

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 635.652.2:631.524
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-105-115



Стабильность продуктивности и периода вегетации фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) в контрастных эколого-географических условиях

Л. Ю. Новикова, А. А. Берзегова, М. В. Гуркина, Т. В. Буравцева

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

Автор, ответственный за переписку: Тамара Васильевна Буравцева, t.buravtseva@vir.nw.ru

Актуальность. Изучение степени влияния окружающей среды на селекционно значимые признаки актуально в условиях изменения климата. Выявление стабильных образцов при оценке исходного материала в контрастных эколого-географических условиях способно повысить эффективность селекционной работы.

Материалы и методы. В контрастных условиях Майкопа и Астрахани в течение трех лет высевались 30 образцов фасоли из коллекции ВИР. Изучение восьми хозяйственно ценных признаков осуществляли согласно методике ВИР. Статистический анализ проводили методами ANOVA, корреляционного и регрессионного анализа. Экологическую стабильность продуктивности оценивали по S. A. Eberhart и W. A. Russell (1966).

Результаты и обсуждение. Изучение вариабельности признаков показало относительную стабильность продолжительности межфазного периода «посев – созревание» (средний коэффициент вариации – 10,9%) и массы 1000 семян (17,3%). Влияние генотипа было определяющим фактором изменчивости массы 1000 семян (67,6% дисперсии). Продолжительность периода вегетации, число бобов на растение, число семян в бобе и продуктивность больше зависели от условий среды. В обоих пунктах исследования продуктивность образца зависит от числа бобов ($r = 0,80; 0,91$), масса 1000 семян отрицательно связана с числом семян в бобе ($r = -0,38; -0,47$). Период вегетации в Майкопе зависит от периода «цветение – созревание» ($r = 0,73$); в Астрахани – от «всходы – цветение» ($r = 0,85$). Установлено, что продолжительность межфазных периодов «посев – всходы» и «всходы – цветение» достоверно коррелирует со средней температурой ($r = -0,87; 0,87$ соответственно); продолжительность периода «цветение – созревание» от средней температуры не зависит.

Заключение. Выделены относительно стабильные образцы по признакам продуктивности и продолжительности периода вегетации, которые имеют как детерминантный, так и индетерминантный характер роста, что свидетельствует о перспективности селекционной работы с разными группами фасоли.

Ключевые слова: фасоль, коллекция ВИР, изучение, климатические условия, селекционные признаки, ANOVA, корреляция, регрессия

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № FGEM-2022-0002 «Выявление возможностей генофонда бобовых культур для оптимизации их селекции и диверсификации использования в различных отраслях народного хозяйства».

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

Для цитирования: Новикова Л.Ю., Берзегова А.А., Гуркина М.В., Буравцева Т.В. Стабильность продуктивности и периода вегетации фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) в контрастных эколого-географических условиях. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(3):105-115. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-105-115

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-105-115

Productivity and growing-season stability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under contrasting ecogeographic conditions

Liubov Yu. Novikova, Aneta A. Berzegova, Maria V. Gurkina, Tamara V. Buravtseva

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

Corresponding author: Tamara V. Buravtseva, t.buravtseva@vir.nw.ru

Background. Studying the effect size of the environment versus breeding-oriented plant traits is relevant under climate change. Identification of stable accessions while evaluating the source material in contrasting environments can increase the efficiency of breeding practice.

Materials and methods. Thirty common bean accessions from the VIR collection were sown for 3 years in the contrasting environments of Maikop and Astrakhan. Eight useful agronomic traits were studied according to VIR's guidelines. Statistical processing was carried out using ANOVA, correlation and regression analyses. Environmental stability of productivity was assessed according to S. A. Eberhart and W. A. Russell (1966).

Results and discussion. The study of the variability of traits showed the stability of the sowing-to-ripening period duration (average coefficient of variation: 10.9%) and 1000 seed weight (17.3%). The effect of the genotype was the determining factor only for 1000 seed weight (67.6% of the variance). The growing season duration, number of pods per plant, number of seeds per pod, and productivity depended more on the environments. Productivity formation patterns were basically the same at both sites: productivity of an accession depended on the number of pods, and 1000 seed weight was negatively related to the number of seeds per pod. The growing season in Maikop depended on the flowering-to-ripening period ($r = 0.73$); in Astrakhan, on the sprouting-to-flowering period ($r = 0.85$). The duration of the sowing-to-sprouting and sprouting-to-flowering periods significantly correlated with mean temperatures ($r = -0.87$ and 0.87 , respectively), while the flowering-to-ripening period did not depend on the mean temperature.

Conclusion. Accessions relatively stable in their productivity and duration of the growing season were identified. They demonstrated both determinant and indeterminate growth, attesting to the prospects of breeding work with different common bean groups.

Keywords: common bean, VIR collection, studying, climate conditions, breeding-oriented traits, ANOVA, correlation, regression

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0002 "Identifying possibilities in the genetic diversity of leguminous crops to optimize their breeding and diversify uses in various sectors of the national economy".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Novikova L.Yu., Berzegova A.A, Gurkina M.V., Buravtseva T.V. Productivity and growing-season stability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under contrasting ecogeographic conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(3):105-115. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-105-115

Введение

В мировом земледелии фасоль обыкновенную возделывают на площади около 35 млн га (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>) более чем в 100 странах в различных почвенно-климатических зонах. Оптимальная температура для фасоли обыкновенной составляет на этапе всходов 15–18°C, формирования вегетативных органов – 16–20°C, цветения – 18–22°C, плодоношения – 20–23°C (Stepanov, 1957; Belolyubtsev, Sennikov, 2012). Температурный минимум прорастания – 10–12°C, появления всходов – 12–13°C, цветения – 15–18°C. Наиболее благоприятным является климат со средней месячной температурой летом 18–23°C. Культура влаголюбива, особенно в фазу цветения (Kerefov, 1975).

Существенный фактор растениеводства XXI века – изменение климата. Главными тенденциями изменения климата являются рост температуры и дестабилизация водного режима, вызванная активизацией испарения с океанов (IPCC..., 2021). Изменение климата оказывает неблагоприятное воздействие на урожайность многих культур и представляет собой потенциальную угрозу производству сельскохозяйственной продукции (Jägermeier et al., 2021). Центральная проблема современного растениеводства – повышение устойчивости урожая сельскохозяйственных культур к неблагоприятным факторам внешней среды (Zhuchenko, 2009). Основной задачей селекции становится повышение адаптивности сортов в условиях комплексного изменения лимитирующих факторов (Rybas', 2016).

Сорта фасоли характеризуются различной пластичностью в контрастных эколого-географических условиях (Acosta-Quezada et al., 2022), в частности разной устойчивостью к высоким температурам (Suárez et al., 2020). В условиях потепления и дестабилизации климата особенно актуально выделение стабильных генотипов сельскохозяйственных культур. Одной из основных задач, которые стоят перед селекционерами фасоли, является создание оптимального генотипа растений, способного стабильно реализовывать свой потенциал и при этом оптимально реагировать на изменение условий выращивания (Marakaeva, Kazydub, 2016). Во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), где сохраняется мировая коллекция фасоли, насчитывающая 7880 образцов этой культуры из 102 стран мира, ежегодно проводится изучение образцов коллекции в различных эколого-географических условиях. Это позволяет, рассматривая стабильность как устойчивость признака в различных условиях среды, находить по разным параметрам стабильные генотипы с целью их дальнейшего использования в селекционном процессе для повышения адаптивности создаваемых сортов.

Целью нашей работы стало выявление степени влияния окружающей среды на селекционно значимые признаки образцов фасоли обыкновенной при возделывании в контрастных климатических условиях Астрахани и Майкопа; определение стабильных образцов.

В задачи исследования входило:

- сравнение варибельности селекционно значимых признаков образцов;
- сравнение селекционно значимых признаков образцов в пунктах исследования;
- сравнение условий теплообеспеченности межфазных периодов в средах исследования;
- выявление образцов, стабильных по периоду вегетации и продуктивности.

Материалы и методы

Материалом для изучения послужили 30 образцов фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) различного эколого-географического происхождения (табл. 1). Эти образцы, пригодные для выращивания и дающие урожай на территории России, были отобраны нами из большей выборки для исследования в контрастных погодных условиях по итогам предварительного испытания образцов, поступивших в коллекцию генетических ресурсов растений ВИР в 2014 г.

Исследованный материал из 17 стран мира представлен селекционными и местными сортами. Образцы разнообразны по направлению использования, характеру роста растений и типу куста. При проведении изучения отмечалось влияние изменяющихся климатических условий на тип куста у переходных форм (полукустовые, с завывающей верхушкой) в пунктах исследования. Образцы высевали в условиях Майкопской (МОС) и Астраханской (АОС) опытных станций – филиалов ВИР в течение трех лет (2014, 2016, 2018 г.). Изучены следующие показатели: «посев – всходы», «всходы – цветение», «цветение – созревание», «посев – созревание» (сутки), продуктивность растения (г), число бобов на растение (шт.), масса 1000 семян (г), число семян в бобе (шт.).

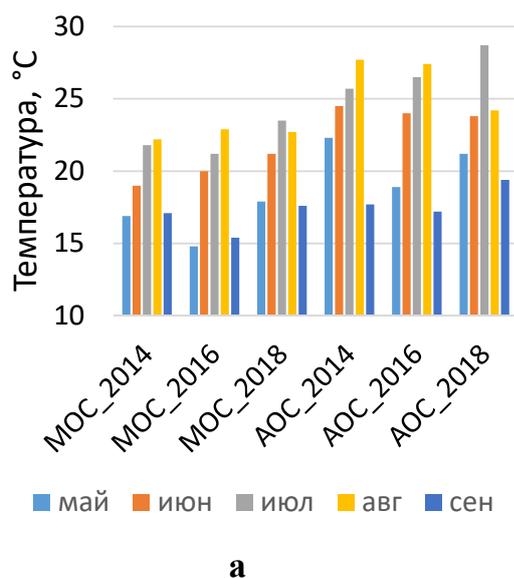
Для выявления влияния окружающей среды на селекционно значимые признаки фасоли обыкновенной при возделывании в контрастных погодных условиях посев и изучение хозяйственно ценных признаков осуществляли согласно методике ВИР (Budanova et al., 1987; Vishniyakova et al., 2018). Погодные данные МОС ВИР получены на Майкопском метеопункте ВИР, АОС ВИР – на сайте Росгидромета для метеостанции WMO ID 34880 Астрахань (46°17' N; 47°59' E). Статистический анализ проведен в пакете Statistica 13.3 методами дисперсионного (ANOVA), корреляционного, регрессионного анализов. Сравнение характеристик выборки на двух станциях сделано однофакторным дисперсионным анализом. Исследована корреляция продуктивности с другими показателями на каждой станции. Рассчитана корреляция продуктивности на одной станции с продуктивностью на другой; такое же сравнение сделано для других показателей. Классификация силы корреляций сделана по Б. А. Доспехову (меньше 0,3 по модулю – слабая; выше 0,7 – сильная; от 0,3 до 0,7 – средняя) (Dospikhov, 1973). Апостериорный анализ проведен критерием Тьюки. Стабильность периода вегетации и сумм температур оценивали по коэффициенту вариации (Dospikhov, 1973). Экологическую стабильность продуктивности определяли по методике S. A. Eberhart и W. A. Russell (Eberhart, Russell, 1966; Pakudin, 1976). Оценивались коэффициент регрессии генотипа на среду (b) и дисперсия отклонений от линии регрессии (s_a^2). Под средой понимали 6 сочетаний «географический пункт × год». В исследовании принят уровень значимости 5%. Приведенные в тексте статьи коэффициенты корреляции значимы, если не указано иное.

Влияние пункта исследования. Климат в пунктах исследования контрастен: МОС ВИР (44°27' N; 40°10' E) находится в зоне влажного умеренного климата, АОС ВИР (46°14' N, 48°01' E) – в зоне засушливого континентального климата. Климат последних 30 лет (1991–2020 гг.) характеризуется на МОС ВИР суммой активных температур выше 10°C – 3300°C, суммой осадков за период активной вегетации – 510 мм, ГТК = 1,5. На АОС ВИР – соответственно 3800°C, 140 мм, 0,4. Погодные

Таблица 1. Краткая характеристика изученных образцов фасоли обыкновенной**Table 1. Brief description of the studied common bean accessions**

№ по каталогу ВИР	Название образца	Происхождение	Тип куста	Использование
Детерминантные				
15648	Fruhe Dickeleischige Wachs	Германия	кустовой	овощное
15649	Finaro	Германия	кустовой	овощное
15650	Prisma	Германия	кустовой	зерновое
15651	Fori	Германия	кустовой	овощное
15652	Charmo	Нидерланды	кустовой	овощное
15653	Ajax	Нидерланды	кустовой	туршечное
15657	Fidalgo	Португалия	кустовой	туршечное
15658	Без названия	Марокко	кустовой	зерновое
15663	3180/3 PBI	Англия	кустовой	зерновое
15666	Earliserve	Канада	кустовой	овощное
15670	Местная	Индия	кустовой	зерновое
15672	Пестро-коричневая	Россия	кустовой	зерновое
15673	Местная овощная	Россия	кустовой	овощное
15762	Без названия	Армения	кустовой	туршечное
Индетерминантные				
15645	VMI 48	Куба	полукустовой	зерновое
15646	VMI 1	Куба	с завивающейся верхушкой	зерновое
15654	Без названия	Греция	полувьющийся	зерновое
15655	Без названия	Бразилия	полувьющийся	зерновое
15656	Agoana	Бразилия	полукустовой	зерновое
15659	Без названия	Марокко	полувьющийся	зерновое
15660	Местная	Румыния	полувьющийся	туршечное
15661	Местная	Румыния	полувьющийся	овощное
15662	Без названия	Вьетнам	полувьющийся	зерновое
15665	Без названия	Сингапур	полувьющийся	зерновое
15667	Lamdong	Лаос	полукустовой	зерновое
15668	DEM 25	Лаос	с завивающейся верхушкой	зерновое
15669	DEM 25-9	Лаос	полукустовой	зерновое
15671	Без названия	Вьетнам	полувьющийся	зерновое
15761	Без названия	Китай	полукустовой	зерновое
15789	Без названия	Китай	полувьющийся	зерновое

условия лет эксперимента также были контрастны (рис. 1).



мян в бобе велико влияние случайной ошибки (42,0 и 41,9%), включающей межгодовую вариабельность.

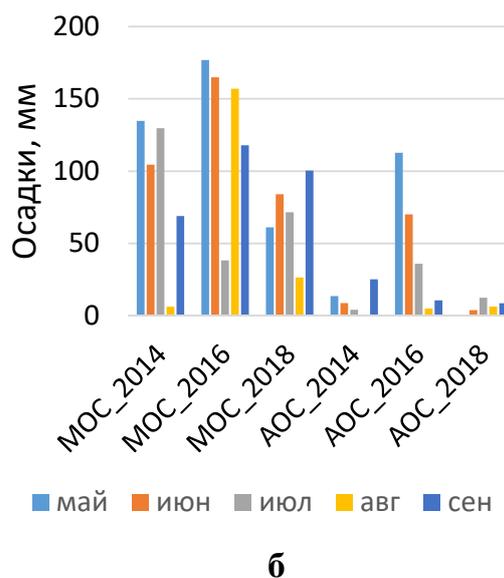


Рис. 1. Погодные условия в годы исследования (Майкопская и Астраханская опытные станции – филиалы ВИР; 2014, 2016, 2018 г.): а) средняя месячная температура воздуха; б) месячная сумма осадков
Fig. 1. Weather conditions during the years of the study (Maikop and Astrakhan Experiment Stations of VIR; 2014, 2016, and 2018): а) mean monthly air temperature; б) monthly precipitation

Средняя температура мая составляла на МОС ВИР 16,0°C, на АОС ВИР – 20,8°C; июня: 20,1 и 24,1°C; июля: 22,2 и 27,0°C; августа: 22,6 и 26,4°C; сентября: 16,7 и 18,1°C соответственно. Суммы осадков мая составляли на МОС ВИР 124 мм, на АОС ВИР – 42 мм; июня: 118 и 28 мм; июля: 80 и 18 мм; августа: 63 и 4 мм; сентября: 96 и 15 мм соответственно. Наиболее холодным и влажным на обеих станциях был 2016 г. К лимитирующим факторам, как известно, относятся температура и осадки. В нашем исследовании влияние осадков не учитывалось ввиду капельного полива посевов на АОС ВИР и достаточного увлажнения на МОС ВИР.

Результаты и обсуждение

Вариабельность признаков и влияние факторов. Сравнение коэффициентов вариации хозяйственно ценных признаков показало, что в среднем наиболее вариабельным в 6 средах исследования у образцов был признак «число бобов на растение» (средний по 30 образцам коэффициент вариации – 99,1%) и «продуктивность» (93,0%). Наиболее стабильны признаки продолжительности периода «посев – созревание» (10,9%) и массы 1000 семян (17,3%). Коэффициент вариации признака «число семян в бобе» составил 22,8%.

Для оценки влияния факторов (пункт, образец) использовали двухфакторный дисперсионный анализ, который показал, что оба фактора и их взаимодействие значимо влияли на период вегетации («посев – созревание»), продуктивность, число бобов на растение и число семян в бобе (табл. 2). Большой вес имела случайная ошибка, в которую включены межгодовые различия.

Влияние генотипа было определяющим фактором только для массы 1000 семян (67,6% дисперсии). На продуктивность и число бобов на растение влияние пункта было больше, чем образца и случайной ошибки (40,9 и 41,3%). На продолжительность вегетации и число се-

Сравнение селекционно значимых признаков в пунктах исследования. Продолжительность периода от посева до массового созревания составила (рис. 2) на МОС ВИР в среднем по выборке 99,7 суток (варьируя у образцов от 94,3 до 102,7 суток), а на АОС ВИР достоверно меньше – 94,4 суток (76,7–124,07 суток; уровень значимости различий $p = 0,023$). Увеличение продолжительности вегетации на МОС ВИР связано с продолжительным межфазным периодом «посев – всходы» по сравнению с АОС ВИР (25 против (vs.) 8 суток соответственно). На МОС ВИР наблюдался более короткий период «всходы – цветение» (32 vs. 41 суток), а продолжительность «цветение – созревание» на станциях достоверно не различалась (43 vs. 46 суток, $p = 0,052$).

В условиях МОС ВИР формировалось меньшее число бобов на растение (3,1 vs. 21,1 штук, $p = 0,000$), большее число семян в бобе (5,1 vs. 4,0 штук, $p = 0,000$), масса 1000 семян достоверно не различалась (243 vs. 229 г, $p = 0,374$), в итоге наблюдалась меньшая продуктивность, чем на АОС ВИР (4 vs. 18 г/растение, $p = 0,000$).

Таким образом, от условий среды зависели средние показатели продолжительности периода вегетации, числа бобов на растение, числа семян в бобе и продуктивности.

Для изучения закономерностей формирования продуктивности (стабильного урожая) были изучены корреляции хозяйственно значимых признаков как внутри каждого пункта исследований, так и между станциями. Анализ корреляций хозяйственно значимых признаков в пунктах исследования показал, что закономерности формирования продуктивности на МОС ВИР и АОС ВИР в основном одинаковы: продуктивность образца зависит от числа бобов ($r = 0,80; 0,91$), масса 1000 семян отрицательно связана с числом семян в бобе ($r = -0,38; -0,47$). Что касается периода вегетации («посев – созревание»), то на МОС ВИР он зависит от периода «цветение – созревание» ($r = 0,73$), а на АОС ВИР больше связан с периодом

Таблица 2. Оценка влияния факторов «пункт» и «образец» на хозяйственно ценные признаки фасоли обыкновенной дисперсионным анализом

(Майкопская и Астраханская опытные станции – филиалы ВИР; 2014, 2016, 2018 г.)

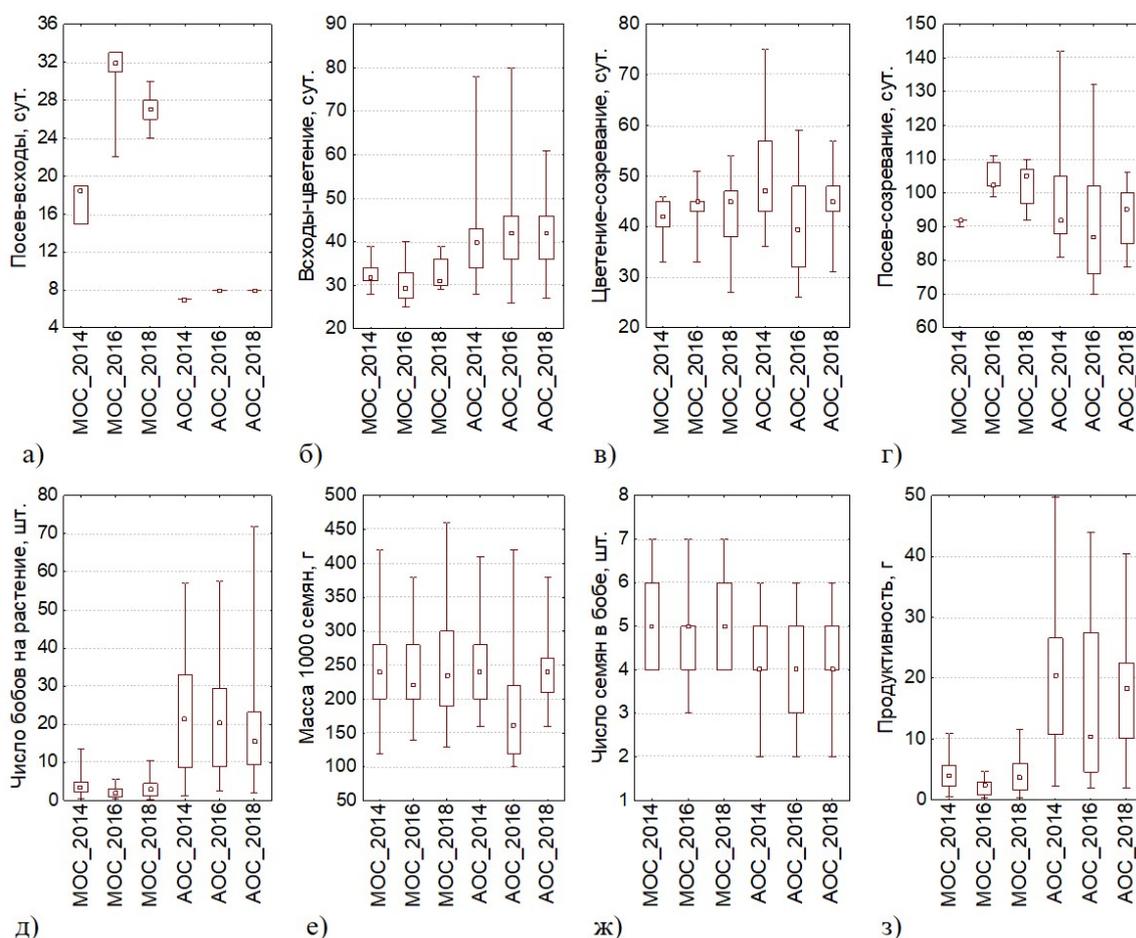
Table 2. The effect of the “site” and “accession” factors on valuable agronomic characters of common bean assessed by the analysis of variance

(Maikop and Astrakhan Experiment Stations of VIR; 2014, 2016, and 2018)

Фактор	Посев-созревание		Число бобов на растение		Масса 1000 семян		Число семян в бобе		Продуктивность	
	p	SS, %	p	SS, %	p	SS, %	p	SS, %	p	SS, %
Образец	0,001	23,6	0,000	17,3	0,000	67,6	0,026	17,1	0,002	16,0
Пункт	0,000	5,0	0,000	41,3	0,032	1,0	0,000	23,0	0,000	40,9
Образец × пункт	0,000	29,5	0,008	13,1	0,619	5,6	0,017	18,0	0,027	12,5
Ошибка		42,0		28,3		25,8		41,9		30,6

p – уровень значимости влияния фактора; SS, % – процент объясненной дисперсии

p – the significance level of the factor’s effect; SS, % – percentage of the explained variance

**Рис. 2. Агробиологические характеристики образцов фасоли обыкновенной**

(Майкопская и Астраханская опытные станции – филиалы ВИР; 2014, 2016, 2018 г.):

- а)** «посев – всходы»; **б)** «всходы – цветение»; **в)** «цветение – созревание»; **г)** «посев – созревание»; **д)** число бобов на растение; **е)** масса 1000 семян; **ж)** число семян в бобе; **з)** масса семян с растения.

Представлены: медиана, квартили, минимум и максимум

Fig. 2. Agrobiological characteristics of common bean accessions

(Maikop and Astrakhan Experiment Stations of VIR; 2014, 2016, and 2018):

- a)** sowing-to-sprouting period; **б)** sprouting-to-flowering period; **в)** flowering-to-ripening period; **г)** sowing-to-ripening period; **д)** number of pods per plant; **е)** 1000 seed weight; **ж)** number of seeds per pod; **з)** seed weight per plant. The median, quartiles, minimum, and maximum are presented

«всходы – цветение» ($r = 0,85$). Соответствующие характеристики образца между станциями коррелировали достоверно по трем показателям: наибольшая корреляция наблюдается по массе 1000 семян ($r = 0,85$), то есть образцы с высокой массой 1000 семян на МОС ВИР имели высокий показатель и на АОС ВИР; корреляция средней силы характеризовала соответствие числа бобов на растении ($r = 0,53$) и продуктивности ($r = 0,40$) между станциями; корреляция продолжительности вегетационного периода между пунктами исследования незначима ($r = -0,31$). Таким образом, образцы, лучшие по продолжительности вегетации или продуктивности в одном пункте, перестают быть лучшими на другом, и селекция по этим важнейшим характеристикам для каждого пункта должна вестись отдельно.

Условия теплообеспеченности периода вегетации и межфазных периодов в средах исследования. Погодные условия АОС ВИР в годы исследования характеризовались избыточными для фасоли температурами, оптимум для которой в период активной вегетации составляет 18–23°C (Kerefov, 1975). В то же время на МОС ВИР в период «посев – всходы» температуры были ниже оптимума, составляющего для этого периода 15–18°C. На МОС ВИР всходы наблюдались через 17–31 сутки после посева, а на АОС ВИР – через 7–8 суток. Несмотря на различие почти на две недели в датах посева в пунктах исследования, в среднем массовое цветение на станциях пришлось на близкие даты, период «цветение – созревание» не различался по продолжительности при значительно боль-

шей сумме температур на АОС ВИР, что вызвано избыточно высокими температурами в этот период, которые не ускоряли развитие. В результате массовое созревание пришлось на МОС ВИР на 7 августа, на АОС ВИР – 13 августа. Сумма температур за период «посев – созревание» на МОС ВИР, равная в среднем 1930°C (1809–2003°C), была достоверно ниже (сравнение проведено однофакторным дисперсионным анализом, $p = 0,000$), чем на АОС ВИР – 2349°C (1881–3036°C) (табл. 3).

Для каждого образца был рассчитан коэффициент вариации продолжительности вегетации и суммы температур за вегетацию по 6 средам исследования. Средний по образцам коэффициент вариации сумм температур (14,8%) превышает коэффициент вариации продолжительности вегетации (10,9%). Если вегетация происходит в условиях лимитирования температурами, то чем выше температура, тем быстрее растение завершает вегетацию, и суммы температур за вегетацию более стабильны, чем ее продолжительность (Mishchenko, 2009). Полученный результат свидетельствует в пользу того, что продолжительность вегетации на АОС ВИР регулировалась не накоплением суммы необходимых температур, для ряда образцов температуры в АОС ВИР были избыточны.

Корреляционный анализ усредненных по выборке показателей в разных средах показал, что продолжительность периода «посев – всходы» имеет значительную зависимость от средней температуры периода ($r = -0,87$), в условиях МОС ВИР температурный фактор был лимитирующим (рис. 3, а). Продолжительность меж-

Таблица 3. Теплообеспеченность межфазных периодов образцов фасоли обыкновенной в пунктах исследования (Майкопская и Астраханская опытные станции – филиалы ВИР; 2014, 2016, 2018 г.)

Table 3. Heat supply during the interphase periods of common bean accessions at the sites of the study (Maikop and Astrakhan Experiment Stations of VIR; 2014, 2016, and 2018)

Межфазный период	Показатель	МОС			АОС		
		2014	2016	2018	2014	2016	2018
Посев – всходы	Дата посева	07.05	26.04	28.04	12.05	10.05	12.05
	Длительность, сут.	17,2	31,1	26,8	7,0	8,0	8,0
	Сумма температур, °C	297,9	431,5	442,3	178,3	149,3	172,9
	Средняя температура, °C	18,4	14,3	17,1	29,7	21,3	24,7
	Дата всходов	24.05	27.05	24.05	19.05	18.05	20.05
Всходы – цветение	Длительность, сут.	32,7	29,9	32,4	41,1	41,3	41,3
	Сумма температур, °C	614,1	554,4	639,5	1002,1	938,1	953,0
	Средняя температура, °C	19,4	19,2	20,3	25,0	23,1	23,5
	Дата цветения	25.06	26.06	26.06	29.06	28.06	30.06
Цветение – созревание	Длительность, сут.	41,9	43,8	43,1	50,9	40,7	45,1
	Сумма температур, °C	888,7	944,2	976,3	1311,8	1098,3	1242,7
	Средняя температура, °C	21,7	22,1	23,2	26,3	27,7	28,2
	Дата созревания	06.08	08.08	08.08	19.08	08.08	14.08
Посев – созревание	Длительность, сут.	91,9	104,8	102,3	99,1	90,0	94,4
	Сумма температур, °C	1800,6	1930,2	2058,2	2492,2	2185,8	2368,6
	Средняя температура, °C	19,6	18,4	20,1	25,2	24,2	25,1

фазного периода «всходы – цветение» коррелировала со средней температурой за период положительно достоверно ($r = 0,87$), что свидетельствует об избыточности температур в условиях АОС ВИР (см. рис. 3, б). Продолжительность межфазного периода «цветение – созревание» от средней температуры не зависит.

квадрат коэффициента корреляции, $0,87^2$ (Dospekhov, 1973).

Оценка стабильности периода вегетации и продуктивности. Изучение, проведенное в контрастных эколого-географических условиях, позволило выделить

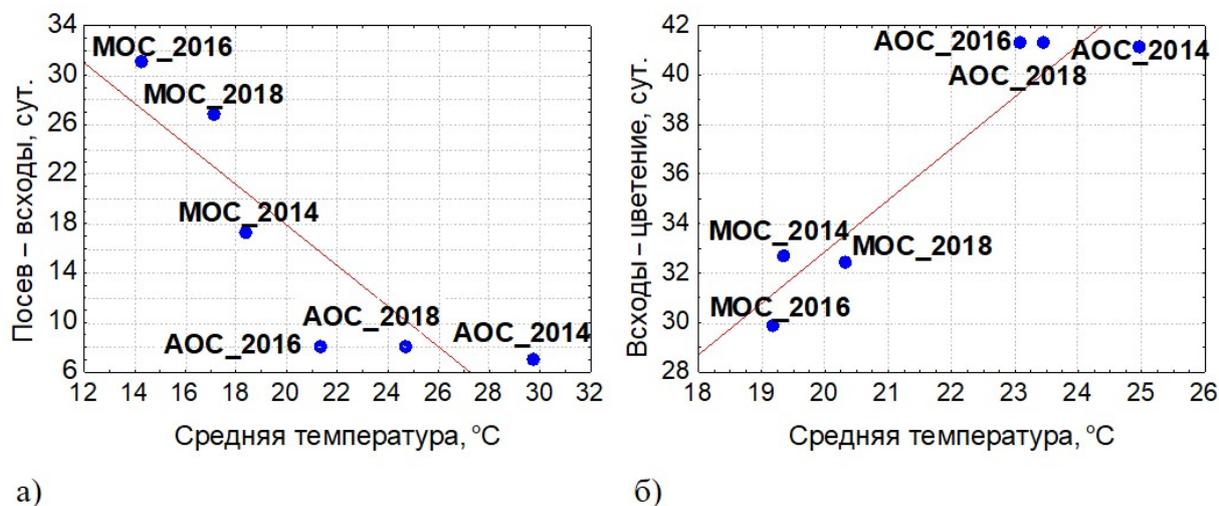


Рис. 3. Зависимость продолжительности периодов «посев – всходы» (а) и «всходы – цветение» (б) от средней температуры периода (Майкопская и Астраханская опытные станции – филиалы ВИР; 2014, 2016, 2018 г.)
Fig. 3 Dependence of the duration of the sowing-to-sprouting (a) and sprouting-to-flowering (б) periods on the mean temperature during the interphase periods (Maikop and Astrakhan Experiment Stations of VIR; 2014, 2016, and 2018)

Таким образом, температуры 14–18°C, наблюдавшие в условиях МОС ВИР в период «посев – всходы», лимитируют темп развития растений фасоли, а при 22–30°C на АОС ВИР скорость развития достигает максимального возможного значения. В период «всходы – цветение» температуры 23–25°C (на АОС ВИР) были избыточными и задерживали цветение.

Зависимость периода «посев – всходы» (L) от средней температуры за период (T) может быть описана уравнением

$$L = 50,7 - 1,6 \cdot T \quad R^2 = 0,76$$

Здесь R^2 – коэффициент детерминации уравнения, показывающий процент объясненной уравнением дисперсии. В данном случае парной линейной регрессии это

стабильные образцы по признакам продолжительности периода вегетации («посев – созревание») и продуктивности.

Стабильность периода вегетации образцов определяли по коэффициенту вариации, учитывая, что вариабельность признака считается незначительной, если коэффициент вариации меньше 10% (Dospekhov, 1973). Выделено семь наиболее стабильных образцов (первый квартиль), которые показали относительную независимость периода вегетации от условий и имели коэффициент вариации этого признака < 8% (табл. 4).

Оценку стабильности продуктивности образцов проводили по методу S. A. Eberhart и W. A. Russell (1966), который основан на расчете двух параметров: коэффици-

Таблица 4. Образцы фасоли обыкновенной, выделившиеся по стабильности периода вегетации (Майкопская и Астраханская опытные станции – филиалы ВИР; 2014, 2016, 2018 г.)

Table 4. Common bean accessions with the best growing-season stability (Maikop and Astrakhan Experiment Stations of VIR; 2014, 2016, and 2018)

Номер по каталогу ВИР	Название образца	Происхождение	Посев – созревание, сутки			
			Среднее	Min	Max	Cv, %
15653	Аjax	Нидерланды	101,3	92	107	5,1
15654	Без названия	Греция	103,0	92	107	5,5
15655	Без названия	Бразилия	100,0	92	107	6,8
15656	Aroana	Бразилия	95,8	87	107	7,7
15667	Lamdong	Лаос	97,2	88	105	6,5
15668	DEM 25	Лаос	95,8	87	105	6,9
15671	Без названия	Вьетнам	99,3	92	109	6,7

ента линейной регрессии (b_i) и дисперсии отклонения от линии регрессии (s_d^2). Коэффициент линейной регрессии продуктивности сортов b_i показывает их реакцию на изменение условий выращивания (пластичность), а показатель s_d^2 характеризует стабильность признака в различных условиях; стабильный сорт, по мнению авторов метода, – это сорт с $b_i = 1$ и $s_d^2 = 0$.

В таблице 5 представлены результаты оценки продуктивности по изложенному выше методу. Образцы отсортированы по коэффициенту b_i . В нашем исследовании однозначно стабильных образцов не выявлено. Относительную стабильность (значение коэффициента регрес-

сии b_i , близкое к 1, и при этом как можно меньшее значение параметра стабильности s_d^2) по признаку продуктивности показали пять образцов третьего квартиля (к-15646, к-15652, к-15657, к-15666, к-15761), характеризующиеся средними показателями продуктивности (9–13,2 г/растение), близкими к 1 значениями b_i (0,98–1,17) и значениями параметра стабильности $s_d^2 = 10,2–20,3$.

Образцы, выделившиеся по стабильности продолжительности вегетации и продуктивности, имеют как детерминантный, так и индетерминантный характер роста, что свидетельствует о перспективности селекционной работы с разными группами фасоли.

Таблица 5. Продуктивность (г/растение) фасоли обыкновенной в эколого-географическом испытании и показатели ее стабильности (по: Eberhart, Russell, 1966)

Table 5. Productivity (g/plant) of common bean in the ecogeographic trials and its stability parameters (from Eberhart, Russell, 1966)

№ по каталогу ВИР	Происхождение	МОС ВИР			АОС ВИР			Средняя продуктивность	b_i	s_d^2
		2014	2016	2018	2014	2016	2018			
15648	Германия	1,5	2,5	7,2	5,0	2,2	3,6	3,7	0,02	5,6
15661	Румыния	5	0,3	1,8	2,3	5,5	2,5	2,9	0,06	4,7
15672	Россия, Омская обл.	1,9	2,5	6,4	7,6	2,0	4,8	4,2	0,13	6,0
15660	Румыния	8,1	1,67	0,3	4,2	2,0	10,3	4,4	0,17	17,4
15649	Германия	1,1	2,9	6,0	14	6,2	10,1	6,7	0,52	6,3
15650	Германия	0,5	2,1	2,7	13,9	2,5	8,2	5,0	0,52	10,5
15658	Марокко	6,6	0,5	2,1	4,3	10,5	21,1	7,5	0,54	47,2
15762	Армения	1,7	4,6	1,6	9,6	3,0	23,5	7,3	0,65	55,0
15668	Лаос	3,3	2,6	7,3	16,9	4,6	19,0	8,9	0,71	23,8
15669	Лаос	3,9	2,0	0,8	7,0	14,2	22,5	8,4	0,75	43,1
15663	Великобритания	5,6	3,6	10,9	14,0	30,6	20,7	14,2	0,88	65,0
15662	Вьетнам	5,8	2,8	3,9	14,4	12,2	24,9	10,7	0,88	25,3
15670	Индия	3,1	3,6	10,7	21,3	3,0	27,8	11,6	0,92	73,6
15653	Нидерланды	4,0	3,0	0,4	10,7	28,8	16,7	10,6	0,93	74,3
15761	Китай	3,4	0,9	6,6	21,4	8,0	20,3	10,1	0,98	16,8
15651	Германия	1,5	2	3,6	29,0	5,6	10,0	8,6	1,04	50,1
15666	Канада	3,3	3,4	5,2	26,1	10,6	18,3	11,1	1,09	12,7
15646	Куба	3,3	0,8	1,2	21,4	8,0	22,1	9,5	1,13	17,6
15789	Китай	10,9	0,8	1,1	24,5	34,5	7,2	13,2	1,14	126,0
15657	Португалия	2,0	0,9	1,4	17,2	18,5	21,0	10,2	1,15	10,2
15652	Нидерланды	2,3	0,5	1,5	26,6	8,0	15,0	9,0	1,17	20,3
15654	Греция	3,9	3,7	4,1	24,1	37,2	10,4	13,9	1,24	117,0
15673	Россия, Ставропольский край	5,7	2,1	4,5	19,7	29,0	24,3	14,2	1,28	34,9
15667	Лаос	4,4	0,8	3,8	31,0	21,9	12,9	12,5	1,36	28,5

Таблица 5. Окончание
Table 5. The end

№ по каталогу ВИР	Происхождение	МОС ВИР			АОС ВИР			Средняя продуктивность	b_i	s_d^2
		2014	2016	2018	2014	2016	2018			
15671	Вьетнам	5,6	2,7	5,1	43,4	2,2	18,3	12,9	1,48	146,0
15659	Марокко	7,3	2,1	3,8	45,0	27,5	2,0	14,6	1,55	201,0
15656	Бразилия	5,9	2,5	3,4	24,1	37,7	34,5	18,0	1,76	74,9
15655	Бразилия	7,5	4,3	2,8	34,9	44,0	18,5	18,7	1,78	118,0
15665	Сингапур	4,1	4,7	11,7	37,0	26,0	34,5	19,7	1,81	10,1
15645	Куба	3,6	2,2	2,0	49,7	10,5	40,4	18,1	2,38	113,0
Среднее		4,2	2,3	4,1	20,7	15,2	17,5	10,7	1	51,8

Заклучение

Из коллекции фасоли выделены относительно стабильные образцы по признакам продолжительности периода вегетации (коэффициент вариации < 8%) – семь образцов (к-15653, к-15654, к-15655, к-15656, к-15667, к-15668, 15671) и продуктивности (средняя продуктивность – 9–13,2 г/растение, коэффициент регрессии на среду $b_i = 0,98-1,17$; показатель стабильности $s_d^2 = 10,2-20,3$) – пять образцов (к-15646, к-15652, к-15657, к-15666, к-15761). Выделенные образцы имеют как детерминантный, так и индетерминантный характер роста и перспективны для включения их в селекционный процесс.

References / Литература

Acosta-Quezada P.G., Valladolid-Salinas E.H., Murquincho-Chuncho J.M., Jadán-Veriñas E., Ruiz-González M.X. Heterogeneous effects of climatic conditions on Andean bean landraces and cowpeas highlight alternatives for crop management and conservation. *Scientific Reports*. 2022;12(1):6586. DOI: 10.1038/s41598-022-10277-x

Belolyubtsev A.I., Sennikov A.I. Bioclimatic potential of ecosystems: a manual (Bioklimaticheskiy potentsial ekosistem: uchebnoye posobiye). Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 2012. [in Russian] (Белолубцев А.И., Сенников В.А. Биоклиматический потенциал экосистем: учебное пособие. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 2012).

Budanova V.I., Lagutina L.V., Buravtseva T.V. Guidelines. The study of common bean accessions from the global collection (Metodicheskiye ukazaniya. Izucheniye obraztsov mirovoy kolleksii fasoli). Leningrad: VIR; 1987. [in Russian] (Буданова В.И., Лагутина Л.В., Буравцева Т.В. Методические указания. Изучение образцов мировой коллекции фасоли. Ленинград: ВИР; 1987).

Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Kolos; 1979. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Колос; 1979).

Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations: [website]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [accessed Dec. 02, 2022].

IPCC: Summary for Policymakers. In: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York, NY: Cambridge University Press; 2021. p.3-32. DOI: 10.1017/9781009157896.001

Jägermeyr J., Müller C., Ruane A.C., Elliott J., Balkovic J., Castillo O. et al. Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food*. 2021;2(11):873-885. DOI: 10.1038/s43016-021-00400-y

Kerefov K.N. Biological fundamentals of crop production (Biologicheskiye osnovy rasteniyevodstva). Moscow: Vyschaya Shkola; 1975. [in Russian] (Керефов К.Н. Биологические основы растениеводства. Москва: Высшая школа; 1975).

Marakaeva T.V., Kazydub N.G. Assessment of ecological plasticity and stability of samples of haricot of Western Siberia vegetable in the conditions of the southern forest-steppe. *International Research Journal*. 2016;6(48):52-58. [in Russian] (Маракаева Т.В., Казыдуб Н.Г. Оценка экологической пластичности и стабильности образцов фасоли овощной в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;6(48):52-58). DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.047

Mishchenko Z.A. Agricultural climatology. (Agroklimatologiya). Kiev: KNT; 2009. [in Russian]. (Мищенко З.А. Агроклиматология. Киев: КНТ, 2009).

Pakudin V.Z. Parameters of environmental plasticity assessment in cultivars and hybrids (Parametry otsenki ekologicheskoy plastichnosti sortov i gibridov). In: L.V. Khotyleva (ed.). *Theory of Selection in Plant Populations (Teoriya otbora v populyatsiyakh rasteniy)*. Novosibirsk: Nauka; 1976. p.178-189. [in Russian] (Пакудин В.З. Параметры оценки экологической пластичности сортов и гибридов. В кн.: *Теория отбора в популяциях растений* / под ред. Л.В. Хотылевой. Новосибирск: Наука; 1976. С. 178-189).

Rybas' I.A. Breeding grain crops to increase adaptability (review). *Agricultural Biology*. 2016;51(5):617-626. [in Russian] (Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). *Сельскохозяй-*

- ственная биология. 2016;51(5):617-626). DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus
- Stepanov V.N. Biological classification of agricultural plants in field cultivation (Biologicheskaya klassifikatsiya selskohozyaystvennykh rasteniy polevoy kultury). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1957;(2):5-29. [in Russian] (Степанов В.Н. Биологическая классификация сельскохозяйственных растений полевой культуры. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 1957;2:5-29).
- Suárez L.R., Polanía J.A., Contreras A.T., Rodríguez L., Machado L., Ordoñez C. et al. Adaptation of common bean lines to high temperature conditions: genotypic differences in phenological and agronomic performance. *Euphytica*. 2020;216(2):28. DOI: 10.1007/s10681-020-2565-4
- Vishniyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.V., Burliyeva M.O., Semenova E.V., Filipenko G.I., Aleksandrova T.G., Egorova G.P., Yankov I.I., Bulyntsev S.V., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying. Guidelines. St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Филипенко Г.И., Александрова Т.Г., Егорова Г.П., Янков И.И., Булынтцев С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение. Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-79-5
- Zhuchenko A.A. Adaptive crop production (ecogenetic fundamentals): theory and practice. Vol. 3 (Adaptivnoye rastenyevodstvo [ekologo-geneticheskiye osnovy]: teoriya i praktika. T. 3). Moscow: Agorus; 2009. [in Russian] (Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы): теория и практика. Том 3. Москва: Агрус; 2009).

Информация об авторах

Любовь Юрьевна Новикова, доктор сельскохозяйственных 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.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

Анета Абрековна Берзегова, доктор биологических наук, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 385746 Россия, Республика Адыгея, Майкоп, ул. Научная, 1, berzegova_aneta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5250-9867>

Мария Владиславовна Гуркина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Астраханская опытная станция – филиал ВИР, 416462 Россия, Астраханская обл., Приволжский р-н, с. Яксатово, m.gurkina-08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6169-6089>

Тамара Васильевна Буравцева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, t.buravtseva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2304-2380>

Information about the authors

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

Aneta A. Berzegova, Dr. Sci. (Biology), Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station of VIR, 1 Nauchnaya St., Maikop 385746, Russia, berzegova_aneta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5250-9867>

Maria V. Gurkina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Astrakhan Experiment Station of VIR, Astrakhan 416462, Russia, m.gurkina-08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6169-6089>

Tamara V. Buravtseva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, t.buravtseva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2304-2380>

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 21.02.2023; одобрена после рецензирования 30.06.2023; принята к публикации 04.09.2023. The article was submitted on 21.02.2023; approved after reviewing on 30.06.2023; accepted for publication on 04.09.2023.