекция насчитывает 111 образцов. В лаборатории длительного хранения генофонда растений ВИР была проведена оценка энергии прорастания и всхожести семян, а также твердосемянности у 50 образцов, репродуцированных в 2018 году, и 263 старовозрастных репродукций 89 образцов циамопсиса разных лет. Всего было проанализировано 313 проб семян 18 разных лет пересева коллекции у 89 образцов. Для оценки влияния таких факторов, как возраст семян, температура и влажность в период вегетации, на энергию прорастания, всхожесть и твердосемянность семян был применен однофакторный дисперсионный анализ программы Statistica 10. **Результаты и обсуждение**. Коллекционные образцы циамопсиса после 40 лет хранения не потеряли полностью свою лабораторную и полевую всхожесть. Отмечена высокая положительная корреляция всхожести и энергии прорастания семян со среднемесячной температурой в год репродукции и слабая корреляция всхожести с количеством осадков в период вегетации. Выявлена слабая положительная корреляция между твердосемянностью и температурой и слабая отрицательная корреляция между твердосемянностью и количеством осадков за период вегетации; корреляция между твердосемянностью и годом репродукции оказалась слабая положительная. Тридцатилетние семена сохранили свою жизнеспособность на 50%, таким образом, семена циамопсиса могут быть отнесены к группе макробиотиков.

Ключевые слова: *Cyamopsis tetragonoloba* (Taub.) L., интродукция, всхожесть, энергия, твердосемянность, влияние метеорологических факторов, жизнеспособность, эндосперм.

Background. Guar or clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) is an annual leguminous plant cultivated for feed, food and industrial purposes. Its seed endosperm is used to extract guar gum, so the guar genetic resources stored in the VIR collection are of strategic importance for the import substitution policy in Russia in the context of their prospective introduction into cultivation in the country's southern areas. Most of the guar accessions had been preserved by VIR for 40 years or more, so the task was to assess their germination rates and restore their viability. In the process of screening, seed quality parameters of the accessions were examined and analyzed. **Materials and methods.** VIR's collection of *C. tetragonoloba*, initiated by N. I. Vavilov, now contains 111 accessions. Percentage seed viability, germination energy and seed hardness were evaluated in the Long-Term Storage Laboratory for 50 accessions reproduced in 2018 and for 263 older reproductions of 89 guar accessions. In total, 313 seed samples reproduced across 18 different years were analyzed. Statistica 10 software was used to perform a single-factor analysis of variance and find out how germination energy, seed viability and seed hardness correlated with the age of seeds, mean monthly temperature and mean rainfall during the growing season. **Results and discussion**. After more than 40 years of storage, the guar accessions did not entirely lost their viability under laboratory and field conditions. Very high positive correlations were found for their percentage viability and germination energy with the mean monthly temperature in the year of reproduction. A weak positive correlation was observed between seed hardness and the year of reproduction. Correlations between seed viability and rainfall during the growing season were weak, with a weak negative correlation between seed hardness and rainfall. The viability level of 30-year-old seeds was 50%, so guar may be regarded as belonging to the group of macrobiotic plants.

Key words: *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub., introduction, seed viability, germination energy, seed hardness, effect of weather factors, viability, endosperm.

Введение

Циамопсис четырехкрыльниковый (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) –однолетнее растение семейства Fabaceae Lindl. трибы Indigofereae. Синонимы: *Cyamopsis psoraloides* (Lam.) DC, *Dolichos fabaeformis* L'Herit., *Dolichos psoraloides* Lam., *Psoralea tetragonoloba* L. Индийское название растения – гуар. В Индии растение используется как кормовая и овощная культура (Muradov, 1973) и издавна выращивается фермерами на неполивных землях северо-запада страны в районе пустыни Тар. В этой зоне выпадает 90–200 мм осадков в год, и почти

все они – во время летнего муссона с июля по сентябрь. Особый интерес к циамопсису возник в послевоенное время в связи с открытием гуаровой камеди (Andersen, 1949). Гуаровая камедь используется в качестве загустителя в пищевой, косметической, текстильной, бумажной промышленности, а в последние десятилетия – и при нефтедобыче. В основе гуаровой камеди лежит запасной полисахарид галактоманнан, депонируемый в эндосперме семян циамопсиса (Reid et al., 1992; Buckeridge et al., 2000).

В настоящее время из Индии и Пакистана циамопсис интродуцирован в ряд стран мира. В России в последние годы также ведется работа по интродукции циамопсиса, созданы сорта, пригодные к выращиванию в южных регионах страны (Dzyubenko et al., 2017; Startsev et al., 2017). По состоянию на 2019 год в Государственном Реестре селекционных достижений зарегистрировано 9 сортов; селекционная работа с этой культурой продолжается в рамках импортозамещения. Таким образом, генетические ресурсы циамопсиса как исходного материала для селекции скороспелых сортов для условий России приобретают особое значение.

Начало коллекции циамопсиса восходит к тем временам, когда по инициативе Н. И. Вавилова для ВИР собирались новые полезные культуры со всего земного шара. Семена циамопсиса были доставлены в СССР Всесоюзным институтом растениеводства (ВИР) из индийского штата Пенджаб экспедициями 1927–1929 гг., из штата Махараштра – экспедицией 1931 г. Во время войны первоначальная коллекция циамопсиса ВИР была утрачена, но в послевоенные годы, в 1956–1966 гг., она активно восстанавливалась. Благодаря усилиям дипломатической миссии СССР в Индии, особенно Д. В. Тер-Аванесяна, для ВИР были планомерно собраны семена циамопсиса из разных штатов. Часть образцов, в частности из США и Австралии, поступило по линии ботанических садов. В 1963 году культура изучалась в Туркменистане, некоторые из образцов были переданы в коллекцию ВИР (Muradov, 1973). В советский период коллекцию циамопсиса ВИР изучали и размножали на Среднеазиатском филиале ВИР (САФ, г. Ташкент) (Pavlova, 1964). В коллекции хранятся репродукции САФ 1958–1988 годов. Только 23 образца репродукции 1970–1981 гг. были заложены на хранение в Кубанский генбанк при температуре +4°С в 1978 г. Остальные образцы хранились продолжительное время в бумажных пакетах при комнатной температуре в помещениях института. В постсоветский период культура циамопсиса не была востребована. В связи с распадом Советского Союза и потерей южных станций ВИР коллекция длительное время не пересевалась. В последние годы в связи с возрождением интереса к циамопсису к работе над культурой подключился ВИР. Коллекция пополнилась новыми сортами и образцами, репродуцированными на территории России. Восстановлена всхожесть 23 образцов, хранившихся в Кубанском генбанке ВИР. С 2017 года на Кубанской опытной станции – филиале ВИР (КОС ВИР) и в теплицах научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» ведется работа по восстановлению всхожести образцов, хранившихся более 40 лет в неконтролируемых (комнатных) условиях. В рамках данной работы в лаборатории длительного хранения генофонда растений ВИР проверялись лабораторная всхожесть и энергия всхожести семян. Старовозрастные семена представляют собой уникальный объект исследований по изучению жизнеспособности при долговременном хранении, в связи с чем была проведена оценка всхожести и других параметров семян циамопсиса репродукции разных лет.

Материалы и методы исследований.

Семена циамопсиса – приплюснутой сверху и снизу, квадратной в очертании формы, у некоторых сортов – овально-округлые; серовато-бежевой, кремовой либо буро-оливковой окраски. Поверхность семян тускло блестящая. По литературным данным (Muradov, 1973), масса тысячи семян у циамопсиса составляет 29–37 г. По нашим данным, масса 1000 семян у образцов коллекции ВИР колеблется от 21 до 45 г. В настоящее время коллекция насчитывает 111 образцов циамопсиса различного происхождения, главным образом из Индии, а также из Пакистана, Австралии, США. В основном это местные образцы, присутствуют также селекционные линии и сорта, есть образцы кормового, зернового и овощного направления использования. Семена длительное время хранились в бумажных пакетах при комнатной температуре без контроля влажности и температуры в помещениях института.

Для определения всхожести было взято 313 репродукций циамопсиса разных лет, исходя из критерия наличия достаточного количества семян данного образца в коллекции. В лаборатории длительного хранения генофонда растений ВИР была проведена оценка энергии прорастания и всхожести семян, а также твердосемянности 89 образцов циамопсиса коллекции ВИР по 18 отдельным годам пересева коллекции. Оценивались параметры семян 263 старовозрастных репродукций САФ ВИР (г. Ташкент, 1960–1988 гг.) у 89 образцов и семян 50 образцов репродукции КОС ВИР (Краснодарский край, 2018 г.). Изначальная всхожесть семян пересевов старых лет, заложенных на хранение в бумажные пакеты в комнатных условиях, неизвестна. Температура и влажность в помещении за все время хранения также не оценивались. Для отдельного образца коллекции анализировалось количество репродукций (пересевов) от одной до трех (количество репродукций на образец по годам приведено в таблице 3).

Срок для определения энергии прорастания, всхожести и твердосемянности семян циамопсиса устанавливался по методике, разработанной для бобовых культур (ГОСТ 12038–84). Семена раскладывали на влажную фильтровальную бумагу (в рулонах) по 100 семян на образец и ставили для проращивания в термостат. Проращивали семена в темноте при температуре 25°С. Энергия прорастания определялась на третий день, всхожесть и твердосемянность – на десятый день. Энергия прорастания и всхожесть семян вычислялись в процентах, проросшими считались семена, имеющие развитый главный зародышевый корешок размером более длины семени и сформировавшийся росток. Как и многим бобовым растениям, циамопсису присуще наличие так называемых твердых семян. Процентное соотношение твердых семян образца вычислялось в общем опыте одновременно с подсчетом всхожести семян репродукций разных лет в соответствии с ГОСТ. Твердосемянность определялась подсчетом ненабухших семян в процентах от общего числа семян.

Данные по температуре и осадкам в сезон репродукции семян циамопсиса на Среднеазиатском филиале (г. Ташкент) по интересующим годам были получены из

сводок метеостанции Ташкента, а для КОС ВИР – из сводок метеостанции г. Кропоткина Краснодарского края, размещенных на справочно-информационном портале «Погода и климат» (Weather and Climate, 2004–2019). Для оценки влияния погодных факторов и возраста на показатели качества репродукций семян коллекции использовали программу Statistica 10. В дисперсионном анализе были определены парные корреляции между признаками.

Поскольку ставилась задача восстановления коллекции, после подсчетов всхожести, энергии и твердосемянности проросшие семена старых репродукций коллекции высаживались в торфяные горшочки в теплице (фитотроне) НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» для дальнейшей вегетации и получения семян.

Результаты и обсуждение

Данные по качественным параметрам образцов семян циамопсиса репродукций (пересевов) разных лет представлены на рисунке 1 (гистограмма) и в таблице 3. Всхожесть семян, возраст которых более 40 лет (репродуцированных до 1979 г.), крайне низкая, близкая к нулю. Исключение составляют семена пересева 1964 и 1968 г. Энергия всхожести и всхожесть семян старых репродукций существенно варьируют по годам: например, всхожесть семян репродукций 1965, 1969, 1971 г. всех образцов нулевая, но в другие годы, за период 1960–1979 гг., в анализируемых пробах встречались жизнеспособные семена. Всхожесть и энергия роста прогнозируемо увеличивалась у более свежих репродукций. У репродукции 1979 г. (возраст семян на момент определения всхожести в 2019 г. – 40 лет) всхожесть составила 10%. У репродукций 1981 и 1983 г. всхожесть немного ниже. Наглядно видно, что восстановить образцы коллекции, возраст семян которых моложе 40 лет, гораздо легче. Наблюдается увеличение всхожести семян до 15% у репродукции 1984 г. (возраст семян 35 лет) и резкое возрастание всхожести выше 50% у репродукции семян 1988 г. (возраст семян 31 год). Таким образом, семена за 31 год хранения сохранили свою всхожесть практически на 50%. Энергия прорастания приобрела значимые значения у семян пересева 1979 г. и моложе, колеблясь между 4 и 10%, при возрасте семян от 35 лет и менее (см. рис. 1). У репродукции 1988 г. всхожесть семян составила 52%, а энергия – 24%, то есть более чем в два раза ниже всхожести. В результате обработки всего множества данных (по 313 значениям всех репродукций в опыте) в программе Statistica 10 корреляция между всхожестью и годом репродукции семян была очень высокой (r = +0,94), между энергией прорастания и годом репродукции семян – также очень высокой (r = +0,94). Таким образом, получен ожидаемый вывод, что чем позднее пересевались семена, тем выше значения всхожести и энергии всхожести.

В коллекции ВИР содержится 111 образцов циамопсиса. Из них 37 образцов – селекционные линии и сорта, остальные образцы – местные (из Индии, Австралии, Пакистана). В исследовании были проанализированы пара-

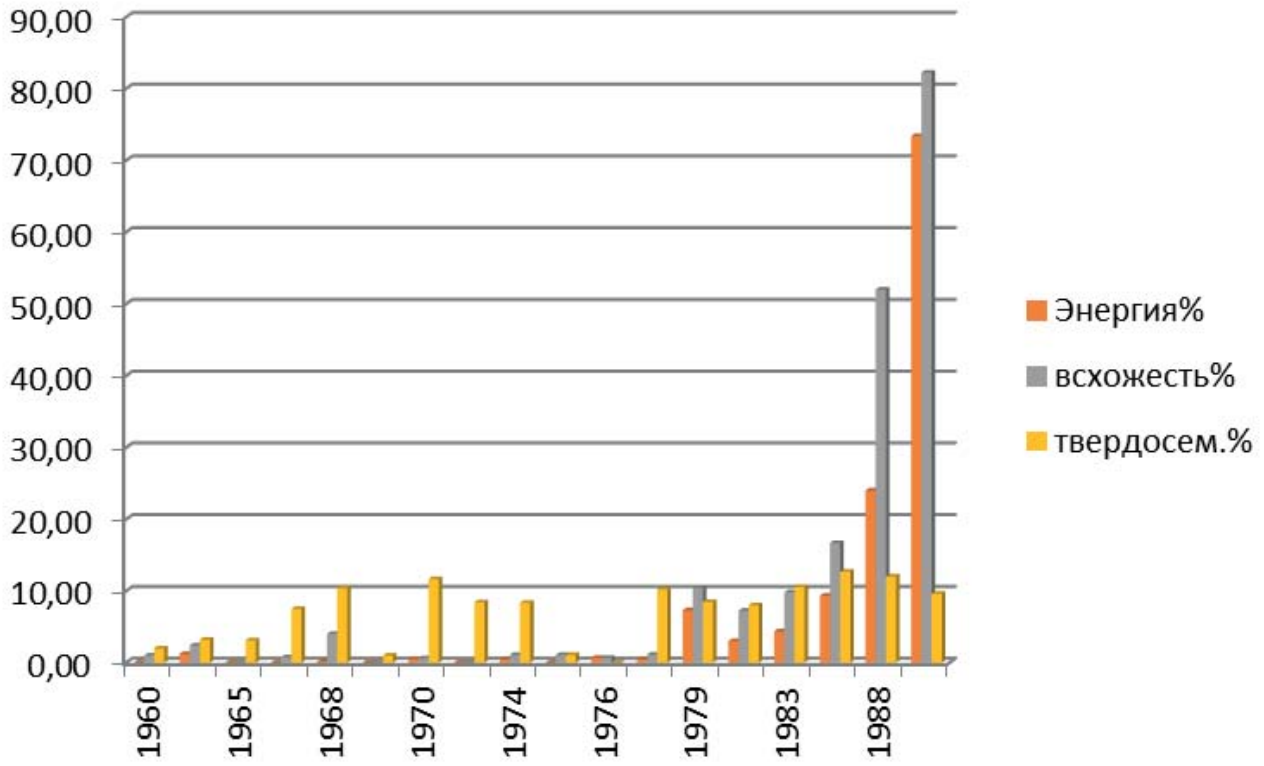

Рис. 1. Гистограмма наблюдений энергии, всхожести и твердосемянности в репродукциях циамопсиса (%) по годам (1960–1988 гг. – Среднеазиатский филиал ВИР; 2018 г. – Кубанская опытная станция ВИР)

Fig. 1. A bar chart of observations over seed germination energy (red), percentage viability (gray) and seed hardness (yellow) in guar reproductions (years 1960–1988 at the Middle Asian Branch of VIR; 2018 at the Kuban Experiment Station of VIR)

метры 25 селекционных линий и сортов и 64 местных образца. В таблице 1 сопоставлены средние значения энергии прорастания семян, всхожести и твердосемянности для местных образцов и средние значения для сортов (включая селекционные линии) у проанализированных семян пересевов старых лет, с 1964 по 1988 год суммарно. Преимущество селекционного материала в сохранении жизнеспособности семян по сравнению с местными образцами не выявлено, однако выборка репродукций сортов была гораздо меньше, чем местных образцов.

Таблица 1. Сводная таблица средних значений энергии прорастания семян, всхожести и твердосемянности у сортов и местных образцов циамопсиса репродукций за период 1964–1988 гг.

Table 1. Summary of mean values for seed germination energy, percentage viability and seed hardness in guar cultivars and local accessions reproduced in 1964–1988

Характеристика образцов	Количество образцов	Количество наблюдений	Энергия, %	Всхожесть, %	Твердо-семянность, %
Местные	64	199	2,12	4,08	7,85
Сорта	25	64	0,97	2,09	10,06

В таблице 2 приведена выборочная информация по образцам, семена которых при возрасте более 30 лет сохранили всхожесть свыше 10%. В их число попали 3 образца циамопсиса из Австралии, отличительной чертой которых является отсутствие опушения у растений, а также популярный в Индии сорт овощного направления 'Pusa Sadabahar'.

В таблице 3 даны средние значения энергии всхожести, всхожести семян и твердосемянности репродукции разных образцов циамопсиса по годам. Количество репродуцируемых образцов коллекции варьировало в разные полевые сезоны. Данные средние значения по 18 годам репродукций использовались далее для определения частных корреляций между признаками в дисперсионном анализе. В результате обработки данных по программе Statistica выявлена высокая (r = +0,89) корреляция между средней энергией прорастания семян и годом репродукции семян; корреляция между средней всхожестью и годом репродукции семян также высокая (r = +0,90).

Была проведена оценка влияния температурных и влажностных параметров в период вегетации в год репродукции на качество семян циамопсиса (места репродукции – Среднеазиатский филиал ВИР и Кубанская

Таблица 2. Средние значения энергии прорастания семян, всхожести и твердосемянности у образцов, выделившихся по жизнеспособности семян за период 1964–1988 гг.

Table 2. Mean values for seed germination energy, percentage viability and seed hardness in guar accessions that showed high viability in 1964–1988

№ по каталогу ВИР	Сорт	Происхож-дение	Репродук-ция	Год репродук-ции	Воз-раст, лет	Энергия, %	Всхо-жесть, %	Твердо-семянность, %
52863	местный	Индия	Ташкент	1983	36	10	30	8
52867	местный	Индия	Ташкент	1984	35	24	34	10
52915	местный	Австралия	Ташкент	1979	40	12	28	16
52916	местный	Индия	Ташкент	1979	40	16	24	32
52916	местный	Индия	Ташкент	1983	36	26	42	2
52917	местный	Австралия	Ташкент	1979	40	20	22	0
52918	местный	Индия	Ташкент	1983	36	14	24	4
52920	местный	Австралия	Ташкент	1983	36	28	36	0
52924	местный	Индия	Ташкент	1979	40	28	30	6
52927	местный	Индия	Ташкент	1979	40	24	28	20
52929	местный	Индия	Ташкент	1981	38	18	40	2
52860	Pusa Sadabahar	Индия	Ташкент	1983	36	4	18	28
52890	J.C40 Sotia	Индия	Ташкент	1988	31	24	52	12
52940	J.C43	Индия	Ташкент	1983	36	2	10	12
52945	Tharparkon	Пакистан	Ташкент	1964	55	6	12	0

опытная станция ВИР). Для этого вычислялись средние данные по температуре и осадкам за 7 месяцев летней вегетации (рис. 2; табл. 4). Климатические условия в месте репродукции циамопсиса в 2018 г. существенно отличаются от условий Среднеазиатского филиала ВИР. Среднемесячная температура в период вегетации 2018 г. в Краснодарском крае была на 5°С выше среднемесячных температур Ташкента за все годы наблюдений, а сумма осадков за 7-месячный период вегетации в 2018 г. превысила сумму осадков за аналогичный период самого влажного года на САФ на 122 мм. В итоге была выявлена слабая (r =+0,45) корреляция всхожести с количеством осадков, высокая (r =+ 0,78) корреляция всхожести и температуры (рис. 3) и высокая корреляция между энергией всхожести семян и температурой в год репродукции (r = +0,86).

Таблица 3. Средние значения и среднеквадратичное отклонение (СКО) по результатам количественной обработки выборки по годам (энергия, всхожесть, твердосемянность)

Table 3. Mean values and standard deviations (SD) for guar accessions measured year by year (germination energy, viability and seed hardness)

Год	Количество наблюдений (образцов)	Энергия, %	Энергия, СКО*	Всхожесть, %	Всхожесть, СКО*	Твердо-семянность, %	Твердо-семянность, СКО*
1960	2	0,00	0,00	1,00	1,41	2,00	2,83
1964	6	1,20	2,68	2,40	5,37	3,20	5,21
1965	11	0,00	0,00	0,00	0,00	3,09	5,01
1966	8	0,00	0,00	0,75	1,49	7,50	11,60
1968	34	0,11	0,69	4,00	0,95	10,40	10,82
1969	5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
1970	39	0,51	1,64	0,61	1,79	11,64	15,56
1971	5	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	11,52
1974	46	0,43	1,18	1,08	1,92	8,34	11,37
1975	13	0,00	0,00	1,08	3,33	1,07	2,40
1976	5	0,67	1,15	0,67	1,15	0,00	0,00
1978	9	0,44	1,33	1,11	1,76	10,22	7,97
1979	22	7,31	9,22	10,45	10,84	8,45	12,44
1981	9	3,00	6,23	7,25	11,60	8,00	14,93
1983	44	4,36	6,67	9,82	9,93	10,54	17,00
1984	4	9,33	12,86	16,67	15,01	12,67	14,19
1988	1	24,00	–	52,00	–	12,00	–
2018	50	73,40	13,49	82,24	9,49	9,60	7,78

* СКО – среднее квадратичное отклонение (standard deviation)

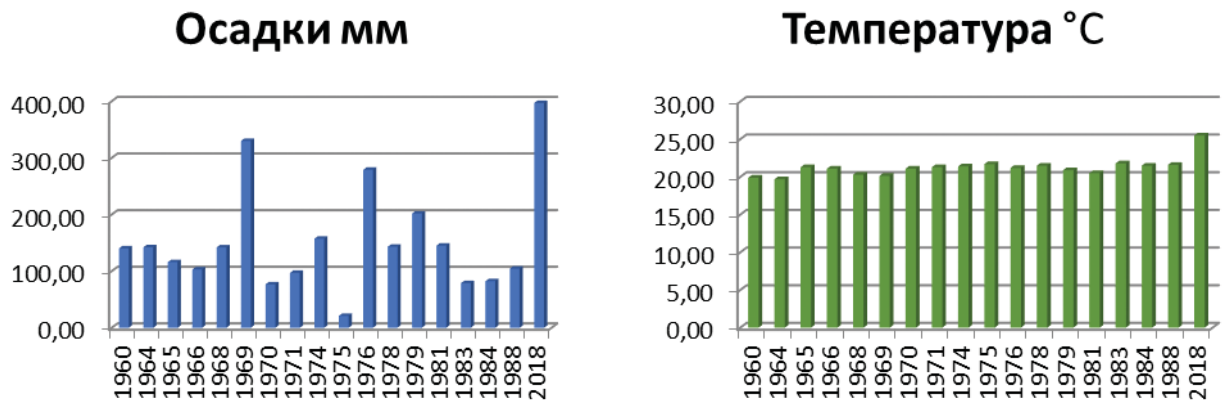

Рис. 2. Диаграммы сумм осадков за 7 месяцев вегетации и среднемесячных температур в годы репродукции (по данным метеостанций г. Ташкента за 1960–1988 гг. и г. Кропоткин Краснодарского края за 2018 г.)

Fig. 2. Histograms of the total rainfall for 7 months of growth, and mean temperatures in the years of reproduction (reported by weather stations in Tashkent for 1960–1988, and Kropotkin, Krasnodar Territory, for 2018)

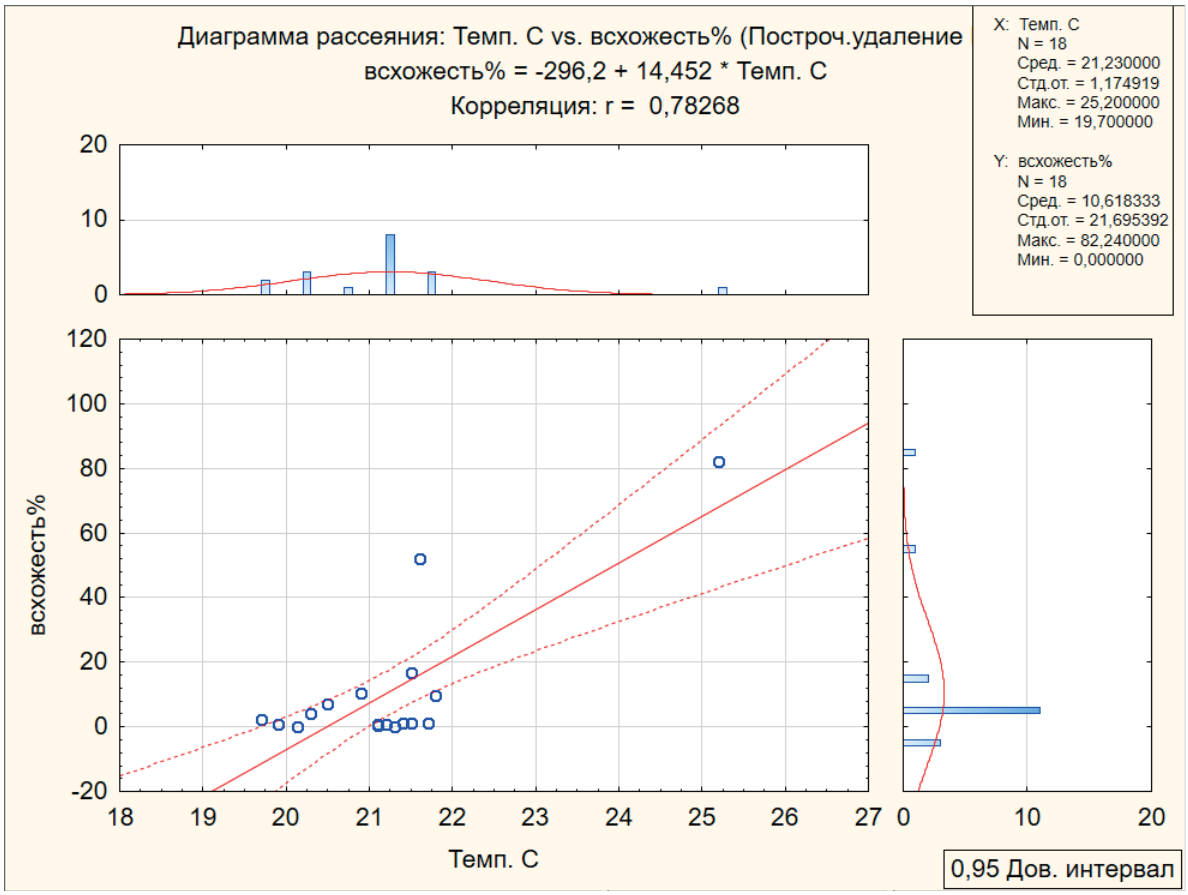

Рис. 3. **Зависимость всхожести семян циамопсиса от среднемесячной температуры в период вегетации**
Fig. 3. **Dependence of guar seed viability from mean monthly temperatures during the growing season**

Для циамопсиса, как и для многих бобовых культур, не претерпевших длительную доместикацию, характерно наличие некоторого количества твердых семян в урожае. В репродукциях давних лет процент образования твердых семян на Среднеазиатском филиале ВИР, судя по полученным данным, по годам варьировал от практически нулевого значения до уровня, близкого к 10%. В 1969 и 1976 г., отличавшихся большим количеством осадков, процент образования твердых семян на Среднеазиатском филиале был наименьшим. Среднее значение твердосемянности в коллекции по всем проанализированным семенам пересевов разных лет в текущий момент составило 7,12%.

Был проведен однофакторный анализ зависимости твердосемянности от года пересева. По данным статистической обработки выявлена слабая положительная корреляция (r = +0,43) между возрастом семян и твердосемянностью, то есть чем свежее репродукция, тем твердосемянность выше (рис. 4). Наибольшая частота встречаемости по фактору твердосемянности пришлась на период с 1968 по 1986 г. На основании имеющихся данных нельзя сделать вывод, менялся ли процент твердых семян в образце с возрастом в динамике относительно первоначального процентного содержания твердых семян. У более свежих репродукций 1983, 1984 и 1988 г., полученных на Среднеазиатском филиале, твердосемянность была близка к уровням более ранних 1968 и 1970 г. (разница в возрасте семян – 14–20 лет), колеблясь в районе 10%. На Кубанской опытной станции в 2018 г. твердосемянность не превышала 10%.

Проявилась слабая отрицательная корреляция (r = –0,24) между твердосемянностью и количеством осадков за период вегетации, то есть чем больше было осадков, тем меньше твердосемянность у семян репродукции (рис. 5, а). Наибольшая частота встречаемости по фактору твердосемянности в репродукциях варьирует в диапазоне от 8 до 12%. При анализе зависимости твердосемянности от температуры выявлена слабая положительная корреляция (r =+ 0,32) (рис. 5, б). Многочисленные исследования подтверждают зависимость образования твердых семян от температуры; при повышенной температуре культуры склонны образовывать твердые семена. В сухую погоду твердые семена образуются в большем количестве; напротив, в дождливую погоду их образуется меньше (Filimonov, 1961).

Семена репродукции Среднеазиатского филиала ВИР считаются в ВИР самыми качественными в плане длительного сохранения всхожести (Khoroshailov, Zhukova, 1973), но при этом в репродукциях САФ отмечается самое большое количество твердых семян у многих культур (Silaeva, 2012).

Образование твердых семян у образцов циамопсиса коллекции ВИР при репродукции на Среднеазиатском филиале было ниже, чем при выращивании культуры в Пакистане. При сравнительной оценке четырех селекционных линий циамопсиса в Пакистане среди прочих параметров оценивалась твердосемянность, которая составила от 11,67 до 24,33% (Eldirany et al., 2015). При интродукции циамопсиса в Средиземноморье

Таблица 4. **Среднеарифметические данные по энергии, всхожести, твердосемянности и средние месячные температуры и сумма осадков за период вегетации с апреля по октябрь (в год репродукции)**

Table 4. **Average data for seed germination energy, percentage viability and seed hardness, mean monthly temperatures, and total rainfall during the growing season from April to October (in the year of reproduction)**

Место и год репродукции	Энергия семян, %, средняя	Всхожесть семян ,%, средняя	Твердо-семянность, %, средняя	Количество осадков за период вегетации (суммарно за 7 месяцев, мм.)	Температура среднемесячная в период вегетации (за 7 месяцев, °С)
Ташкент 1960	0,00	1,00	2,00	140,30	19,90
Ташкент 1964	1,20	2,40	3,20	142,20	19,70
Ташкент 1965	0,00	0,00	3,09	116,00	21,30
Ташкент 1966	0,00	0,75	7,50	103,00	21,10
Ташкент 1968	0,11	4,00	10,40	142,00	20,30
Ташкент 1969	0,00	0,00	1,00	330,00	20,14
Ташкент 1970	0,51	0,61	11,64	76,70	21,10
Ташкент 1971	0,00	0,00	8,40	97,00	21,30
Ташкент 1974	0,43	1,08	8,34	157,30	21,40
Ташкент 1975	0,00	1,08	1,07	21,00	21,70
Ташкент 1976	0,67	0,67	0,00	279,00	21,20
Ташкент 1978	0,44	1,11	10,22	143,00	21,50
Ташкент 1979	7,31	10,45	8,45	201,70	20,90
Ташкент 1981	3,00	7,25	8,00	145,00	20,50
Ташкент 1983	4,36	9,82	10,54	79,00	21,80
Ташкент 1984	9,33	16,67	12,67	82,30	21,50
Ташкент 1988	24,00	52,00	12,00	104,50	21,60
Кубань 2018	73,40	82,24	9,60	397,00	25,50
Среднее	**6,93**	**10,62**	**7,12**	**137,6**	**21,2**

(Gresta et al., 2018) авторы характеризовали твердосемянность как невысокую в сравнении с другими изученными ими бобовыми растениями и не представляющую проблем для культивирования этого растения. В современных работах по твердосемянности для ряда культур уже определены гены, ее обуславливающие: например, у сои это один рецессивный ген (Kebede et al., 2014). Тем не менее климатический фактор является спусковым крючком, запускающим и моделирующим морфолого-анатомическое проявление твердосемянности. Твердые семена для циамопсиса представляют собой скорее негативное явление, так как из-за утолщенной семенной кожуры затрудняется мелкодисперсный помол зерна для экстракции гуаровой камеди.

Твердые семена вследствие своей водонепроницаемой оболочки, замедляющей также и газообмен в семенах, дольше сохраняют жизнеспособность. Используя методы преодоления твердосемянности (накалывание, скарификация концентрированной серной кислотой), удалось восстановить всхожесть образцов коллекции циамопсиса репродукций 1960, 1964, 1968 и 1970 г. Тем не менее далеко не все твердые семена циамопсиса, набухнув после скарификации, проросли. Таким образом, подтверждается мнение, что и твердые семена со временем теряют жизнеспособность (Silaeva, 2012).

Ранее на Кубанской опытной станции ВИР был проведен анализ всхожести семян 23 коллекционных образцов циамопсиса из Кубанского генбанка ВИР. Семена, хранившиеся 40 лет при +4,5°С в Кубанском хранилище, имели высокие посевные качества (лабораторная всхожесть от 92 до 94%) (Bulyntsev et al., 2017). Полевая всхожесть семян, хранившихся при комнатной температуре в ВИР, при посеве на Кубанской опытной станции ВИР (Краснодарский край) в 2017 г. оказалась высокой (взошло 48 образцов из 50 датированных 1977–1980 гг.) (Bulyntsev et al., 2017). При посеве в поле в 2018 г. ряд образцов, семена которых датируются 1963–1974 годами, не взошли. Работа по восстановлению и размножению коллекции продолжается. В генбанке США (подразделение для южных культур в штате Джорджия) коллекция была успешно восстановлена (пересеяна) после десятилетий хранения (Morris, 2010).

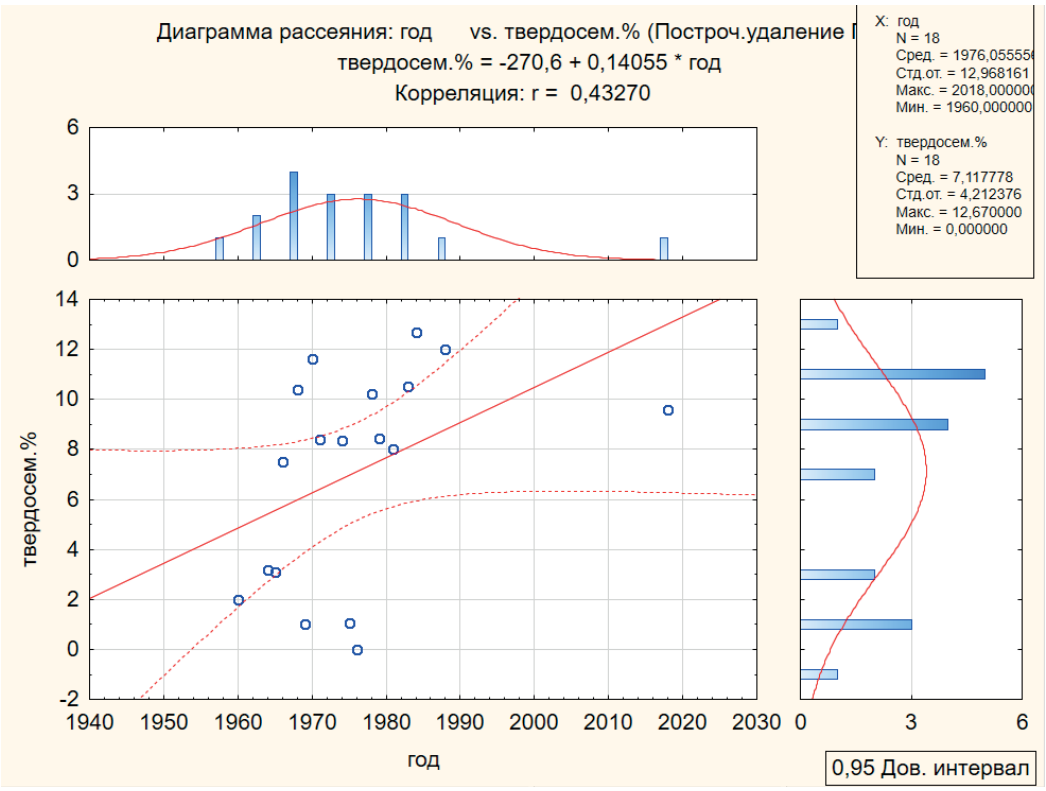

Рис. 4. Корреляция между годом репродукции и уровнем твердосемянности образцов циамопсиса

Fig. 4. Correlation between the year of reproduction and seed hardness in guar accessions

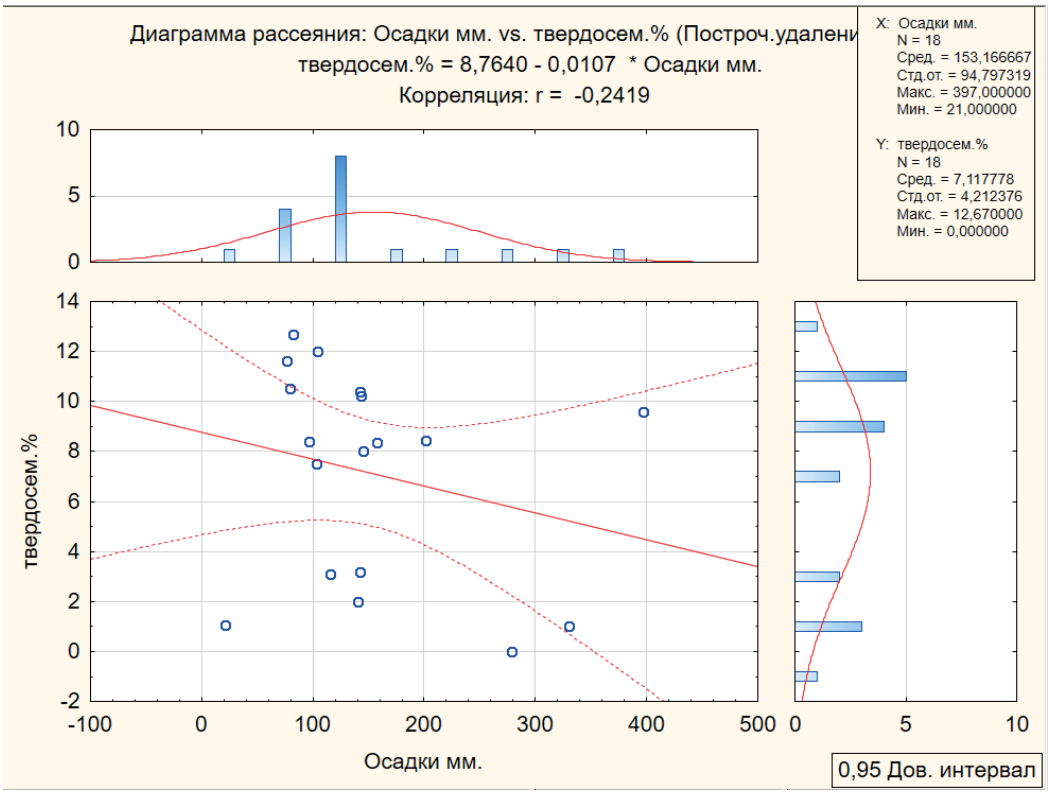

Рис. 5 а. Корреляция количества осадков за период вегетации с твердосемянностью

Fig. 5 a. Correlation of rainfall levels during the growing season

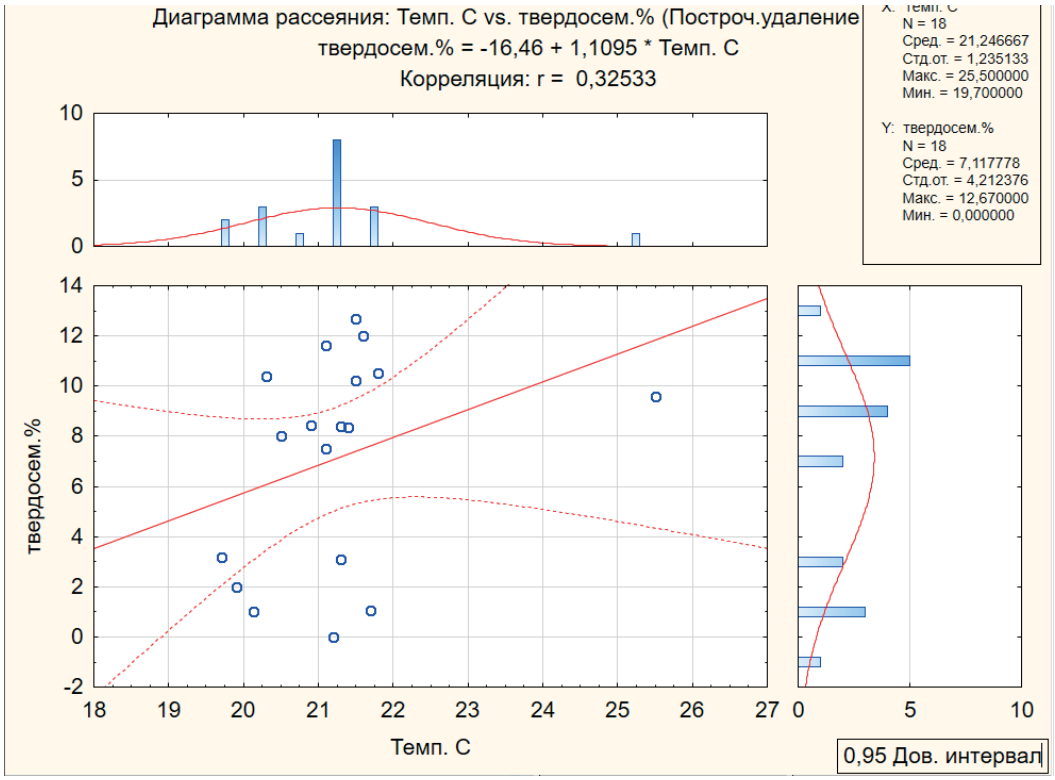

Рис. 5 б. **Корреляция среднемесячной температуры с твердосемянностью**

Fig. 5 b. **Correlation of mean monthly temperatures with seed hardness during the growing season**

Способность семян длительное время поддерживать всхожесть при хранении в лабораторных условиях изучали на примере 18 культур в генбанке Гатерслебена; оценивалась лабораторная всхожесть (Nagel, Börner, 2010). Семена фасоли и вики посевной сохраняли жизнеспособность немногим более 20 лет, семена гороха – 25 лет. В более ранних опытах (Haferkamp, 1953) оценили долговечность семян таких бобовых, как люцерна, донник, горох, вика и эспарцет. Лабораторную всхожесть семян проверяли через 33 года хранения, жизнеспособность сохранили семена люцерны и гороха. Долговечность семян является характеристикой вида (Nagel, Börner, 2010).

По известной классификации А. Эварта (Ewart, 1908), семена по своей способности сохранять жизнеспособность делятся на микро-, мезо- и макробиотики. Микробиотики теряют всхожесть за 3 года, мезобиотики поддерживают жизнеспособность 3–15 лет; а макробиотики – от 15 лет и более, вплоть до 100 лет. В соответствии с данной градацией, циамопсис также может быть включен в группу макробиотиков. Циамопсис четырехкрыльниковый принадлежит к трибе Indigofereae семейства бобовых, и строение его семени разительно отличается от семени таких культурных зернобобовых растений, как фасоль и горох, наличием крупного эндосперма. Эндосперм циамопсиса содержит запасные полисахариды и выполняет питающую и сохраняющую зародыш функцию. Из 75 родов семейства бобовых эндосперм в семенах обнаружен у 41 рода (Martin, 1946). Развитость и объем эндосперма у представителей бобовых варьируют широко: у *Cyamopsis tetragonoloba* эндосперм занимает 42% от веса всего семени, у *Trigonella foenum-graecum* L. –14%, у *Medicago sativa* L. – 6% (Hegnauer, 1957). Семена данных видов сохраняют жизнеспособность длительное время. Так, семена люцерны посевной, хранившиеся 78 лет в лабораторных условиях, сохранили 22% всхожести (Harrington, 1972). Для практических целей при сохранении коллекций в генбанке пороговым значением является 50-процентная всхожесть семян. Исходя из полученных данных, 50-процентная всхожесть семян циамопсиса наблюдалась у репродукций Среднеазиатского филиала ВИР (г. Ташкент) после 30 лет хранения в помещениях ВИР в Санкт-Петербурге.

Заключение

Старовозрастные семена репродукций разных лет представляют собой уникальный объект для исследования сохранения и снижения их жизнеспособности. Семена образцов моложе 30 лет сохранили всхожесть на уровне 50%; всхожесть семян, возраст которых был от 30 до 40 лет, составила около 10%; всхожесть семян старше 40 лет оказалась минимальной. Семена циамопсиса можно отнести к макробиотикам. Всхожесть и энергия роста семян имеют высокую корреляцию со среднемесячной температурой в период вегетации. Твердосемянность семян циамопсиса слабо связана с их возрастом. Проращивание с одновременным применением механических (накалывание) и химических (обработка концентрированной серной кислотой) методов скарификации твердых старовозрастных семян позволяет восстановить всхожесть образцов коллекции.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0005 «Раскрытие потенциала и разработка стратегии рационального использования генетического разнообразия ресурсов кормовых культурных растений и их диких родичей, сохраняемого в семенных и гербарных коллекциях ВИР».

References/Литература

Anderson E. Endosperm mucilages of legumes: occurrence and composition. *Ind. Eng. Chem*., 1949;41(12):2887-2890. DOI: 10.1021/ie50480a056

Buckeridge M.S., dos Santos H.P., Tiné M.A.S. Mobilisation of storage cell wall polysaccharides in seeds. *Plant Physiol. Biochem.* 2000;38(1-2):141-156. DOI: 10.1016/S0981-9428(00)00162-5

Bulyntsev S.V., Valyannikova T.I., Silaeva O.I., Kopot E.I., Pimonov K. Guar: a new legume crop for Russia (Guar – novaya bobovaya kultura dlya Rossii). In: *Innovations in Crop Cultivation Technologies. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference* (*Innovatsii v tekhnologiyakh vozdelyvaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*). Persianovka: Don State Agrarian University; 2017. p.167-172. [in Russian] (Булынцев С.В., Вальянникова Т.И., Силаева О.И., Копоть Е.И., Пимонов К.И. Гуар – новая бобовая культура для России. В кн: *Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Персиановка: Донской ГАУ; 2017. С.167-172).

Dzyubenko N.I. Dzyubenko E.A, Potokina E.K., Bulyntsev S.V. Clusterbeans *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. – Properties, use, plant genetic resources and expected introduction in Russia (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(6):1116-1128. [in Russian] (Дзюбенко Н.И., Дзюбенко Е.А., Потокина Е.А., Булынцев С.В. Гуар *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.: характеристика, применение, генетические ресурсы и возможность интродукции в России (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(6):1116-1128). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.6.111rus

Eldirany A.A., Nour A.A.M., Khadir K.I., Gadeen K.A., Mohamed A.M., Ibrahim M.A.E.M. Physicochemical properties of four new genotypes of guar seeds (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) *American Journal of Food Science and Health*. 2015;1(3):76-81.

Ewart A.J. On the longevity of seeds. *Proc. Roy. Soc. Victoria.* 1908;21(1):1-210.

Filimonov M.A. Seeds of forage plants and their biological properties (Semena kormovykh rasteniy i ikh biologicheskiye svoystva). Moscow: Selkhozizdat; 1961. [in Russian] (Филимонов М.А. Семена кормовых растений и их биологические свойства. Москва: Сельхозиздат; 1961.

Gresta F., Cristaudo A., Trostle C., Anastasi U., Guarnaccia P., Catara S., Onofri A. Germination of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes with reduced temperature requirements. *Aust. J. Crop Sci.* 2018;12(6):954-960. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.06.PNE1049

Haferkamp M.E., Smith L., Nilan R.A. Studies of aged seeds. I. Relation of age of seed to germination and longevity. *Agronomy Journal*. 1953;45(9):434-437.

Harrington J.F. Seed storage and longevity; In: T.T. Kozlowski (ed.). *Seed Biology. Vol. III. Insects and seed collection, storage, testing, and certification*. New York: Academic Press; 1972. p.145-245.

Hegnauer R. Uber das Endosperm der Leguminosen. *Pharm. Zentralhalle.* 1957;9(4):141-143. [in German]

Kebede H., Smith J.R., Ray J.D. Identification of a single gene for seed coat impermeability in soybean PI 594619. *Theor. Appl. Genet.* 2014;127(9):1991-2003. DOI: 10.1007/s00122-014-2355-2

Khoroshailov N.G., Zhukova N.V. Long-term keeping of seed samples from the collection. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1973;49(3):269-279. [in Russian] (Хорошайлов Н.Г., Жукова Н.В. Длительное хранение коллекционных образцов семян. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 1973;49(3):269-279).

Martin A.C. The comparative internal morphology of seeds. *The American Midland Naturalist.* 1946;36(3):513-660. DOI: 10.2307/2421457

Morris J.B. Morphological and reproductive characterization of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) genetic resources regenerated in Georgia, USA. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2010;57(7):985-993. DOI: 10.1007/s10722-010-9538-8

Muradov K.M. Experience in introducing *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. to the south of Turkmenistan (Opyt introduktsii *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. na yuge Turkmenistana). *Rastitelnye resursy = Plant Resources.* 1973;9(4):516-523. [in Russian] (Мурадов К.М. Опыт интродукции *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. на юге Туркменистана. *Растительные ресурсы*. 1973;9(4):516-523).

Nagel M., Börner A. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. *Seed Sci. Res*. 2010;20(1):1-12. DOI: 10.1017/S0960258509990213

Pavlova A. Guar: valuable legume crop (Guar – tsennaya bobovaya kultura) *Zernobobovye kultury = Grain Legumes*. 1964;10:24-26. [in Russian] (Павлова А. Гуар – ценная бобовая культура. *Зернобобовые культуры*. 1964;10:24-26).

Reid J.S.G., Edwards M.E., Gidley M.J., Clark A.H. Mechanism and regulation of galactomannan biosynthesis in developing leguminous seeds. *Biochem Soc Trans.* 1992;20(1):23-26. DOI: 10.1042/bst0200023

Silaeva O.I. Storage of seeds collections of the world's plant resources in conditions low positive temperatures – assessment, status, prospects. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;169:230-239. [in Russian] (Силаева О.И. Хранение коллекции семян мировых растительных ресурсов в условиях низких положительных температур – оценка, состояние, перспективы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 2012;169:230-239).

Startsev V.I., Livanskaya G.A., Kulikov M.A. Prospects of cultivating guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Russia. *Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University*. 2017;24:11-15. [in Russian] (Старцев В.И., Ливанская Г.А., Куликов М.А. Перспективы возделывания гуара (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) в России. *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета.* 2017;24:11-15).

Weather and Climate. Reference and Information Portal. (Pogoda i klimat. Spravochno-informatsionnyi portal). 2004-2019. [in Russian] (Погода и климат. Справочно-информационный портал. 2004-2019). URL: http://www.pogodaiklimat.ru [дата обращения: 12.08.2019].

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities
Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования/How to cite this article
Раковская Н.В., Забегаева О.Н., Дзюбенко Е.А. Оценка качества семян коллекции циамопсиса четырехкрыльникового при длительном хранении в неконтролируемых условиях. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019;180(4):48-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-48-58

Rakovskaya N.V., Zabegayeva O.N., Dzyubenko E.A. Seed quality evaluation in the collection of *Cyamopsis Tetragonoloba* after long-term storage under uncontrolled conditions. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2019;180(4):48-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-48-58

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация/Additional information
Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-48-58

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest