



Изменчивость морфологических и фенологических признаков среди контрастных по типу роста образцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. в разных эколого-географических условиях

Е. А. Крылова, О. А. Чунихина, А. П. Бойко, Е. В. Мирошниченко, Е. К. Хлесткина, М. О. Бурляева

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

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Александровна Крылова, e.krylova@vir.nw.ru

Актуальность. Вigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – относится к теплолюбивым культурам и по площади возделывания среди зернобобовых культур занимает третье место в мире. Овощные сорта вигны успешно возделывают в открытом грунте в южных областях, а также на юге Дальнего Востока России. Создание новых сортов, адаптированных к выращиванию в разных регионах, а также пригодных для широкого внедрения в промышленное производство, является крайне актуальным. **Материалы и методы.** Оценку изменчивости 20 морфологических и трёх фенологических признаков шести образцов вигны с разным типом роста и архитектоникой растения проводили в различных эколого-географических условиях на опытных станциях ВИР (Астраханская область, Приморский и Краснодарский края) в 2019-2022 годах. Варьирование и взаимосвязи признаков оценивали с помощью базовых и многомерных статистических методов. **Результаты.** В ходе анализа выявлено достоверное влияние комплекса факторов (генотип/образец, место репродукции) на изменчивость признаков. Наиболее сильно от места репродукции зависели фенологические признаки, длина междоузлий и листочков. Генотип в большей степени определял размах варьирования числа узлов, ветвей, цветоносов и бобов на растение, толщины стебля и размера боба. На диапазон изменчивости длины стебля значительно влияло место репродукции и генотип, причем генотип оказывал более сильное влияние. Реакция генотипов на изменение условий выращивания была различной. У большинства изученных образцов в условиях муссонного климата Приморского края отмечено увеличение длины главного стебля, у некоторых изменился тип роста (с детерминантного на индетерминантный). В нашем эксперименте длина растения положительно коррелировала с количеством осадков и со средними показателями относительной влажности воздуха. Только на сорт 'Лянчихе' избыточная влажность и осадки оказывали минимальное воздействие, растения сохраняли низкорослость и компактную архитектонику. Метод главных компонент выявил четыре фактора, отражающих основную часть дисперсии анализируемых признаков. В первом факторе объединились характеристики листа, во втором – архитектоники и времени развития растения, в третьем – проростка и ювенильной стадии, в четвертом – боба. Эти комплексы признаков (факторы) определяли изменчивость растений вигны в нашем опыте. **Заключение.** В результате нашего анализа изменчивости морфологических и фенологических признаков было выявлено, что при возделывании культуры при повышенной влажности и большом количестве осадков происходит значительное увеличение длины стебля, меняется архитектоника растения и, в некоторых случаях, даже тип роста. Дальнейшее изучение изменчивости изученных характеристик с привлечением других образцов и определение молекулярных механизмов, контролирующих стабильность типа роста и длины стебля, позволят перейти к более эффективному и быстрому созданию новых сортов пригодных к механизированному возделыванию. Это крайне важно для освоения новых ареалов возделывания видами, востребованность которых в качестве источника пищи и кормов возрастает в Российской Федерации.

Ключевые слова: признаки роста растений, вигна, корреляции, факторный анализ, влажность воздуха

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-323 от 21.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего». Авторы благодарят за техническую помощь при проведении работ Сельвян Л. (Адлерская опытная станция – филиал ВИР), Нестерову Т.А. (Астраханская опытная станция – филиал ВИР).

Для цитирования: Крылова Е.А., Чунихина О.А., Бойко А.П., Мирошниченко Е.В., Хлесткина Е.К., Бурляева М.О. Изменчивость морфологических и фенологических признаков среди контрастных по типу роста образцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. в разных эколого-географических условиях. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(2):16-30. DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-07

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.

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-o7

Variability of morphological and phenological traits in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. accessions contrasting by growth type in different ecological and geographical conditions

Ekaterina A. Krylova, Olga A. Chunikhina, Alexsander P. Boyko, Elena V. Miroshnichenko, Elena K. Khlestkina, Marina O. Burlyaeva

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

Corresponding author: Ekaterina A. Krylova, e.krylova@vir.nw.ru

Background. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is a thermophilic crop that occupies the third place in the world in terms of cultivation area among leguminous crops. Vegetable cowpea cultivars are successfully cultivated in the open ground in Russia, in its southern regions and the south of the Far East. The creation of new cultivars adapted to cultivation in different regions and suitable for widespread industrial production, is extremely relevant. **Materials and methods.** The variability of 20 morphological and three phenological traits of six cowpea accessions with different growth habit types and architectonics was assessed in various ecological and geographical conditions at VIR experiment stations (in Astrakhan Province, Primorye Territory and Krasnodar Territory) in 2019–2022. The variability and interrelationships of the traits were estimated using basic and multivariate statistical methods. **Results.** The analysis revealed a significant influence of the factor complex (genotype/accession, research location) on the variability of traits. Phenological traits, the length of internodes and leaflets depended most strongly on the research location. The range of variation in the number of nodes, branches, peduncles and pods per plant, stem thickness and pod size were determined by the genotype to a larger extent. The range of stem length variability was significantly influenced by the research location and the genotype, though the genotype had a stronger influence. The genotypes responded differently to changes in growing conditions. For most of the studied accessions, an increase in the main stem length was noted in the monsoon climate conditions of the Primorye Territory, for some of them the type of growth habit changed from determinate to indeterminate. In our research, the plant length was positively correlated with the amount of precipitation and with the average relative humidity. Excessive humidity and precipitation had minimal effect only on the cultivar ‘Lyanchihe’, whose plants retained dwarfness and compact architectonics. Factor analysis (principal factors analysis) revealed four factors responsible for the main part of the variance of the analyzed traits. The characteristics of the leaf were combined in the first factor, those of architectonics and time of plant development in the second, traits of the seedling and the juvenile stage in the third, and those of the pod in the fourth factor. These complexes of traits (factors) determined the variability of cowpea in our research. **Conclusion.** The performed analysis of morphological and phenological traits revealed a significant increase of stem length and changes in plant architectonics under conditions of high relative humidity and a large amount of precipitation. In some cases, even the type of growth habit was changed. The further research on the studied characters variability involving more accessions and the determination of molecular mechanisms that control stability of the growth habit type and length of the stem will allow us to proceed to a more efficient and rapid creation of new cultivars suitable for mechanized cultivation. This is extremely important for the development of new areas by cultivating species, the demand in which as a source of food and feed is increasing in the Russian Federation.

Keywords: plant growth habit, cowpea, correlations, factor analysis, air humidity

Acknowledgments: The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of Russia under agreement No. 075-15-2022-323 dated 04/21/2022 on the provision of a grant in the form of subsidies from the federal budget for the implementation of state support for the creation and development of a world-class scientific center “Agrotechnologies of the Future”. Authors thank Selvuan L. (Adler Experiment Station of VIR) and Nesterova T.A. (Astrakhan Experiment Station of VIR) for technical assistance.

For citation: Krylova E.A., Chunikhina O.A., Boyko A.P., Miroshnichenko E.V., Khlestkina E.K., Burlyaeva M.O. Variability of morphological and phenological traits in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. accessions contrasting by growth type in different ecological and geographical conditions. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(2):16–30. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-o7

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

© Krylova E.A., Chunikhina O.A., Boyko A.P., Miroshnichenko E.V., Khlestkina E.K., Burlyaeva M.O., 2024

Введение

Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – культура из семейства Fabaceae Lindl., известна во многих странах как культура разностороннего использования (зерновая, кормовая, овощная). В большинстве регионов ее выращивают для пищевых целей на семена и зеленую лопатку. Кроме этого, некоторые растения развивают большую вегетативную массу, которая может использоваться на корм скоту.

Вигна – теплолюбивая, солеустойчивая и кислотоустойчивая культура, выдерживающая высокие температуры и засуху. В Российской Федерации вигна успешно возделывается в открытом грунте в различных климатических зонах: в субтропиках Кавказа, в резко континентальном климате в Прикаспийской низменности. Кроме этого, отмечены положительные результаты по апробации выращивания вигны на шпалерах в условиях муссонного климата на юге Приморья (Chebukin, Burlyeva, 2016).

Различные абиотические факторы – температура, влажность, длина светового дня и другие – оказывают влияние на рост растений, при этом отмечается вариабельность морфологических признаков, в том числе и селекционно значимых, таких как продуктивность, тип роста стебля, длина растения (Vavilov, 1928; Huxley et al., 1976; Huxley, Summerfield, 1976; Summerfield et al., 1978; Inouye et al., 1979; Summerfield, Wien, 1980; Wien, Summerfield, 1980; Talbot, 1984; Dow El-Madina, Hall, 1986; Zhuchenko, 1988). Так с использованием обширного материала в серии географических опытов, основная идея которых была сформулирована академиком Н.И. Вавиловым, были установлены закономерности варьирования морфологических признаков в зависимости от эколого-географических условий. Сотрудниками института был проведен анализ диапазона изменчивости большого числа морфологических признаков в контрастных климатических условиях, была отмечена различная степень варьирования одних и тех же признаков у разных образцов в контрастных эколого-географических условиях. Разные абиотические факторы влияют на высоту растения, при этом Н.И. Вавилов отмечал, что данный признак варьирует в зависимости от количества осадков, выпавших за вегетационный период (Vavilov, 1928). О.К. Fortunatova, изучая изменчивость высоты растения в разных условиях произрастания, подтвердила вывод Н.И. Вавилова. В ее исследованиях высота растений уменьшалась в природных зонах с недостаточным увлажнением по сравнению с районами, где выпадает большое количество осадков (Fortunatova, 1928). В условиях переувлажнения высота растений увеличивалась, при этом реакция различных растений на изменение условий репродукции была разной.

Изучение диапазона изменчивости морфологических и фенологических признаков разных групп растений является по-прежнему актуальной задачей. Особое значение имеют исследования вариабельности призна-

ков в зависимости от погодных и климатических условий (Burlyeva et al., 2014; 2015; 2021; Stoilova, Pereira, 2013; Gerrano et al., 2015; Gurkina, 2018; 2019).

К числу стрессовых абиотических факторов относится повышенная влажность воздуха (более 85%), влияние которой на рост и развитие растений изучено недостаточно. Известно, что растения в условиях высокой относительной влажности воздуха часто проявляют признаки быстрого увядания (Fanourakis et al., 2020). Длина стебля и междоузлий, площадь листовых пластинок, уровень транспирации варьируют в зависимости от насыщенности воздуха влагой, при этом реакция различных растений на повышенную влажность воздуха неодинакова (Mortensen, 2000; Chia, Lim, 2022). Некоторые декоративные культуры при избыточном увлажнении увеличивают сухой вес растения, в то время как в условиях засухи они формируют более компактную форму куста (Mortensen, 2000). У одного образца киноа через 14 дней в условиях повышенной влажности наблюдалось уменьшение высоты и площади листьев, в то время как у другого – значительных изменений этих показателей отмечено не было (Li et al., 2023).

Изменчивость морфологических признаков в различных эколого-географических условиях показана и для представителей семейства Бобовые. Как и у других культур, одним из сильно варьирующих признаков является длина растения. Так, в условиях муссонного климата длина стебля у образцов чечевицы увеличивалась более чем в четыре раза по сравнению с показателями этого же признака в засушливом климате (Luzina, 1962). Сходные тенденции отмечены и для гороха, стебель у ряда сортов которого в условиях избыточного увлажнения удлинялся более чем в два раза (Kondykov et al., 2006). В опыте с фасолью (*Phaseolus vulgaris* L.) не было обнаружено существенных различий в росте и урожайности растений в зависимости от показателей влажности воздуха (O'Leary, Knecht, 1971). Исследование размаха варьирования морфологических признаков у образцов вигны в контролируемых условиях показало различную реакцию генотипов на повышенную влажность воздуха (Krylova et al., 2022). У некоторых образцов отмечалось образование выходящего побега и удлинение стебля в условиях избыточного увлажнения.

В настоящее время в фермерских хозяйствах востребованы сорта характеризующиеся кустовой формой растения и имеющие детерминантный (законченный) тип роста главного стебля. Выходящие растения с индетерминантным типом роста уступают сортам, которые благодаря своей архитектонике устойчивы к полеганию, а также пригодны к механизированному возделыванию. Это несомненно актуально в регионах с избыточным увлажнением, например, на юге Приморского края, на побережьях Черного и Каспийского морей. Для более эффективной оценки и последующего отбора исходного материала при создании сортов с перечисленными выше характеристиками необходима оценка степени влияния эколого-геогра-

фических условий на диапазон варьирования морфологических признаков, в том числе и хозяйственно ценных, таких как длина и тип роста стебля. В связи с этим целью настоящего исследования была оценка изменчивости морфологических и фенологических признаков образцов вигны с разным типом роста, в различных эколого-географических условиях.

Материалы и методы

Для изучения было отобрано шесть образцов из коллекции вигны ВИР (к-6, к-639, к-640, к-642, к-1783, сорт 'Лянчихе' к-2056) *V. unguiculata* из группы сортов *sesquipedalis* и *unguiculata*. Староместные сорта (к-639, к-640, к-642) были собраны Н.И. Вавиловым во время экспедиции 1929 года по Китаю. Образцы из группы сортов *unguiculata* к-6 и к-1783 были получены по выписке в 1921 году из США и в 1985 году из Германии, соответственно. Современный сорт 'Лянчихе' (к-2056) был создан в России в Приморском крае в результате селекционных отборов из образцов китайского происхождения. Образцы к-639, к-640, к-642 и к-2056 (интродукционный номер и-632341) были включены в настоящее исследование на основании ранее выявленных для них отличий в контролируемых условиях контрастных по влажности воздуха (Krylova et al., 2022), образцы к-6 и к-1783 взяты дополнительно на основе предварительных наблюдений о сильно (к-6) и слабо (к-1783) выраженном проявлении индетерминантного типа роста.

В Астраханской области на Астраханской опытной станции (АОС) ВИР и на юге Приморского края на Дальневосточной опытной станции (ДВОС) ВИР проводили четырехлетнее изучение в 2019–2022 годах, а также в течение трех лет (2020–2022) в Краснодарском крае на Адлерской опытной станции (АдОС) ВИР.

Исследования образцов осуществляли в условиях открытого грунта согласно методическим указаниям по изучению коллекции зерновых бобовых культур (Vishnyakova et al., 2018) и Международному классификатору видов *Vigna Savi* (Burlyayeva et al., 2016). Посев проводили вручную во влажный прогретый слой почвы при среднесуточной температуре воздуха 14–16°C. Ширина между рядами составляла 70 см, расстояние между семенами в ряду – 10 см, глубина заделки семян – 3–5 см, длина на опытных делянок – 4 м.

Для каждого образца в среднем оценивали по 7–10 растений по следующим фенологическим и морфологическим признакам: продолжительность фаз вегетационного периода, а именно по длительности периодов «посев-всходы», «посев-цветение», «посев-налив бобов»; длина растения; толщина главного стебля; число узлов на главном стебле; число ветвей первого порядка; длина первого междоузлия; длина второго междоузлия; длина примордиального листа; ширина примордиального листа; длина среднего листочка; ширина среднего листочка; длина рахиса среднего листочка; длина бокового листоч-

ка; ширина бокового листочка; длина рахиса бокового листочка; число цветоносов с бобами на растении; длина цветоноса; число бобов на растении; длина боба; толщина боба. Всего было проанализировано 442 растения.

АОС расположена в Камызякском районе юго-восточной части Астраханской области в зоне Прикаспийской низменности. Климат этого региона резко континентальный, засушливый. Почвы на опытном участке аллювиально-луговые, тяжелосуглинистые, слабозасоленные с типом засоления хлоридно-сульфатным, слабо-закисленные и с небольшим содержанием гумуса. Осадки выпадают редко, распределение которых в течение вегетационного периода, а также по годам было очень неравномерным. На АОС образцы культивировали в условиях орошения, всего за период вегетации проводили от 11 до 15 поливов со средним ежегодным расходом около 3000 литров воды.

ДВОС находится на юге Приморского края. Этот регион характеризуется муссонным климатом, дерново-подзолистой и слабощелочной почвой, корнеобитаемый слой которой не превышает 60 см. В связи с повышенной влажностью воздуха, а также частыми и обильными осадками на ДВОС, образцы вигны культивировали на шпалерах.

АдОС расположена на Черноморском побережье Кавказа в Адлерском районе города Сочи Краснодарского края. Климат этого региона субтропический, на который оказывают значительное влияние близость моря и гор.

Погодные условия в годы проведения исследования менялись значительно. Метеорологические данные анализировали с использованием материалов сайта <http://www.pogodaiklimat.ru/> (Weather and climate..., 2024), а также архивных данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) (Specialized datasets for climate research, 2024). За месяцы вегетационного периода анализировали данные о сумме активных температур выше 15°C, количестве осадков (рис. 1), а также показатели относительной влажности воздуха. Кроме этого, согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур проводили расчет расхода воды, поступающей на делянки при капельном поливе на АОС (Methodology for state..., 2019).

Базовый статистический анализ (с использованием программы Statistica для Windows 7.0) проводили по каждому признаку для каждого из образцов: рассчитывали средние арифметические значения признаков, стандартные отклонения, коэффициент вариации, стандартную ошибку среднего при доверительном 95%-ном интервале. Для установления взаимной согласованности в изменчивости признаков был осуществлен корреляционный анализ (ранговые коэффициенты корреляции Спирмана – Spearman Rank Order Correlations). Значения коэффициента корреляции $r \geq 0,70$ считали высокими, значения r в диапазоне от 0,50 до 0,70 – средними, значения $r \leq 0,50$ – низкими (Shmidt, 1984). Учитывали коэффи-

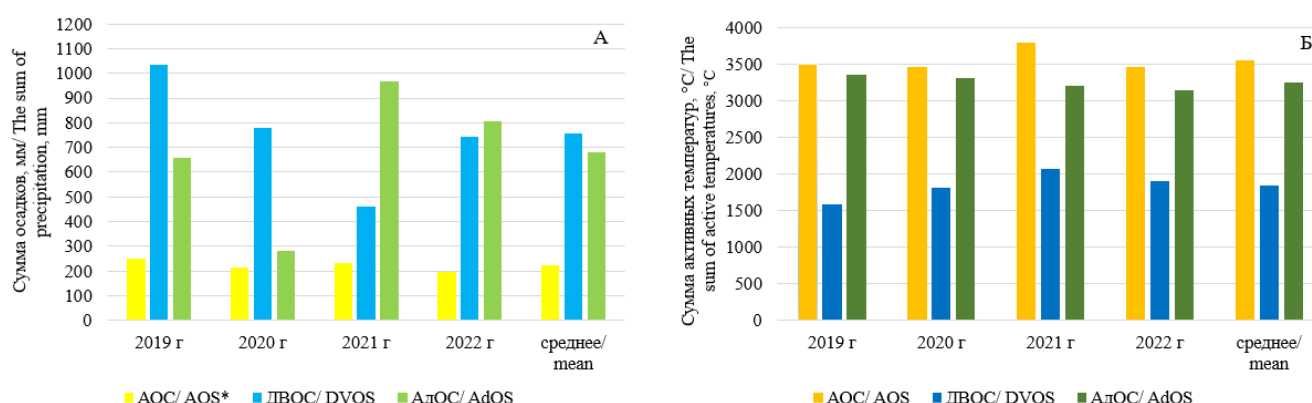


Рис. 1. Сумма осадков (А) и сумма активных температур (Б), наблюдаемых в течение вегетационного периода в годы изучения на АОС, ДВОС и АдОС

Fig. 1. The sum of precipitation (A) and the sum of active temperatures (Б) at the experimental locations in 2019-2022

* – сумма осадков на АОС включает в себя дополнительный капельный полив/
the sum of precipitation at the AOS includes additional drip irrigation

коэффициенты корреляции достоверно значимые на 5% уровне ($p < 0,05$). Для проверки статистической значимости ассоциаций между местом репродукции, генотипом и изменчивостью изучаемых признаков проводили двухфакторный дисперсионный анализ, расчеты проводили по всему массиву данных, то есть по всем проанализированным растениям. Долю влияния фактора (η^2 – intraclass correlation, выраженный в %) по Фишеру вычисляли по формуле: $\eta^2 = \frac{SS_{\text{factor}}}{SS_{\text{total}}} \times 100\%$, где: η^2 , % – доля влияния фактора, SS_{factor} – факторная сумма квадратов отклонений, SS_{total} – общая сумма квадратов отклонений (Shmidt, 1984; Ivanter, Korosov, 2011). Апостериорную оценку достоверности различий образцов по изученным признакам проводили с помощью критерия Тьюки (Tukey honest significant difference, HSD).

Изучение изменчивости признаков и их взаимосвязей в разных условиях роста проводили посредством факторного анализа, а именно методом главных компонент/главных факторов, с использованием метода вращения (Varimax raw). Число факторов определяли с помощью критерия «каменистой осыпи» Р. Кеттелла.

Результаты

В анализ были включены образцы с различной архитектоникой растений – вьющиеся с индетерминантным типом роста главного стебля, а также растения с детерминантным типом роста (рис. 2). Средние показатели и диапазон варьирования изученных признаков образцов представлены в таблице 1. Длина стебля изменялась от 13 до 380 см, длина первого и второго междоузлия – от 1 до 5 см и от 0,8 до 5 см соответственно. Длина примордиаль-

ного листа колебалась от 2 до 7,5 см, а ширина – от 1 до 4,5 см. Листочки тройчатых листьев имели копьевидную форму, при этом длина среднего листочка варьировала от 3,5 до 15 см, ширина – от 2 до 10,5 см. Бобы отличались окраской: светло-зеленые у образцов к-639, к-640 и к-642, зеленые у к-6, вишневые у к-2056 и соломенные у образца к-1783 – длина их изменялась от 7 до 48 см, а ширина – от 0,4 до 1,5 см.

Нами отмечено, что место репродукции влияло на изменчивость фенологических и морфологических признаков образцов. Самый непродолжительный период от посева до всходов наблюдался на АОС, в среднем 7 суток. Самые протяженные межфазные периоды от посева до цветения и от посева до налива бобов были отмечены на ДВОС – 68 и 89 суток, соответственно. Наименьшее среднее значение по длине растения, 82 см, было зафиксировано для АОС.

Растения репродукции ДВОС, значительно отличались по этому признаку и характеризовались максимальными значениями длины растения, до 380 см, толщины стебля, до 2 см, имели наибольшее число узлов на главном стебле и ветвей первого порядка. У растений, выращенных на АдОС, отмечены длинные первое и второе междоузлия, а также наибольшее число бобов.

На изменчивость изученных признаков оказывал влияние и генотип образца. Растения к-6 развивали значительную зеленую массу и отличались индетерминантным типом роста стебля. Для экземпляров к-6 характерно наличие толстого стебля с большим числом узлов и ветвей первого порядка, широкого примордиального листа, а также средних листочков с длинными рахисами. Этот образец отличался самыми продолжительными межфаз-

ными периодами, характеризовался наименьшей продуктивностью: среднее число недлинных, широких бобов составило 7,7 на растение.

Для растений образца к-2056 напротив отмечены минимальные показатели длины растения (47,6 см), числа узлов (10) и ветвей первого порядка (2). Для к-1783 характерен недлинный стебель с короткими первым и вторым междоузлиями, некрупными примордиальными листьями. Для других трех образцов (к-639, к-640 и к-642) не отмечалось большого размаха изменчивости по изученным признакам.

Для выяснения достоверности влияния генотипа и места репродукции на изменчивость изучаемых признаков был проведен двухфакторный дисперсионный анализ (Приложение 1/ Supplement 1)¹. Генотип в большей степени достоверно оказывал влияние на варьирование длины растения – доля влияния (д.в.) 30,8%, толщины стебля – д.в. 24,4%, числа узлов на главном стебле – 36,2%, числа ветвей первого порядка – 18,2%, числа цветоносов – 10,4% и бобов – 29,7%, д.в. на длину – 69,5% и ширину бобов – 46,2%. Место репродукции в большей степени оказывало влияние на изменчивость признаков продолжительности периодов от посева до цветения – д.в. 48,6%, от посева до налива бобов – 52,7%, а также на длину первого и второго междоузлий – д.в. 42,7% и 43,6%, соответственно. На продолжительность периода от посева до всходов достоверно влияло только место репродукции – 16,9%, а на варьирование признаков листьев – длина и ширина примордиального листа, длина и ширина среднего и бокового листочков, длина рахиса среднего листочка, длина черешка – влияли все изученные факторы. Анализ эффектов взаимодействия изученных факторов – генотипа и места репродукции – на изменчивость признаков показал достоверное совместное влияние на варьирование большинства изученных признаков. Исключением являются продолжительность периода от посева до цветения, длина рахиса среднего листочка, длина черешка и длина цветоноса.

Апостериорная оценка достоверности различий между образцами по изученным признакам, проведенная с помощью критерия Тьюки, показала следующие отличия. Образец к-6 достоверно отличался от других образцов по продолжительности межфазных периодов от посева до цветения ($p=0,00$) и налива бобов ($p<0,01$), по толщине главного стебля ($p=0,00$), по числу узлов на главном стебле ($p=0,00$), по числу ветвей первого порядка ($p=0,00$), по ширине среднего листочка ($p<0,04$), по длине черешка ($p=0,00$), по длине цветоноса ($p=0,00$), по длине боба ($p<0,03$). Этот образец не был сходен с к-639, к-640, к-642 по длине второго междоузлия ($p<0,03$). Различался с к-639 и к-1783 по длине ($p<0,02$) и ширине примор-

диального листа ($p=0,00$), а по длине растения ($p=0,00$) с к-1783 и к-2056. Также к-6 отличался по критерию Тьюки от к-640 по длине среднего листочка ($p=0,00$), по длине бокового листочка ($p=0,00$), по числу цветоносов ($p=0,02$).

Образец к-1783 подобно к-6 по многим признакам достоверно отличался от всех образцов: по длине первого междоузлия ($p<0,02$), по ширине ($p<0,01$) и длине боба ($p=0,00$), по числу цветоносов ($p=0,00$) и бобов ($p=0,00$). Он не был сходен с образцами к-639, к-640, к-642, к-2056 по длине второго междоузлия ($p<0,03$), по длине растения ($p=0,00$), по длине бокового листочка ($p=0,00$). По длине примордиального листа были выявлены различия между образцом к-1783 и к-6, к-639, к-640, к-642 ($p=0,00$).

Сорт 'Лянчихе' к-2056 также достоверно отличался по многим признакам от других образцов, кроме вышеуказанных различий с к-6 и к-1783, он отличался: от всех образцов по числу узлов на растении ($p=0,00$), по длине растения ($p=0,00$) и по длине боба ($p=0,00$); с к-639, к-640, от к-642 – по длине второго междоузлия ($p<0,03$) и примордиального листа ($p=0,00$); от к-640 – по толщине стебля ($p=0,00$) и ширине среднего листочка ($p<0,02$), от к-6, к-640, к-1783 – по ширине среднего листочка ($p<0,01$). Таким образом, группа образцов к-6, к-1783 и к-2056 достоверно отличалась от других по многим признакам, при этом к-639, к-640 и к-642 были наиболее похожими, различимы по небольшому набору характеристик и достаточно четко дифференцированы от остальных образцов по многим признакам.

Корреляционный анализ, проведенный по показателям суммы активных температур, количеству осадков, относительной влажности воздуха, морфологическим и фенологическим признакам, выявил взаимосвязь между ними (Приложение 2/ Supplement 2). Продолжительность всех межфазных периодов – «посев-всходы», «посев-цветение», «посев-налив бобов» – коррелировала с количеством осадков ($0,47 \leq r \leq 0,58$), со средними показателями относительной влажности воздуха ($0,49 \leq r \leq 0,64$). Длительность периодов «посев-всходы» и «посев-цветение» связана сильной обратной корреляционной связью с суммой активных температур. Длина растения положительно коррелировала с количеством осадков ($r=0,53$), со средними показателями относительной влажности воздуха ($r=0,49$). Кроме этого, отмечена слабая отрицательная взаимосвязь с суммой активных температур ($r=-0,44$). Для других морфологических признаков были выявлены слабые корреляционные связи с количеством осадков и показателем относительной влажности воздуха ($r<0,5$). Только длина второго междоузлия была связана положительной корреляцией с суммой активных температур ($r=0,57$).

¹ Приложения доступны в онлайн версии статьи/ Supplementary materials are available in the online version of the paper: DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-07

Образец/ Accession Место репродукции/ Research location	к-6/ k-6	к-639/ k-639	к-640/ k-640	к-642/ k-642	к-1783/ k-1783	к-2056/ ('Лянчхе')/ k-2056 ('Lyanchihe')
АОС/АOS 						
АлОС/AlOS 						
ДВОС/DVOS 						

Рис. 2. Фото образцов в различных эколого-географических условиях, репродукция 2022 года
 Fig. 2. Photos of accessions in various ecological and geographical conditions, reproduction in 2022

**Таблица 1. Изменчивость средних значений фенологических
и морфологических признаков у образцов вигны**
(АОС, ДВОС, АдОС, 2019–2022 годы)

**Table 1. Variability of the mean values of phenological and morphological
traits in cowpea accessions**
(AOS, DVOS, AdOS, 2019-2022)

Признак/ Trait	Число измерений/ Sample size	Среднее значение/ Mean	Минимальное значение/ Min	Максимальное значение/ Max	Стандартная ошибка от среднего/ Std. Err
Число дней от посева до всходов, сутки/ Number of days from sowing to emergence	442	7,94	3,00	14,00	0,15
Число дней от посева до цветения, сутки/ Number of days from sowing to flowering	442	57,14	38,00	87,00	0,53
Число дней от посева до налива бобов, сутки/ Number of days from sowing to maturity pods	442	72,31	44,00	112,00	0,78
Длина растения, см/ Stem length, cm	442	120,85	12,80	380,00	3,53
Толщина стебля, см/ Stem thickness, cm	442	0,77	0,40	2,00	0,01
Число узлов на главном стебле, штук/ Number of nodes on main stem	442	14,90	5,00	35,00	0,22
Число ветвей первого порядка, штук / Number of primary branches	438	2,44	1,00	7,00	0,05
Длина первого междоузлия, см/ Length of the first internode, cm	415	2,53	1,00	5,00	0,04
Длина второго междоузлия, см/ Length of the second internode, cm	415	2,86	0,80	5,00	0,05
Длина примордиального листа, см/ Length of primary leaf, cm	442	4,93	1,90	7,50	0,05
Ширина примордиального листа, см/ Width of primary leaf, cm	442	2,97	1,00	4,20	0,03
Длина среднего листочка, см/ Length of terminal leaf, cm	441	9,88	3,50	15,00	0,10
Ширина среднего листочка, см/ Width of terminal leaf, cm	436	5,76	2,00	10,50	0,06
Длина рахиса среднего листочка, см/ Length of the terminal leaf rachis, cm	441	2,92	0,80	5,00	0,03
Длина бокового листочка, см/ Length of lateral leaf, cm	436	9,10	4,00	14,00	0,08
Ширина бокового листочка, см/ Width of lateral leaf, cm	436	5,51	2,00	9,00	0,05
Длина черешка, см/ Petiole length, cm	441	10,04	3,00	20,50	0,13
Число цветоносов/ Number of peduncles	423	9,20	1,00	39,00	0,29
Длина цветоноса, см/ Length of peduncle, cm	415	21,24	6,50	57,00	0,34
Число бобов/ Pod number	437	14,00	1,00	90,00	0,56
Длина боба, см/ Pod length, cm	398	22,08	6,80	48,00	0,45
Ширина боба, см/ Pod width, cm	398	0,83	0,39	1,50	0,01

Корреляционный анализ, проведенный по усредненным данным выборок из разных мест репродукции показал, что длина растения имеет значительную зависимость от суммы осадков ($r=0,86$) (рис. 3А). Кроме этого, длина растения положительно коррелировала с показателем относительной влажности воздуха ($r=0,81$) (рис. 3Б). В условиях АОС при незначительной сумме осадков и низких показателях относительной влажности воздуха средняя длина растения не превышала 100 см. Структу-

ра взаимосвязей, отмеченная для растений репродукции АдОС, более сложная. В 2022 году на АдОС при сопоставимом количестве осадков с ДВОС, однако при более высоких температурах, растения имели среднюю длину. В условиях муссонного климата Дальнего Востока во все годы изучения растения отличались длинным стеблем. Исключением стал только 2021 год, который отличался аномально небольшим для этого региона количеством осадков (рис. 3А).

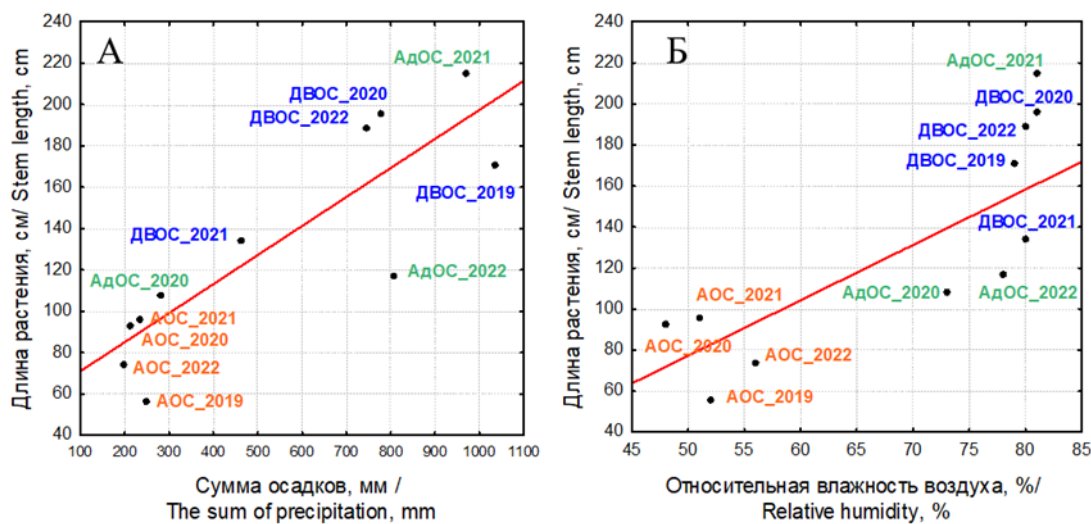


Рис. 3. Зависимость длины растения от суммы осадков (А) и относительной влажности воздуха (Б) (АОС, ДВОС и АдОС, 2019-2022 годы)

Fig. 3. Dependence of stem length on the sum of precipitation (А) and relative humidity (Б) (АОС, ДВОС and АдОС, 2019-2022)

Для выявления закономерностей изменчивости и структуры связей комплекса изученных признаков у образцов вигны был проведен факторный анализ (по методу главных компонент).

Компонентный анализ выявил четыре фактора, отражающих 60% дисперсии признаков (табл. 2, рис. 4). В первый фактор (F1 – 19% общей дисперсии) с положительной корреляцией объединились длина и ширина среднего и бокового листочков, длина черешка и рахиса среднего листочка. Этот фактор отражает формирование/развитие листа. Во второй фактор (F2 – 16% дисперсии) входили с положительной взаимосвязью длина и толщина стебля, число узлов и ветвей первого порядка, а также продолжительность периодов от посева до цветения, от посева до налива бобов. Его можно обозначить как фактор архитектуры/развития растения. В третий фактор (F3), объясняющий 14% общей дисперсии, с положительной взаимосвязью сгруппировались длина и ширина примордиального листа, длина второго междоузлия, а также с отрицательной корреляцией к ним длительность

периода от посева до налива бобов. Третий фактор можно интерпретировать как фактор развития проростка или растения на ранних стадиях онтогенеза. Четвертый фактор (F4 – 11% общей дисперсии) можно обозначить как фактор варьирования признаков боба, в нем объединились с положительной корреляцией показатели его длины и ширины.

Были выявлены следующие закономерности в варьировании признаков: для растений с длинным, ветвистым главным стеблем характерны продолжительные периоды от посева до цветения и от посева до налива бобов, а также короткий период от посева до всходов. У образцов с крупными средними листьями формировались листочки, рахис и черешок большого размера, чем у сортов с мелкими листочками. Образцам с крупными примордиальными листьями и длинным вторым междоузлием свойственно небольшое число цветоносов и бобов, короткие периоды от посева до цветения и от посева до налива бобов.

Рассматривая распределение изученных образцов

Таблица 2. Факторная структура признаков у образцов вигны
(АОС, ДВОС и АдОС в 2019–2022 годы)

Table 2. Factor loadings of traits in cowpea accessions
(AOS, DVOS, AdOS, 2019-2022)

Признак/ Trait	Фактор 1/ Factor 1	Фактор 2/ Factor 2	Фактор 3/ Factor 3	Фактор 4/ Factor 4
Число дней от посева до всходов, сутки/ Number of days from sowing to emergence	-0,15	-0,16	-0,38	0,26
Число дней от посева до цветения, сутки/ Number of days from sowing to flowering	-0,22	0,68	-0,48	0,15
Число дней от посева до налива бобов, сутки/ Number of days from sowing to maturity pods	-0,23	0,59	-0,56	0,26
Длина растения, см/ Stem length, cm	-0,10	0,78	0,06	0,24
Толщина стебля, см/ Stem thickness, cm	0,36	0,68	0,03	-0,14
Число узлов на главном стебле, штук/ Number of nodes on main stem	-0,03	0,83	0,15	-0,11
Число ветвей первого порядка, штук / Number of primary branches	0,26	0,64	-0,12	-0,13
Длина первого междоузлия, см/ Length of first internode, cm	-0,13	-0,14	0,16	0,45
Длина второго междоузлия, см/ Length of second internode, cm	0,22	-0,23	0,65	0,34
Длина примордиального листа, см/ Length of primary leaf, cm	0,06	-0,01	0,70	0,27
Ширина примордиального листа, см/ Width of primary leaf, cm	-0,05	0,11	0,87	-0,06
Длина среднего листочка, см/ Length of terminal leaf, cm	0,74	-0,20	-0,02	0,43
Ширина среднего листочка, см/ Width of terminal leaf, cm	0,84	0,12	-0,04	-0,16
Длина рахиса среднего листочка, см/ Length of the terminal leaf rachis, cm	0,59	0,30	0,30	0,07
Длина бокового листочка, см/ Length of lateral leaf, cm	0,76	-0,19	0,01	0,43
Ширина бокового листочка, см/ Width of lateral leaf, cm	0,89	0,06	0,04	-0,06
Длина черешка, см/ Petiole length, cm	0,67	-0,09	0,13	-0,04
Число цветоносов/ Number of peduncles	0,08	0,30	-0,40	-0,26
Длина цветоноса, см/ Length of peduncle, cm	0,46	0,02	0,21	-0,34
Число бобов/ Pod number	0,25	-0,02	-0,50	-0,25
Длина боба, см/ Pod length, cm	0,09	0,07	0,07	0,84
Ширина боба, см/ Pod width, cm	0,11	0,26	0,08	0,65
Дисперсия, %/ variance, %	19	16	14	11

в системе двух первых факторов, можно отметить тенденцию к группировке растений, выращенных на ДВОС, в области, характеризующейся более длинным стеблем с большим числом узлов и ветвей. Кроме этого, для многих растений были характерны некрупные листочки (рис. 4А). В то время как большинство растений на АОС и АдОС, как видно на графике, заняли область, характеризующуюся небольшой длиной стебля и междоузлий. Однако, следует отметить, что некоторые экземпляры, выращенные на АОС и АдОС, были близки по своим параметрам к растениям, формировавшимся в условиях Приморского края.

При анализе распределения разных генотипов можно

отметить, что растения сорта ‘Лянчихе’ (к-2056) отличались от других по второму фактору архитектоники/развития растения и заняли область на графике, для которой характерен недлинный стебель с небольшим числом узлов и ветвей (рис. 4Б).

Факторный анализ выявил изменчивость взаимосвязей между изученными признаками у образцов в различных условиях репродукции (рис. 5). Причем реакция разных образцов на условия выращивания была неодинаковой. Растения пяти образцов (за исключением к-6), выращенные в условиях Приморского края, образовывали отдельную группу по второму фактору архитектоники/развития растения, в то время как в другую группу объ-

единились экземпляры репродукции на АОС или АдОС. Растения этой группы невозможно было разделить на графиках, взяв за основу место их репродукции (АОС или АдОС).

У растений образцов к-639, к-640 и к-642 выявлено заметное изменение по признакам длины растения, толщины стебля, числа узлов и ветвей (F 2) при выращивании в условиях ДВОС. На графике наблюдается наличие двух групп (рис. 5). Экземпляры, сформировавшиеся в условиях АОС и АдОС, вошли в первую группу и заняли на графике центральную область, характеризующуюся средними размерами листочков, а также средней длиной

стебля. Растения, выращенные в условиях Приморского края, объединились во вторую группу и отличались от первой по фактору архитектуры/развития растений (F 2), то есть по признаку длины растения, толщины стебля, числа узлов и ветвей, а также продолжительности периодов от посева до цветения и от посева до налива бобов. Максимальная длина растения (350-380 см) среди всех изученных растений была отмечена именно для экземпляров этих трех образцов (к-639, к-640 и к-642) в условиях ДВОС. На АОС этот признак у данных образцов находился в пределах 70-110 см.

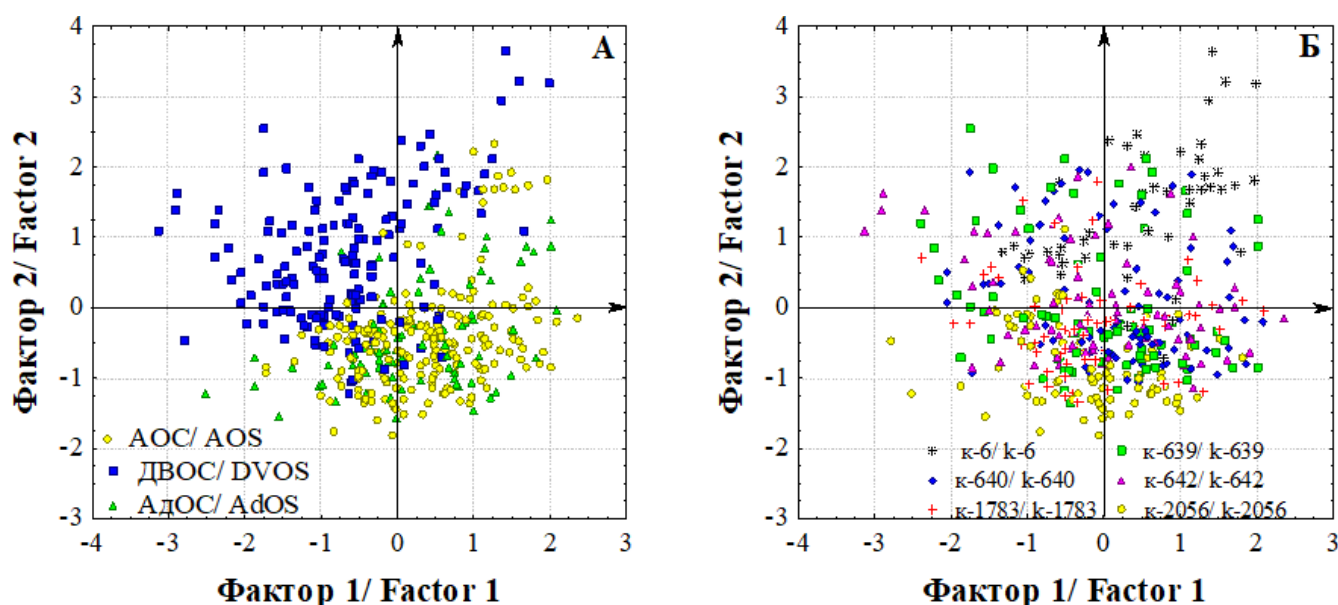


Рис. 4. Распределение образцов в пространстве факторов (АОС, ДВОС и АдОС в 2019-2022 годах)
(А) – распределение образцов по месту репродукции, (Б) – распределение изученных генотипов. Factor 1 (F 1), Factor 2 (F 2) – два первых фактора

Fig. 4. Scatterplot of cowpea accessions in the factorial space (AOS, DVOS, AdOS in 2019-2022)
(А) – scatterplot of accessions by research location, (Б) – scatterplot of accessions by genotype. Factor 1 (F 1), Factor 2 (F 2) – two first factors

Схожую тенденцию можно проследить и для к-1783. Растения репродукции ДВОС имели длинный стебель (до 260 см), при этом у некоторых растений, выращенных на АдОС, длина стебля достигала сходных показателей, а на АОС она колебалась от 47 до 80 см. У к-6 варьирования изменчивости по второму фактору не отмечено. Растения этого образца имели длинный и ветвистый стебель вне зависимости от места репродукции, в среднем он равнялся 150 см, на АОС он достигал 210 см, на ДВОС – 255 см.

Растения сорта 'Лянчixe' (к-2056) образовали достаточно компактную группу на графике и заняли центральную область, для которой характерны средние размеры листьев, а также средняя длина стебля (см. рис. 5). При этом по второму фактору растения этого образца заметно отличались от других. Как и в случае других образцов

(кроме к-6) отмечается наличие двух групп по второму фактору. Растения, выращенные в условиях Приморского края, характеризовались более длинным стеблем по сравнению со сформировавшимися в условиях АОС и АдОС. Некоторые растения на ДВОС оказались близки к растениям репродукции в Адлере и Астраханской области. Однако стоит подчеркнуть, что варьирование показателя этого признака у к-2056 не столь значительно по сравнению с образцами к-639, к-640 и к-642.

Обсуждение

Известно, что условия произрастания влияют на изменчивость морфологических признаков растений. Для вигны было показано варьирование длины стебля рас-

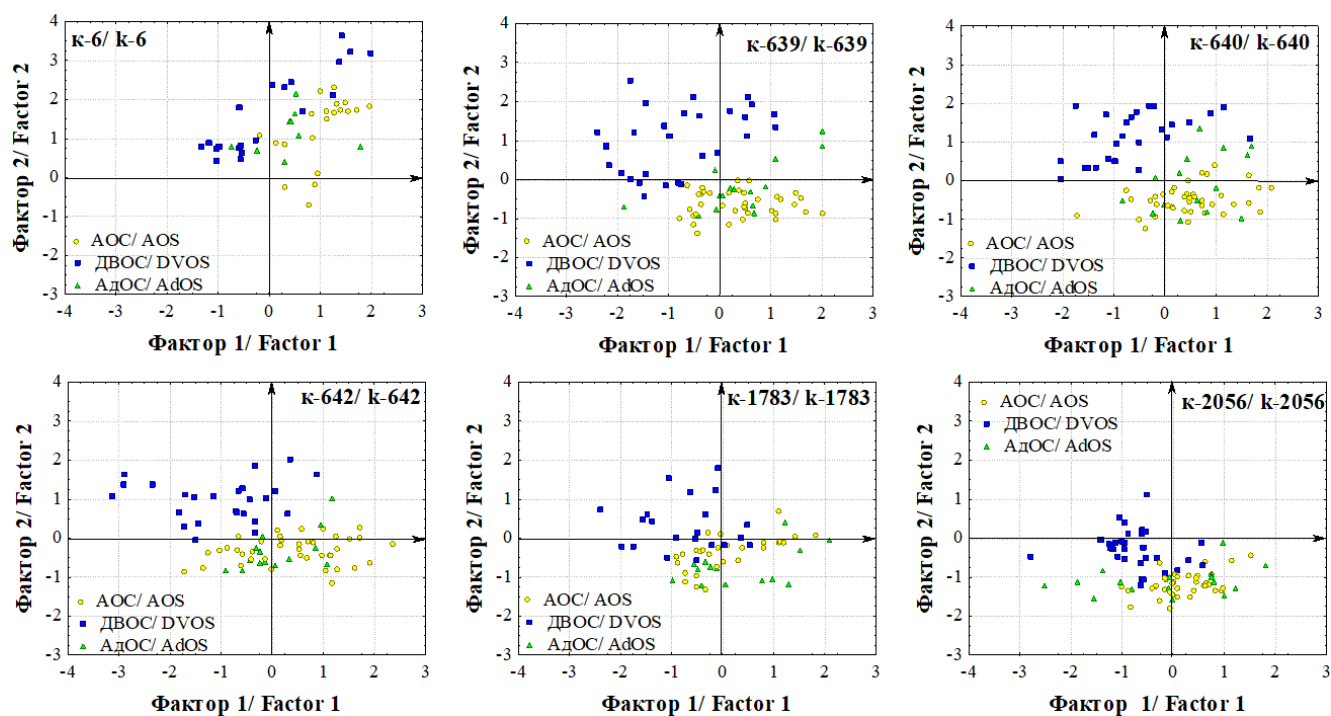


Рис. 5. Распределение образцов вигны к-6, к-639, к-640, к-642, к-1783, к-2056 (АОС, ДВОС и АдОС в 2019–2022 годах) в пространстве первых двух факторов.

Factor 1, Factor 2 – два первых фактора F 1 и F 2

Fig. 5. Scatterplot of cowpea accessions k-6, k-639, k-640, k-642, k-1783, k-2056 in the factorial space (AOS, DVOS, AdOS in 2019–2022)

Factor 1, Factor 2 – two first factors F 1 and F 2

тений при изменении продолжительного светового дня и показателей дневных и ночных температур (Huxley, Summerfield, 1976; Summerfield et al., 1978). От показателей дневной температуры и продолжительности светового дня также зависела общая архитектура растений сои (длина стебля, число и длина междоузлий) (Huxley et al., 1976; Inouye et al., 1979). Изучение влияния влажности воздуха на изменчивость морфологических и фенологических признаков растений немногочисленны. У растений вигны, выращенных в контролируемых условиях, приближенных к аридному и муссонному климатам, отмечены достоверные различия по длине растения и черешка, длине и ширине первого листа (Krylova et al., 2022). Кроме того, у растений в условиях повышенной влажности воздуха чаще формировался выющийся побег. Изменение длины растений было обусловлено комплексным влиянием генотипа/образца и условий роста растений.

Результаты нашего четырехлетнего изучения вигны в различных эколого-географических условиях согласуются с полученными нами ранее результатами по исследованию изменчивости морфологических признаков в искусственных условиях контрастных только по влажности воздуха. Проведенное нами изучение вариативности фенологических и морфологических признаков в полевых условиях Астраханской области, Краснодар-

ского и Приморского краёв, а также статистическая обработка при помощи дисперсионного и факторного анализов выявили сложную структуру взаимосвязей. Было показано достоверное влияние на изменчивость фенологических и морфологических признаков комплекса факторов, таких как эколого-географические условия и влияние генотипа. Варьирование некоторых признаков в большей степени было обусловлено местом репродукции образца, в то время как изменчивость других была связана с генотипом. Кроме этого, на варьирование признаков влияли погодные условия. Стоит подчеркнуть, что из всех изученных морфологических признаков только длина растения была связана с показателями насыщенности воздуха влагой, а именно количеством осадков и относительной влажностью воздуха. Взаимосвязей между другими морфологическими признаками и погодными условиями отмечено не было. У всех изученных образцов наблюдалась зависимость изменчивости длины стебля от погодных условий. Образцы к-639, к-640 и к-642 при повышенной влажности воздуха на ДВОС характеризовались индетерминантным типом роста стебля: у растений отмечалось формирование выющейся верхушки. В то время как в засушливых условиях АОС такой особенности зафиксировано не было: растения выращиваемых образцов имели относительно короткий стебель. Только сорт 'Лянчихе' (к-2056), несмотря на неболь-

шое увеличение длины стебля на ДВОС, сохранял компактность, в отличие от других образцов (к-639, к-640 и к-642, к-1783), для которых в условиях этой станции было отмечено значительное, в 1,5-2,0 раза, удлинение стебля и кроме этого, изменение архитектоники. Таким образом, в условиях избыточного увлажнения на юге Приморья для всех изученных образцов было выявлено увеличение длины стебля, однако, степень варьирования этого показателя была строго генотип-специфичной. Для образца к-642 было отмечено наиболее значительное изменение длины, более чем в 2,5 раза, стебель некоторых растений достигал более 3 метров в длину. Растения к-639, к-640 и к-642, обладая достаточно компактной архитектоникой в засушливых условиях, в Приморском крае превращались во вьющиеся лианы, непригодные для механизированного возделывания, поскольку для выращивания таких лиан требуется наличие шпалер. Только растения сорта 'Лянчixe' (к-2056) отличались от всех других изученных образцов стабильной низкорослостью и не меняли типа роста стебля. Несомненно, этот сорт имеет преимущества для выращивания в промышленных масштабах в условиях муссонного климата на территории Приморья.

Заключение

В результате проведенного исследования было выявлено достоверное влияние генотипа и эколого-географических условий на изменчивость изученных признаков. В условиях избыточного увлажнения на юге Приморского края для большинства изученных образцов отмечалось значительное увеличение длины стебля, а также изменение типа его роста. Из всех генотипов только сорт 'Лянчixe' обладал компактной архитектоникой вне зависимости от условий выращивания, наблюдалось незначительное варьирование длины стебля.

Оценка диапазона изменчивости морфологических признаков является необходимым этапом для интенсификации успешной селекции современных сортов. Тип роста стебля является одним из хозяйственно ценных признаков и взаимосвязан с ростом растения в длину, продолжительностью цветения, урожайностью, устойчивостью к полеганию, а также пригодностью к механизированному возделыванию. Изучение изменчивости морфологических признаков в различных эколого-географических условиях и определение молекулярных механизмов, контролирующих стабильность типа роста и длины стебля, позволят перейти к более эффективному и быстрому созданию новых сортов. Это крайне важно для освоения новых ареалов возделывания для видов, востребованность которых в качестве источника пищи и кормов в Российской Федерации растёт.

Список литературы

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A. Screening of long-

podded cowpea (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) samples from VIR collection for resistance to biotic and abiotic stressors. *Seleksiya i semenovodstvo ovocnich kultur*. 2014;45:131-141. [In Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А. Скрининг образцов спаржевой вигны (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) из коллекции ВИР на устойчивость к биотическим и биотическим стрессорам. *Селекция и семеноводство овощных культур*. 2014;45:131-141).

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A. Studies of long-podded cowpea from VIR collection and the prospects of its cultivation in Russia. *Zemledelie = Crop Farming*. 2015;1:45-48. [In Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А. Изучение спаржевой вигны из коллекции ВИР и перспективы ее возделывания в России. *Земледелие*. 2015;1:45-48).

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A., Kiseleva N.A. International descriptors for species of the genus *Vigna* Savi (Mezhdunarodny klassifikator vidov roda *Vigna* Savi). St. Petersburg: VIR; 2016. [In Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А., Киселева Н.А. Международный классификатор видов рода *Vigna* Savi. Санкт-Петербург: ВИР; 2016).

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Miroshnichenko E.V. Application of multivariate analysis to identify relationships among useful agronomic characters of cowpea and differentiation of cultivars for vegetable and grain uses. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):36-47. [In Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Мирошникенко Е.В. Применение многомерного анализа для выявления взаимосвязей хозяйственно ценных признаков вигны и дифференциации сортов по овощному и зерновому направлениям использования. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):36-47). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-36-47

Chebukin P.A., Burlyayeva M.O. Comparatively study of varieties of vegetable cowpea of different breeding periods in Primoriye region. *Vegetable crops of Russia*. 2016;4(33):36-45. [In Russian] (Чебукин П.А., Бурляева М.О. Сравнительное изучение сортов овощной вигны разных периодов селекции при интродукции в Приморском крае. *Овощи России*. 2016;4(33):36-45).

Chia S.Y., Lim M.W. A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022;1257:012001. DOI: 10.1088/1757-899X/1257/1/012001

Dow El-Madina I.M., Hall A.E. Flowering of contrasting cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes under different temperatures and photoperiods. *Field Crops Research*. 1986;14:87-104. DOI: 10.1016/0378-4290(86)90049-3

Fanourakis D., Aliniaefard S., Sellin A., Giday H., Körner O.; Nejad A.R., Delis C., Bouranis D., Koubouris G., Kam-Bourakis E., Nikoloudakis N., Tsaniklidis G. Stomatal behavior following mid- or long-term exposure to high relative air humidity: A review. *Plant Physiology et Biochemistry* 2020;153:92-105. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.05.024

Fortunatova O.K. The dependence of plant height on geographical factors of growth. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1928;19(1):385-466. [In Russian] (Фортулатова О.К. Зависимость высоты растений от географических факторов произрастания. *Труды по прикладной ботанике, селекции и генетике*. 1928;19(1):385-466).

Gerrano A.S., Adebola P.O., Jansen van Rensburg W.S., Laurie S.M. Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. *South African Journal of Plant and Soil*. 2015;32(3):165-174. DOI: 10.1080/02571862.2015.1014435

Gurkina M.V. Evaluation of the collection samples of the sparge tire as an initial material for selection in the Astrakhan region. *Vestnik of Prikaspiya*. 2018;3(22):27-32. [In Russian] (Гуркина М.В. Оценка коллекционных образцов спаржевой вигны как исходного материала для селекции в Астраханской области. *Вестник Прикаспия*. 2018;3(22):27-32).

Gurkina M.V. Variability and correlations of economically valuable traits in cowpea from the VIR collection in the environments of Astrakhan provincer. *Proceedings on Applied Botany,*

- Genetics and Breeding*. 2019;180(1):59-65. [In Russian] (Гуркина М.В. Изменчивость и связи хозяйственно ценных признаков спаржевой вигны из коллекции ВИР в условиях Астраханской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):59-65). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-59-65
- Huxley P.A., Summerfield R.J. Effects of daylength and day/night temperatures on growth and seed yield of cowpea cv. K 2809 grown in controlled environments *Annals of Applied Biology*. 1976;83(2):259-271. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1976.tb00605.x>
- Huxley P.A., Summerfield R.J., Hughes A.P. Growth and development of soy-abean cv. TK5 as affected by tropical daylengths, day/night temperatures and nitrogen nutrition. *Annals of Applied Biology*. 1976;82(1):117-133. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1976.tb01679.x
- Inouye J., Shanmugasundaram S., Masuyama T. Effects of temperature and daylength soybean on the flowering some photo-insensitive varieties. *Japanese journal of tropical agriculture*. 1979;22(4):167-171. DOI: 10.11248/JSTA1957.22.167
- Ivanter E.V., Korosov A.V. Introduction to quantitative biology (Vvedeniye v kolichestvennyu biologiyu). Petrozavodsk: PetrGU; 2011 [In Russian] (Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: ПетрГУ; 2011).
- Kondykov I.V., Zotikov V.I., Zelenov A.N., Kondykova N.N., Uvarov V.N. Biology and selection of determinant form of pea. Orel: Kartush; 2006 [In Russian] (Кондыков И.В., Зотиков В.И., Зеленов А.Н., Кондыкова Н.Н., Уваров В.Н. Биология и селекция детерминантных форм гороха. Орел: Картуш; 2006).
- Krylova E.A., Khlestkina E.K., Burlyaeva M.O. Influence of air humidity on variability of morphological features of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. in artificial conditions. *Ecological genetics*. 2022;20(3):215-229. [In Russian] (Крылова Е.А., Хлесткина Е.К., Бурляева М.О. Влияние влажности воздуха на изменчивость морфологических признаков *Vigna unguiculata* (L.) Walp. в искусственных условиях. *Экологическая генетика*. 2022;20(3):215-229). DOI: 10.17816/ecogen108877
- Li X., Zhang P., Liu J., Wang H., Liu J., Li H., Xie H., Wang Q., Li L., Zhang S., Huang L., Liu L., Qin P. Integrated Metabolomic and Transcriptomic Analysis of the Quinoa Seedling Response to High Relative Humidity Stress. *Biomolecules*. 2023;3:1352. DOI: 10.3390/biom13091352
- Luzina Z.A. About the geographical variability of biological and economic characteristics of lentils. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1962;34(1):164-175. [In Russian] (Лузина З.А. О географической изменчивости биологических и хозяйственных признаков чечевицы. *Труды по прикладной ботанике, селекции и генетике*. 1962;34(1):164-175).
- Methodology for state crop variety trials. First issue. General provisions (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kultur. Vypusk pervy. Obshchaya chast). Moscow: Gossortkomissiya; 2019. [In Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. Москва: Госсортокмиссия; 2019). URL: https://gossortrf.ru/upload/2019/08/metodika_1.pdf [дата обращения: 25.07.2023].
- Mortensen L.M. Effects of air humidity on growth, flowering, keeping quality and water relations of four short-day green-house species. *Scientia Horticulturae*. 2000;86(4):299-310. DOI: 10.1016/S0304-4238(00)00155-2
- O'Leary J.W., Knecht G.N. The Effect of relative humidity on growth, yield, and water consumption of bean plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1971;96(3):263-265. DOI: 10.21273/JASHS.96.3.263
- Shmidt V.M. Mathematical methods in botany (Matematicheskiye metody v botanike). Leningrad: Publishing house of Leningrad State University; 1984. [In Russian] (Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Ленинград: Изд-во ЛГУ; 1984).
- Specialized datasets for climate research. RIHMI-WDC: [website]. [In Russian] (Специализированные массивы для климатических исследований. ВНИИГМИ-МЦД: [сайт]). URL: <http://aisori-meteo.ru/waisori/index0.xhtml> [дата обращения: 30.01.2024].
- Stoilova T., Pereira G. Assessment of the genetic diversity in a germplasm collection of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) using morphological traits. *African Journal of Agricultural Research*. 2013;82:208-215. DOI:10.5897/AJAR12.1633
- Summerfield R.J., Minchin F.R., Stewart K.A., Ndunguru B.J. Growth, reproductive development and yield of effectively nodulated cowpea plants in contrasting aerial environments. *Annals of Applied Biology*. 1978;90:277-291. DOI:10.1111/j.1744-7348.1978.tb02636.x
- Summerfield R.J., Wien H.C. Effects of photoperiod and air temperature on growth and yield of economic legumes. In: R.J. Summerfield, A.H. Bunting (eds). *Advances in legumes science*. Royal Botanic Gardens, Kew; 1980. p.17-36.
- Talbot M. Yield variability of crop varieties in the U.K. *The Journal of Agricultural Science*. 1984;102(2):315-321. DOI: 10.1017/S0021859600042635
- Vavilov N.I. Geographical variability of plants. *Nauchnoe slovo*. 1928;1:23-33. [In Russian] (Вавилов Н.И. Географическая изменчивость растений. *Научное слово*. 1928;1:23-33).
- Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.V., Burlyaeva 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: methodological guidelines. M.A. Vishnyakova (ed.). 2nd ed. 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., Яньков И.И., Булынтцев С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: (методические указания). 2-е изд. / под ред. М.А. Вишняковой. Санкт-Петербург: ВИР; 2018).
- Weather and climate: reference and information portal (Pogoda i klimat: spravочно-informatsionnyy portal). 2024. [In Russian] (Погода и климат: справочно-информационный портал. 2024). URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> [дата обращения: 20.01.2024].
- Wien H.C., Summerfield R.J. Adaptation of cowpeas in West Africa: effects of photoperiod and temperature responses in cultivars of diverse origin. In: R.J. Summerfield, A.H. Bunting (eds). *Advances in legumes science*. Royal Botanic Gardens, Kew; 1980. p.405-417.
- Zhuchenko A.A. Adaptive Potential of Cultivated Plants (genetic and ecological bases). Chisinau: Stiinta, 1988. [In Russian] (Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинев: Штиинца, 1988).

Информация об авторах

Екатерина Александровна Крылова, и.о. старшего научного сотрудника, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, e.krylova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4917-6862>

Ольга Александровна Чунихина, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов имени Н.И. Вавилова (ВИР), Дальневосточная опытная станция – филиал ВИР, 690024 Россия, Владивосток, ул. Вавилова, 9, chunikhina_o@mail.ru

Александр Петрович Бойко, доктор сельскохозяйственных наук, директор станции, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов имени Н.И. Вавилова (ВИР), Адлерская опытная станция – филиал ВИР, 354340 Россия, Сочи, ул. Ленина, 95, aos.vir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1510-8546>

Елена Викторовна Мирошниченко, директор станции, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов имени Н.И. Вавилова (ВИР), Астраханская опытная станция – филиал ВИР, 416462 Россия, Астраханская обл., Приволжский район, с. Яксатово, aos_vir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3171-4968>

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Марина Олеговна Бурляева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, m.burlyeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Information about the authors

Ekaterina A. Krylova, Acting Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, e.krylova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4917-6862>

Olga A. Chunikhina, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Far Eastern Experimental Station of VIR, 9, Vavilova Street, Vladivostok, 690024 Russia, chunikhina_o@mail.ru

Aleksander P. Boyko, Dr. Sci. (Agronomy), Station Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Adler Experimental Station of VIR, 95, Lenina Street, Sochi, 354340 Russia, aos.vir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1510-8546>

Elena V. Miroshnichenko, Station Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Astrakhan Experimental Station of VIR, village Yaksatovo, Astrakhan region, 416162 Russia, aos_vir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3171-4968>

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the Russian Academy of Sciences (RAS), Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Marina O. Burlyeva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, m.burlyeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

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 20.04.2024; одобрена после рецензирования 20.05.2024; принята к публикации 20.06.2024.

The article was submitted on 20.04.2024; approved after reviewing on 20.05.2024; accepted for publication on 20.06.2024.