

DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen340801>

Научная статья



Изменчивость продуктивности образцов арахиса (*Arachis hypogaea* L.) при эколого-географическом испытании

В.Д. Бемова^{1, 2}, Т.В. Якушева^{1, 3}, М.Ш. Асфандиярова^{1, 4}, В.А. Гаврилова^{1, 2},
Н.В. Кишлян¹, Л.Ю. Новикова¹

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

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

³ Кубанская опытная станция — филиал Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, п. Ботаника, Краснодарский край, Россия;

⁴ Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, с. Соленое Займище, Астраханская обл., Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Россия входит в число крупнейших стран-покупателей арахиса. В то же время на юге страны ряд зон соответствует требованиям выращивания этой культуры.

Цель — выявление нового исходного материала для селекции арахиса методом эколого-географического испытания коллекционных образцов.

Материалы и методы. В исследовании находилось 30 образцов коллекции арахиса ВИР различного происхождения. Для оценки стабильности продуктивности применяли стандартное отклонение (s), коэффициент вариации (C_v) и коэффициент регрессии на условия среды по Эберхарту и Расселу (β).

Результаты. В результате исследования подтверждена возможность выращивания некоторых образцов арахиса на юге России в современных условиях. Одни образцы более продуктивны и пригодны в качестве исходного материала для условий Краснодарского края (к-283, к-1157), другие — для условий Астраханской области (к-317, к-868). Выявлены пластичные образцы: к-751, к-283, к-626, к-1533 из коллекции ВИР, в том числе сорта Стандарт, Отрадо-кубанский, отмеченные как более продуктивные в двух точках проведения опыта.

Выводы. В контрастных условиях (две географические точки за 3 года изучения) выявлены образцы арахиса, сильно реагирующие на изменения условий среды. Стабильные и пластичные по продуктивности образцы могут служить исходным селекционным материалом. Установлено, что арахис можно возделывать на юге России, а именно в Астраханской области и Краснодарском крае.

Ключевые слова: *Arachis hypogaea* L.; вызреваемость бобов; варьирование; стабильность; пластичность; исходный материал для селекции.

Как цитировать:

Бемова В.Д., Якушева Т.В., Асфандиярова М.Ш., Гаврилова В.А., Кишлян Н.В., Новикова Л.Ю. Изменчивость продуктивности образцов арахиса (*Arachis hypogaea* L.) при эколого-географическом испытании // Экологическая генетика. 2023. Т. 21. № 2. С. 155–165. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen340801>

DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen340801>

Research Article

Variability in the productivity of peanut accessions (*Arachis hypogaea* L.) at ecological-geographical testing

Viktoriya D. Bemova^{1,2}, Tamara V. Yakusheva^{1,3}, Minira Sh. Asfandiyarova^{1,4},
Vera A. Gavrilova^{1,2}, Natalia V. Kishlyan¹, Lyubov Yu. Novikova¹

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

² Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

³ Kuban Experiment Station, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, village Botanika, Krasnodar Region, Russia;

⁴ Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, village Solenoe Zaimishche, Astrakhan Province, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Russia is one of the largest peanut-buying countries. At the same time, in the south of the country, a number of zones meet the requirements for the cultivation of peanuts.

AIM: Identification of a new source material for peanut breeding by the method of ecological and geographical testing of collection samples.

MATERIALS AND METHODS: The work used 30 of peanuts accessions from the VIR collection of various origins. To assess the stability of productivity, standard deviation (s), coefficient of variation (C_v) and regression (β_j) for environmental conditions according to Eberhart and Russell were used.

RESULTS: As a result of the study, the possibility of growing individual varieties of peanuts in the south of the RF under modern conditions was confirmed. It was determined that some samples are more productive and suitable as starting material for the conditions of the Krasnodar Territory (k-283, k-1157), others — for the conditions of the Astrakhan region (k-317, k-868). The accessions of the VIR collection were found to be more productive at 2 points experience, also marked as plasticity k-751, k-283, k-626, k-1533, k-1987.

CONCLUSIONS: In contrasting conditions (two geographical points for 3 years of study), peanuts accessions were identified that strongly react to changes in environmental conditions. Stable and plastic in productivity accessions can serve as the initial breeding material. It has been established that peanuts can be cultivated in the south of the Russian Federation, namely in the Astrakhan Region and the Krasnodar Territory.

Keywords: *Arachis hypogaea* L.; maturation of beans; variation; stability; starting material for selection.

To cite this article:

Bemova VD, Yakusheva TV, Asfandiyarova MSh, Gavrilova VA, Kishlyan NV, Novikova LYu. Variability in the productivity of peanut accessions (*Arachis hypogaea* L.) at ecological-geographical testing. *Ecological genetics*. 2023;21(2):155–165. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen340801>

Received: 14.06.2023

Accepted: 27.06.2023

Published: 30.06.2023

АКТУАЛЬНОСТЬ

Для ускорения темпов селекции и создания сортов и гибридов с более широким адаптивным потенциалом используют эколого-географическую сеть опытных станций и сортоиспытательных участков. Н.И. Вавилов подчеркивал, что необъятный простор и разнообразие условий нашей страны неизбежно приводят исследователя к географическому подходу в решении селекционных задач [1]. За счет использования эколого-географической сети сотрудникам ВИРа удалось оценить потенциальную урожайность и экологическую устойчивость большого числа перспективных сортов и выделить доноры по важнейшим признакам: устойчивости к засухе, холоду, различным грибам, бактериям, вирусам, насекомым и др. Потепление климата привело к осеврению многих культур [2, 3]. Было показано, что южные масличные культуры, в том числе арахис, можно успешно выращивать на юге России в условиях Краснодарского края и Астраханской области [4]. Арахис — источник высококачественных белка и жиров. В семенах содержание масла колеблется от 44 до 56 % и 22–30 % белка [5, 6]. Масло арахиса — одно из лучших растительных пищевых масел. Его используют для приготовления салатов, в консервной и масложировой промышленности, фармакологии, а также в технических целях. Арахис как пропашная культура способствует очищению полей от сорняков, а как зернобобовая культура — при обработке семян нитрагинном повышает плодородие почвы за счет усвоения биологического азота воздуха [7]. В России первые попытки возделывания арахиса относятся к 1825 г. В 1940 г. посевы арахиса в стране достигали 23,1 тыс. га. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте масличных культур в Краснодаре были созданы сорта арахиса ВНИИМК 344, ВНИИМК 433, Испанский улучшенный, Краснодарец 14 и др. В начале 2000-х годов возделывание арахиса в нашей стране прекратилось [8]. Прекращена и селекционная работа. В то же время импорт арахиса в Россию превышает 100 тыс. т ежегодно [4].

Арахис — теплолюбивое, влаголюбивое и светолюбивое растение, требовательное к плодородию и рыхлости почвы. Подходящими для выращивания арахиса считаются плодородные, равнинные, песчаные и слабоглинистые черноземы, не образующие корки после дождя [9]. Для развития ему необходимы суммы положительных температур 2600–3500 °С. Арахис является растением южных широт, температурный минимум для прорастания 12–14 °С, культура способна произрастать при температуре воздуха до 37–39 °С, оптимальные температуры 22–28 °С [10, 11]. Критический период по отношению к воде наступает в период массового цветения и плодообразования. В настоящее время арахис выращивается в районах между 40° северной и 40° южной широты, особенно в районах с большим количеством осадков. Две трети мирового количества арахиса выращивают в основном в районах с достаточным

количеством осадков [12]. Коллекция ВИР насчитывает 1823 образца культурного арахиса из 74 стран. В коллекции представлены все сортотипы, описанные в литературе. Образцы коллекции различаются по продуктивности, размеру семян и бобов, количеству семян в бобе, окраске семенной кожуры, вкусовым качествам [13], жирнокислотному составу [14]. Использование мировых генетических ресурсов арахиса будет способствовать возрождению селекционной работы и возделыванию культуры в России.

Эколого-географические испытания позволяют исследовать стабильность и пластичность сортов. Существуют три основные концепции экологической стабильности. Генотип считается стабильным, если: 1) межсредовая вариация мала; 2) ответ на среду параллелен среднему ответу всех генотипов в опыте; 3) остаточная ошибка от регрессии на средовой индекс мала [15].

Важное направление современной селекции растений — создание сортов с высокой продуктивностью и стабильным проявлением этого признака в разных экологических условиях.

Цель — выявление новых перспективных образцов в качестве исходного материала для селекции на юге России по результатам эколого-географических испытаний и изучения коллекционных образцов арахиса по продуктивности в условиях Краснодарского края (Кубанская опытная станция, филиал ВИР — КОС) и Астраханской обл., Нижнее Поволжье (ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» — ПАФНЦ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования хозяйственно ценных признаков было проведено эколого-географическое испытание в двух пунктах, контрастных по климатическим и почвенным условиям — КОС (Краснодарский край; 45,2N, 40,8E) и ПАФНЦ (Астраханская обл.; 46,3N, 44,3E). Климат Астраханской области — засушливый континентальный [16], Краснодарского края в месте эксперимента — умеренный континентальный [17]. КОС расположена в зоне степей, почва — чернозем. Арахис выращивается без полива. ПАФНЦ находится в зоне полупустынь, почвы светло-каштановые, разной степени солонцеватости. Арахис выращивается при поливе. Для проведения эколого-географических испытаний было отобрано 30 образцов коллекции ВИР, различающихся по географическому происхождению, сортотипам, морфологическим признакам бобов и семян и хозяйственно ценным признакам. Посев образцов и анализ признаков выполнены согласно методическим указаниям по изучению арахиса (*Arachis hypogaea* L.) [13]. Получены данные за три года (2019–2021) в двух пунктах (шесть сред). В этой публикации мы обсуждаем изменчивость продуктивности и одного из основных признаков, от которого зависит продуктивность, — вызреваемости. В качестве стандарта использовали районированный сорт Отрадокубанский.

Продуктивность — масса бобов с одного растения — вычисляли как среднее значение по данным 10 растений с делянки. Вызреваемость — это процент развитых (зрелых) бобов на растении, которая рассчитывается по формуле (1):

$$C = \frac{b}{a} \cdot 100, \quad (1)$$

где C — вызреваемость бобов образца; a — общее число бобов на одном растении; b — число зрелых бобов на одном растении.

Для оценки стабильности использовали характеристики продуктивности: стандартное отклонение (s), коэффициент вариации (C_v) и коэффициент регрессии на условия среды по Эберхарту и Расселу (β_i) [15, 18].

Эберхарт и Рассел (1966) [18] предложили регрессионный подход для оценки стабильности. Рассматривается следующая модель (2):

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}, \quad (2)$$

где Y_{ij} — среднее значение урожайности i -го сорта в j -й среде ($i = 1, \dots, v; j = 1, \dots, n$); μ_i — среднее значение i -го сорта по всем средам; β_i — коэффициент регрессии, который измеряет реакцию i -го сорта к изменяющимся условиям; δ_{ij} — отклонение от регрессии i -го сорта в j -й среде; I_j — экологический индекс j -й среды, рассчитываемый по формуле (3):

$$I_j = \frac{\sum_i Y_{ij}}{v} - \frac{\sum_i \sum_j Y_{ij}}{vn}. \quad (3)$$

Коэффициент регрессии β_i является первым параметром стабильности генотипа:

$$b_i = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2}. \quad (4)$$

Второй параметр стабильности — дисперсия отклонения от линии регрессии:

$$S_{d_i}^2 = \frac{\sum_j \delta_{ij}^2}{n-2} - \frac{S_e^2}{r}, \quad (5)$$

где S_e^2 — оценка объединенной ошибки; r — количество повторений. Сумма квадратов отклонений от линии регрессии вычисляется по формуле:

$$\sum_j \delta_{ij}^2 = \left(\sum_j Y_{ij}^2 - \frac{(\sum_j Y_{ij})^2}{n} \right) - \frac{(\sum_j Y_{ij} I_j)^2}{\sum_j I_j^2}. \quad (6)$$

Генотип с $\beta_i = 1, S_{d_i}^2 = 0$ считается стабильным.

Коэффициент регрессии служит мерой фенотипической стабильности. Считается, что если $\beta_i > 1$, то сорт обладает повышенной чувствительностью к изменению среды (стабильность ниже средней); если β_i близок к 1 — сорт среднестабильен; при $\beta_i < 1$ стабильность выше средней; $\beta_i = 0$ — сорт абсолютно фенотипически стабилен [19]. В работе использован однофакторный дисперсионный анализ для сравнения продуктивности в шести средах, чтобы показать контрастность климатических и почвенных условий двух точек проведения опыта в Краснодарском крае (КОС) и в Астраханской области (ПАФНЦ).

Анализ вызреваемости проводили с применением непараметрического критерия Краскала – Уоллиса, поскольку встречались значения этого показателя, близкие к 100 %.

Погодные условия эксперимента

Источниками метеоданных для ПАФНЦ является метеостанция Черный Яр (код ВМО 34578, 15 км от места опыта) и метеопункт КОС, расположенный на полях Кубанской станции. В годы эксперимента средняя сумма положительных температур в ПАФНЦ составила 3845 °С, в КОС 3756 °С, достоверных различий между пунктами наблюдений не зафиксировано ($p = 0,413$). Значительные различия ($p = 0,018$) средних за три года наблюдались по суммам осадков: в ПАФНЦ средняя сумма осадков за период с температурами выше 10 °С была достоверно ($p = 0,018$) ниже, 120 мм, чем в КОС, 387 мм (рис. 1).

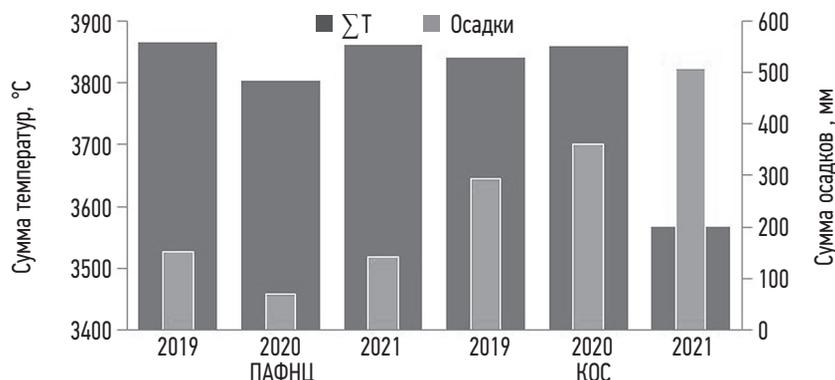


Рис. 1. Агрометеорологические условия эксперимента — сумма положительных температур выше 10 °С и сумма осадков за период с температурами выше 10 °С в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре (ПАФНЦ) и на Кубанской опытной станции (КОС) в 2019–2021 гг.

Fig. 1. The agrometeorological conditions of the experiment are the sum of positive temperatures above 10°C and the sum of precipitation for the period with temperatures above 10°C at the Kuban Experimental Station and at the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences in 2019–2021

РЕЗУЛЬТАТЫ

При использовании однофакторного дисперсионного анализа выявлено, что фактор «среда» (под которым понимаются 6 сочетаний пункт/год) оказал влияние на продуктивность на уровне значимости $p < 0,001$ (рис. 2, табл. 1).

Наибольшая средняя продуктивность (по критерию Тьюки) была на КОС в 2019 г. (44,9 г/растение) и в 2021 г. (41,6 г/растение), что было обусловлено достаточным количеством осадков в июне. Продуктивность в остальных вариантах была достоверно ниже: КОС в 2020 г. — 17,8 г/растение; ПАФНЦ в 2021 г. — 15,8 г/растение; ПАФНЦ в 2019 г. — 22,6 г/растение; ПАФНЦ в 2020 г. — 27,5 г/растение. Продуктивность в КОС характеризовалась значительной межсортовой вариабельностью. Средняя

продуктивность в ПАФНЦ составила 21,9 г/растение, в КОС — 34,8 г/растение, но различия между ними были недостоверны на фоне значительной межгодовой вариабельности, $p = 0,235$ (табл. 2).

Продуктивность в ПАФНЦ и КОС не коррелировала, $r = -0,02$ (рис. 3).

Опыт в столь контрастных условиях позволил выявить пластичные и стабильные по продуктивности генотипы (табл. 3). Продуктивность — сильно варьирующий признак. Коэффициент регрессии на условия среды β_i [формула (4)] варьировал в выборке 30 образцов от $-0,1$ до $3,2$. Остаточная дисперсия регрессии на средовой индекс $S_{d_i}^2$ [формула (5)] варьировала от $3,1$ до $1102,6$, в среднем составила $115,8$.

Наиболее стабильные по Эберхарту и Расселу генотипы имеют $\beta_i = 1$ и $S_{d_i}^2 = 0$. С учетом минимальности

Таблица 1. Однофакторный дисперсионный анализ влияния шести сред на продуктивность 30 образцов арахиса

Table 1. One-factor analysis of variance of the influence of six media on the productivity of 30 samples of peanuts

Показатель	SS		df		MS		F	p
	Effect	Error	Effect	Error	Effect	Error		
Продуктивность, г	22627,65	31382,07	5	174	4525,53	180,36	25,092	$5 \cdot 10^{-19}$

Таблица 2. Однофакторный дисперсионный анализ влияния двух пунктов исследования на продуктивность и вызреваемость бобов образцов арахиса за 3 года исследования

Table 2. One-factor analysis of variance of the effect of two points of the study on the productivity and ripeness of beans of peanut samples for 3 years of the study

Показатель	SS		df		MS		F	p
	Effect	Error	Effect	Error	Effect	Error		
Продуктивность, г	247,65	506,61	1	4	247,65	126,65	1,955	0,235

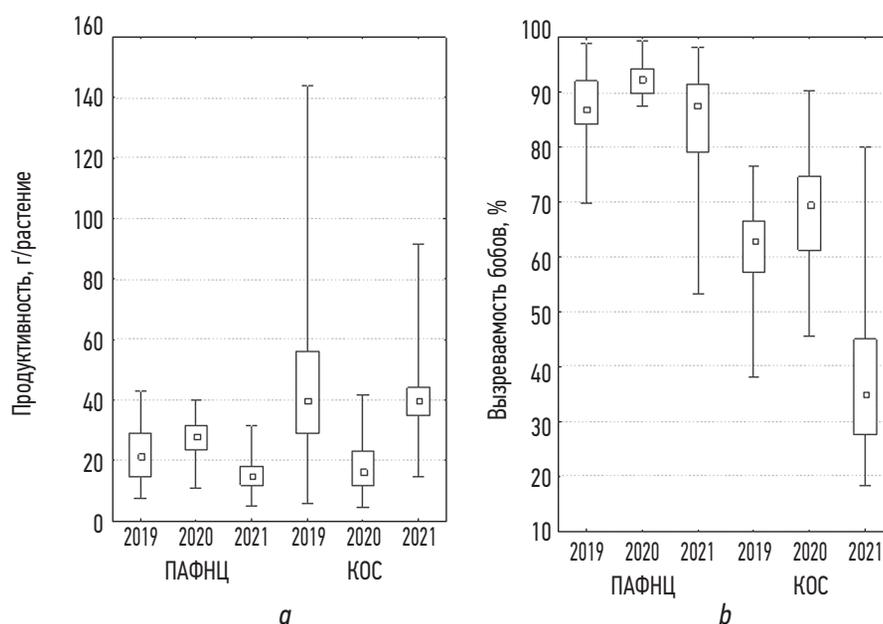


Рис. 2. Агробиологические показатели 30 образцов арахиса при выращивании в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре (ПАФНЦ) и на Кубанской опытной станции (КОС) в 2019–2021 гг.: *a* — продуктивность; *b* — вызреваемость бобов. Показаны: минимальное, максимальное значения, квартили, медиана

Fig. 2. Agrobiological indicators of 30 samples of peanuts grown at the Caspian Agrarian Federal Scientific Center and at the Kuban Experimental Station in 2019–2021: *a* — productivity; *b* — ripening of beans. Shown are: minimum, maximum values, quantiles, median

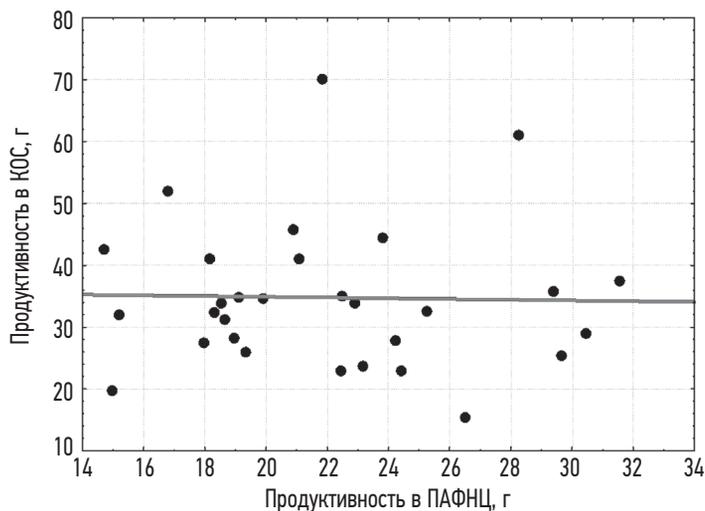


Рис. 3. Корреляция продуктивности образцов арахиса на Кубанской опытной станции (КОС) и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре (ПАФНЦ). Сплошная линия — линия регрессии

Fig. 3. Correlation of productivity of peanut samples at the Kuban Experimental Station (CBS) and at the Caspian Agrarian Federal Scientific Center (PAFSC). Solid line — regression line

коэффициента вариации (C_v) к таким могут быть отнесены генотипы: к-178, к-24, к-1697, к-300, к-175, к-793, к-433, к-179.

Образцы, сильно реагирующие на условия среды, имеют высокие значения β_r . К таким относятся 8 образцов верхнего квартиля распределения с β_r от 1,3 до 3,2: к-283, к-1533, к-46, к-1157, к-626, к-1987, к-41, среди них есть и показавшие тенденцию к высокой продуктивности (к-1987 — сорт-стандарт Отрадокубанский) на КОС. Такие генотипы лучше проявляют себя в узком диапазоне благоприятных сред, но уменьшают урожайность при отклонении от узкой зоны оптимума [15, 20–22].

Различия между шестью средами исследования по вызреваемости были достоверны ($p < 0,001$). Наблюдаются также достоверные различия пунктов по результатам трех лет исследований ($p = 0,032$), которые составили в среднем в ПАФНЦ 88,2 %, в КОС 55,7 %. Высокая вызреваемость в ПАФНЦ, вероятно, обусловлена выращиванием при поливе, а также механическим составом суглинистых почв, так как созревание бобов арахиса происходит в земле (после окончания цветения образуется гинофор, с помощью которого зародыш перемещается из надземного положения в подземное). Наибольшие значения вызреваемости отмечены в обоих пунктах в 2020 г. (табл. 3), что связано с наименьшим количеством осадков в период созревания, в августе–октябре (рис. 1). Вызревание бобов составило в 2020 г. в ПАФНЦ 92,5 %, что достоверно не отличается от 2019 г. (86,9 %), но выше значений этого показателя во все годы эксперимента в КОС (2019 г. — 61,6 %, 2020 г. — 68,8 %, 2021 г. — 36,7 %). По вызреваемости нет достоверных различий между образцами ни в КОС ($p = 0,997$), ни в ПАФНЦ ($p = 0,226$). Однако в качестве наиболее перспективных могут быть предложены образцы, показавшие наилучшие значения в данном опыте (табл. 4).

В ПАФНЦ показатель вызреваемости (85,1–92,5 %) во все годы был выше, чем в КОС (36,7–68,8 %). Высокие результаты в ПАФНЦ (более 90 %) можно отметить у образцов к-3, к-24, к-175, к-283, к-300, к-317, к-416, к-626, к-793, к-903, к-939, к-1533. Коэффициент вариации этого признака ниже в ПАФНЦ. Высокая вызреваемость в двух точках исследования отмечена для образцов: к-3 (США), к-175 (Бразилия), к-300 (Трансвааль), к-317 (Южная Родезия), к-626 (Индия), к-793 (Россия) и к-1533 (Мадагаскар).

ОБСУЖДЕНИЕ

В статье представлены данные по изучению коллекционных образцов арахиса по пластичности и стабильности признака продуктивности с использованием метода Эберхарта и Рассела [18]. Опыт в контрастных условиях (две географические точки за три года изучения) позволил выявить пластичные и стабильные по продуктивности генотипы. Стабильность по продуктивности — селекционно значимый признак. Выявлено 8 наиболее стабильных образцов арахиса: к-24 (Узбекистан), к-175 (Бразилия), к-178, к-179 (США), к-300 (Трансвааль), к-433 (Сенегал), к-793 (Россия), к-1697 (Вьетнам). Образцы, сильно реагирующие на условия среды: к-41, к-46 (США), к-283 (Узбекистан), к-626 (Индия), к-1157 (Камерун), к-1533 (Мадагаскар), к-1987 (Отрадокубанский, Россия). Выявлены пластичные образцы: к-283 (Узбекистан), к-626 (Индия), к-751 (Португалия), к-1533 (Мадагаскар), к-1987 (Отрадокубанский, Россия). Пластичность сорта — это свойство формировать удовлетворительный урожай при выращивании в разных условиях.

Для изучения экологической пластичности и стабильности по методу Эберхарта и Рассела [18] использовали зерновые, бобовые и другие культуры. В статье Л.Г. Белявской и соавт. [23] представлен анализ экологической

Таблица 3. Стабильность продуктивности образцов арахиса в разных пунктах исследования

Table 3. Productivity stability of peanut samples at different points of the study

Номер по каталогу	Происхождение	Продуктивность			$C_v, \%$	β_i	$S_{d_i}^2$
		ПАФНЦ	КОС	средняя			
53	США	14,9 ± 1,9	19,9 ± 7,2	17,4 ± 3,5	49,3	-0,1	91,4
868	Уганда	29,4 ± 3,3	35,9 ± 3,8	32,6 ± 2,7	20,0	0,0	53,1
1026	Мали	26,5 ± 5,9	15,5 ± 3,9	21,0 ± 4,0	46,7	0,1	118,6
317	Зимбабве	29,6 ± 5,7	25,5 ± 7,6	27,6 ± 4,3	38,5	0,2	131,7
319	Узбекистан	19,3 ± 5,7	26,1 ± 2,6	22,7 ± 3,2	34,4	0,4	39,7
416	Аргентина	22,4 ± 6,6	23,1 ± 5,2	22,8 ± 3,8	40,4	0,4	80,8
1547	Мадагаскар	22,9 ± 10,0	34,0 ± 4,0	28,4 ± 5,4	46,7	0,5	170,2
903	Танзания	24,4 ± 4,9	23,1 ± 6,3	23,7 ± 3,6	36,7	0,5	45,1
939	Бразилия	23,1 ± 8,5	23,8 ± 6,9	23,5 ± 4,9	51,3	0,6	104,2
354	Узбекистан	17,9 ± 4,0	27,6 ± 7,7	22,8 ± 4,4	48,0	0,7	62,8
3	США	18,9 ± 5,1	28,3 ± 7,4	23,6 ± 4,5	46,9	0,7	62,3
178	США	25,2 ± 6,6	32,7 ± 6,3	29,0 ± 4,4	37,2	0,8	27,3
1027	Мали	30,4 ± 7,8	29,1 ± 14,7	29,8 ± 7,4	61,2	0,8	281,7
24	Узбекистан	15,2 ± 4,7	32,2 ± 6,2	23,7 ± 5,1	53,4	0,9	39,9
1697	Вьетнам	19,1 ± 3,2	34,9 ± 7,1	27,0 ± 4,9	44,9	0,9	25,8
300	Трансвааль	18,6 ± 7,2	31,3 ± 7,6	25,0 ± 5,5	53,7	1,0	52,8
175	Бразилия	22,5 ± 1,9	35,1 ± 11,3	28,8 ± 5,9	50,0	1,0	84,3
793	Россия	31,5 ± 2,0	37,6 ± 13,0	34,6 ± 6,0	42,9	1,0	89,5
433	Сенегал	18,3 ± 3,2	32,5 ± 9,0	25,4 ± 5,3	51,2	1,1	3,1
202	Сев. Манчжурия	23,8 ± 2,6	44,6 ± 11,9	34,2 ± 7,1	51,2	1,1	134,2
597	Канада	24,2 ± 7,8	27,9 ± 11,8	26,1 ± 6,4	59,8	1,1	75,3
179	США	19,9 ± 3,0	34,8 ± 10,5	27,3 ± 5,9	52,9	1,2	7,8
283	Узбекистан	14,7 ± 2,4	42,7 ± 8,8	28,7 ± 7,5	63,8	1,3	84,5
1533	Мадагаскар	18,1 ± 4,8	41,2 ± 14,8	29,7 ± 8,7	71,4	1,5	107,7
751	Португалия	20,9 ± 3,4	45,9 ± 11,3	33,4 ± 7,7	56,4	1,5	29,6
46	США	18,5 ± 7,3	34,0 ± 14,5	26,2 ± 8,0	75,1	1,6	25,9
1157	Камерун	16,8 ± 6,8	52,1 ± 9,5	34,4 ± 9,5	67,3	1,7	109,3
626	Индия	21,1 ± 4,4	41,2 ± 16,9	31,1 ± 9,0	70,8	1,7	68,6
1987	Россия	28,2 ± 0,6	61,1 ± 25,0	44,7 ± 13,4	73,5	2,5	163,5
41	США	21,8 ± 5,6	70,2 ± 37,4	46,0 ± 20,1	106,9	3,2	1102,6

Примечание. КОС — Кубанская опытная станция; ПАФНЦ — Прикаспийский аграрный федеральный научный центр; C_v — коэффициент вариации; β_i — коэффициент регрессии продуктивности на среду исследования; $S_{d_i}^2$ — остаточная дисперсия регрессии на средовой индекс. Образцы отсортированы в порядке возрастания β_i .

Таблица 4. Вызреваемость образцов арахиса (%) в контрастных климатических условиях в разных пунктах исследования в 2019–2021 гг.

Table 4. The maturation of peanut samples (%) in contrasting climatic conditions at different points of the study in 2019–2021

Номер по каталогу	Происхождение	ПАФНЦ		КОС	
		среднее	C_v , %	среднее	C_v , %
3	США	92,7 ± 3,4	6,4	64,0 ± 10,0	27,2
24	Узбекистан	91,0 ± 1,7	3,3	46,8 ± 13,9	51,5
41	США	81,5 ± 6,0	12,7	47,8 ± 5,5	20,1
46	США	83,5 ± 5,0	10,5	46,5 ± 1,9	7,2
53	США	86,6 ± 3,7	7,4	56,2 ± 8,8	27,2
175	Бразилия	95,3 ± 3,4	6,1	56,1 ± 4,8	14,7
178	США	83,5 ± 6,0	12,4	47,9 ± 14,8	53,5
179	США	86,5 ± 4,5	9,0	58,3 ± 11,9	35,2
202	Сев. Манчжурия	78,9 ± 5,4	11,8	60,5 ± 12,2	35,0
283	Узбекистан	91,4 ± 2,6	4,9	54,0 ± 15,5	49,8
300	Трансвааль	95,3 ± 2,2	4,0	64,4 ± 17,9	48,1
317	Южная Родезия	90,1 ± 1,1	2,0	62,1 ± 6,2	17,2
319	Узбекистан	86,4 ± 3,1	6,2	61,9 ± 11,9	33,2
354	Узбекистан	86,1 ± 1,9	3,8	54,8 ± 13,6	43,1
416	Аргентина	90,8 ± 3,0	5,8	47,9 ± 12,1	43,6
433	Сенегал	88,5 ± 4,1	8,0	55,3 ± 13,9	43,4
597	Канада	80,7 ± 13,8	29,5	68,3 ± 4,6	11,7
626	Индия	92,5 ± 3,5	6,6	60,3 ± 18,1	52,0
751	Португалия	79,3 ± 4,6	10,1	49,4 ± 15,3	53,8
793	Россия	94,6 ± 1,3	2,4	59,7 ± 9,9	28,8
868	Уганда	88,9 ± 1,0	2,0	63,6 ± 14,1	38,5
903	Танзания	91,9 ± 2,4	4,4	56,9 ± 17,0	51,7
939	Бразилия	91,2 ± 3,3	6,4	53,5 ± 12,5	40,5
1026	Мали	89,6 ± 4,1	8,0	52,7 ± 6,1	20,0
1027	Мали	86,2 ± 5,3	10,7	51,3 ± 10,4	35,1
1157	Камерун	85,4 ± 3,5	7,1	56,9 ± 9,6	29,2
1533	Мадагаскар	92,4 ± 0,5	0,9	56,5 ± 9,9	30,3
1547	Мадагаскар	88,6 ± 0,4	0,8	56,8 ± 17,5	53,5
1697	Вьетнам	86,7 ± 2,6	5,3	51,8 ± 9,6	32,0
1987	Россия	88,6 ± 3,0	5,8	48,0 ± 7,1	25,6

Примечание. Приведены средние показатели за 3 года. КОС — Кубанская опытная станция; ПАФНЦ — Прикаспийский аграрный федеральный научный центр

пластичности сортов сои по Эберхарту и Расселу с применением коэффициента регрессии в разных климатических условиях Украины, что позволило определить регионы, наиболее благоприятные для выращивания новых сортов. Р.А. Биктимиров и А.А. Низаева [24] изучали экологическую пластичность и стабильность урожайности зернового сорго в условиях Предуральской степи Республики Башкортостан. Опыт проведен в одной точке выращивания, но в разные годы (2015–2019). Метеоусловия

в годы исследований по температурному и водному режимам были различны, что позволило оценить линии в контрастных условиях возделывания. Исходя из комплексной оценки по величине экологической пластичности и стабильности выявлены высокоинтенсивные сорта, характеризующиеся стабильной урожайностью. С использованием этих же методов [15, 18] оценивали параметры пластичности и стабильности для урожайности и продуктивности сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны

в Московской и Рязанской областях [25]. На основании полученных данных определены сорта ячменя с более сильной отзывчивостью на изменение условий и сорта с низкой способностью отзываться на улучшение условий выращивания. Изучалась стабильность селекционно значимых признаков образцов овса и ячменя в контрастных условиях выращивания Санкт-Петербурга и Тамбовской области [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования установлено, что для возделывания арахиса подходят южные регионы России, а именно Астраханская область и Краснодарский край. Выделены образцы арахиса, которые более продуктивны в Астраханской области, другие — в Краснодарском крае. Образцы к-317 и к-868 отмечены как самые высокопродуктивные в ПАФНЦ, а образцы к-283 и к-1157 показали высокую продуктивность на КОС. На орошаемых землях урожай более стабилен, но продуктивность отдельных образцов выше на более плодородных почвах Краснодарского края. Установлено, что условия большей увлажненности КОС способствовали меньшей вызреваемости бобов, при этом продуктивность достоверно не различалась. Продуктивность образцов арахиса КОС в 2019 и 2021 гг. достигала существенно больших значений, чем в других исследованных средах и характеризовалась в эти годы большим размахом изменчивости между образцами.

Выявлены стабильные по продуктивности генотипы, которые могут служить исходным материалом для селекции новых отечественных сортов арахиса: к-24 (Узбекистан), к-175 (Бразилия), к-178, к-179 (США), к-300 (Трансвааль), к-433 (Сенегал), к-793 (Россия), к-1697 (Вьетнам).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарности. Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий».

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: В.Д. Бемова — подготовка полевого опыта, сбор первичных данных, обработка данных полевых исследований, анализ и обсуж-

дение полученных данных, написание текста, библиография; Т.В. Якушева — посев образцов арахиса на Кубанской опытной станции — филиале ВИР, уход за посевами, уборка, сбор первичных данных; М.Ш. Асфандиярова — посев образцов арахиса в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН, уход за посевами, уборка, сбор первичных данных; В.А. Гаврилова — концепция и дизайн исследования, планирование полевых опытов, написание текста; Н.В. Кишлян — подготовка полевого опыта, анализ и обсуждение полученных данных, обзор литературы; Л.Ю. Новикова — математическая обработка данных, их анализ, написание текста.

Источник финансирования. Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант № _21-14-00050_).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. The studies were carried out using the equipment of the resource center of the Science Park of Saint Petersburg State University “Development of molecular and cellular technologies”.

Authors' contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. Personal contribution of the authors: V.D. Bemova — preparation of field experience, collection of primary data, processing of field research data, analysis and discussion of the data obtained, writing the text, bibliography; T.V. Yakusheva — sowing of peanut samples at the Kuban Experimental Station — branch of VIR, care of crops, harvesting, collection of primary data; M.Sh. Asfandiyarova — sowing peanut samples in the Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, caring for crops, harvesting, collecting primary data; V.A. Gavrilova — concept and design of the study, planning of field experiments, writing the text; N.V. Kishlyan — preparation of the field experiment, analysis and discussion of the data obtained, literature review; L.Yu. Novikova — mathematical data processing, analysis, text writing.

Funding source. This work was supported by the Russian Science Foundation grant No. _21-14-00050_.

Competing interests. The authors declare that there is no potential conflict of interest requiring disclosure in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vavilov N.I. The new systematics of cultivated plants. Oxford: The Clarendon Press, 1940. P. 549–566.
2. Анащенко А.В., Ростова Н.С., Гаврилова В.А., и др. Эколого-географическая изменчивость признаков у сортов рапса и сурепицы // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 144. С. 112–128.
3. Сеферова И.В., Вишнякова М.А. Генофонд сои из коллекции ВИР для продвижения агрономического ареала культуры к северу // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. Т. 27, № 3. С. 35–41. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11030
4. Туз Р.К., Подольная Л.П., Асфандиярова М.Ш., и др. Изменчивость образцов арахиса селекции ВНИИМК в условиях

- Астраханской области // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК. 2018. № 4. С. 64–67. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-64-67
5. Settaluri V.S., Kandala C.V.K., Puppala N., Sundaram J. Peanuts and their nutritional aspects — A review // *Food Nutr Sci.* 2012. Vol. 12, No. 3. P. 1644–1650. DOI: 10.4236/fns.2012.312215
6. Кишлян Н.В., Бемова В.Д., Матвеева Т.В., Гаврилова В.А. Биологические особенности и возделывание арахиса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 1. С. 119–127. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-119
7. Айтпаева А.А., Локтионова Е.Г., Пучков М.Ю., и др. Математическое моделирование как основа программирования урожая арахиса, выращиваемого в структуре травянопропашных севооборотов аридной зоны // Известия НВ АУК. 2023. № 1. С. 499–508. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-55.
8. Обыдало Д.И., Огаркова И.А. Арахис: из тропиков — в умеренные широты // История научных исследований во ВНИИМК за 90 лет. Краснодар. 2002. С. 88–94.
9. Сейидалиев Н.Я., Намазова Р.В. Влияние технологий возделывания на структурные показатели арахиса // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8, № 4. С. 184–191. DOI: 10.33619/2414-2948/77/21
10. Белолубцев А.И., Сенников В.А. Биоклиматический потенциал экосистем: Учебное пособие. Москва: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 160 с.
11. Wei S., Li K., Yang Y., et al. Comprehensive climatic suitability evaluation of peanut in Huang-Huai-Hai region under the background of climate change // *Sci Rep.* 2020. Vol. 12. ID 11350. DOI: 10.1038/s41598-022-15465-3
12. Мамедов Х.И. Изучение и использование в селекции генотипов, обнаруженных в разных агроэкологических районах Азербайджана: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Баку, 2009.
13. Вахрушева Т.Е. Изучение коллекции арахиса (*Arachis hipogaea* L.). Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР, 1995. 42 с.
14. GavriloVA V., Shelenga T., Porokhvinova E., et al. The diversity of fatty acid composition in traditional and rare oil crops cultivated in Russia // *Biol Commun.* 2020. Vol. 65, No. 1. P. 68–81. DOI: 10.21638/spbu03.2020.106
15. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Генотип и среда в селекции растений. Минск: Наука и техника, 1989. 192 с.
16. Агроклиматические ресурсы Астраханской области / под ред. З.М. Русеевой, Ш.Ш. Народецкой, Б.В. Дунаевского, и др. Ленинград: Гидрометеиздат. 1974. 136 с.
17. Агроклиматические ресурсы Краснодарского края / под ред. З.М. Русеевой, Ш.Ш. Народецкой, Б.В. Дунаевского, и др. Ленинград: Гидрометеиздат. 1975. 276 с.
18. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Sci.* 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40. DOI 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
19. Мергалимов Д.Б., Бекенова Л.В., Шаманин В.П. Оценка экологической пластичности сортов ярового ячменя в условиях северо-востока Казахстана // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–2. С. 287.
20. Пакудин В.З. Параметры экологической пластичности сортов и гибридов. Теория отбора в популяциях растений / под ред. Л.В. Хотылева. Новосибирск: Наука, 1976. С. 178–189.
21. Мальчиков П.Н., Сидоренко В.С., Мясникова М.Г., и др. Оценка в эколого-географическом эксперименте адаптивности генотипов твердой пшеницы и дифференцирующей способности условий среды (годы, пункты) // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 2. С. 120–126.
22. Лоскутов И.Г., Новикова Л.Ю., Ковалева О.Н., и др. Эколого-географические подходы к изучению генетического разнообразия ячменя и овса из коллекции ВИР // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 1. С. 89–102. DOI: 10.17816/ecogen16128
23. Белявская Л.Г., Белявская Ю.В., Диянова А.А. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов сои // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 4. С. 43–48. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11048
24. Биктимиров Р.А., Низаева А.А. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов зернового сорго в условиях Республики Башкортостан // Зерновое хозяйство России. 2021. Т. 1, № 1. С. 39–43. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-39-43
25. Ерошенко Л.М., Ромахин М.М., Ерошенко Н.А., и др. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеостатичность сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 1. С. 38–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-38-47

REFERENCES

1. Vavilov NI. *The new systematics of cultivated plants*. Oxford: The Clarendon Press, 1940. P. 549–566.
2. Anashchenko AV, Rostova NS, GavriloVA VA, et al. Eco-geographical variability of rape and turnip rape. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 1991;144:112–128. (In Russ.)
3. Seferova IV, Vishnyakova MA. Soybean genpool from VIR collection for the promotion of agronomical area of the crop to the North. *Legumes and great crops*. 2018;(3):35–41. (In Russ.) DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11030
4. Tuz RK, Podolnaya LP, Asfandiyarova MSh, et al. Variability of peanut samples of VNIIMK's breeding in the conditions of the Astrakhan Region. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskii byulleten' VNIIMK*. 2018;(4):64–67. (In Russ.) DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-64-67
5. Settaluri VS, Kandala CVK, Puppala N, Sundaram J. Peanuts and their nutritional aspects — A review. *Food Nutr Sci.* 2012;12(3):1644–1650. DOI: 10.4236/fns.2012.312215
6. Kishlyan NV, Bemova VD, Matveeva TV, GavriloVA VA. Biological peculiarities and cultivation of groundnut (a review). *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020;181(1):119–127. (In Russ.) DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-119
7. Aytpaeva AA, Loktionova EG, Puchkov MYu, et al. Mathematical modeling as a basis for programming the harvest of peanuts grown in the structure of grass-rowed cropped rotations of the arid zone. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2023;(1): 499–508. (In Russ.) DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-55.
8. Obydalo DI, Ogarkova IA. Arachis: iz tropikov — v umerennye shirotu. *Istoriya nauchnykh issledovaniy vo VNIIMK za 90 let*. Krasnodar. 2002. P. 88–94. (In Russ.)
9. Seyidaliyev NYa, Namazova RV. Influence of cultivation technologies on structural indicators of peanuts. *Bulletin of science and practice*. 2022;8(4):184–191. (In Russ.) DOI: 10.33619/2414-2948/77/21

10. Belolyubtsev AI, Sennikov VA. *Bioklimaticheskii potentsial ehkositsem: Uchebnoe posobie*. Moscow: RGAU-MSKHA Publ., 2012. 160 p. (In Russ.)
11. Wei S, Li K, Yang Y, et al. Comprehensive climatic suitability evaluation of peanut in Huang-Huai-Hai region under the background of climate change. *Sci Rep*. 2020;12:11350. DOI: 10.1038/s41598-022-15465-3
12. Mamedov HI. *Izuchenie i ispol'zovanie v selektsii genotipov, obnaruzhennykh v raznykh agroekologicheskikh raionakh Azerbaidzhana* [dissertation abstract]. Baku, 2009. (In Russ.)
13. Vakhrusheva TE. *Izuchenie kolleksii arakhisa (Arachis hypogaea L.). Metodicheskie ukazaniya*. Saint Petersburg: VIR, 1995. 42 p. (In Russ.)
14. GavriloVA V, Shelenga T, Porokhovichina E, et al. The diversity of fatty acid composition in traditional and rare oil crops cultivated in Russia. *Biol Commun*. 2020;65(1):68–81. DOI: 10.21638/spbu03.2020.106
15. Kil'chevskii AV, Khotyleva LV. *Genotip i sreda v selektsii rastenii*. Minsk: Nauka i tekhnika, 1989. 192 p. (In Russ.)
16. Ruseeva ZM, Narodetskaya ShSh, Dunaevskii BV, et al editors. *Agroklimaticheskie resursy Astrakhanskoi oblasti*. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1974. 136 p. (In Russ.)
17. Ruseeva ZM, Narodetskaya ShSh, Dunaevskii BV, et al editors. *Agroklimaticheskie resursy Krasnodarskogo kraya*. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1975. 276 p. (In Russ.)
18. Eberhart SA, Russel WA. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci*. 1966;6(1):36–40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X00060010011x
19. Mergalimov DB, Bekenova LV, Shamanin VP. Evaluation of ecological plasticity of the strains and lines of spring barley in north-east Kazakhstan conditions. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(1–2):287. (In Russ.)
20. Pakudin VZ. *Parametry ehkologicheskoi plastichnosti sortov i gibridov. Teoriya otbora v populyatsiyakh rastenii*. Ed. by L.V. Khotylev. Novosibirsk: Nauka. 1976. P. 178–189. (In Russ.)
21. Malchikov PN, Sidorenko VS, Myasnikova MG, et al. Evaluation of ecological and geographic adaptability experiment genotypes of durum wheat and differentiating ability of environmental conditions (years, points). *Legumes and great crops*. 2016;(2):120–126. (In Russ.)
22. Loskutov IG, Novikova LY, Kovaleva ON, et al. Ecological-geographic approaches to the study of genetic diversity of barley and oat from the VIR collection. *Ecological genetics*. 2020;18(1):89–102. (In Russ.) DOI: 10.17816/ecogen16128
23. Bilyavska LG, Belyavskiy YV, Diyanova AA. Estimation of environmental stability and plasticity of soybean varieties. *Legumes and great crops*. 2018;(4):43–48. (In Russ.) DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11048
24. Biktimirov RA, Nizaeva AA. The estimation of environmental stability and adaptability of the grain sorghum varieties in the Republic of Bashkortostan. *Grain Economy of Russia*. 2021;1(1):39–43. (In Russ.) DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-39-43
25. Eroshenko LM, Romakhin MM, Eroshenko NA, et al. Yield, plasticity, stability and homeostasis of spring barley cultivars in the Non-Black Earth Region. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(1):38–47. (In Russ.) DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-38-47

ОБ АВТОРАХ

***Виктория Дмитриевна Бемова**, лаборант-исследователь, отдел ГР масличных и прядильных культур; адрес: Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42, 44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9574-0356>; eLibrary SPIN: 7086-1840; e-mail: viktoria.bemova@yandex.ru

Тамара Владимировна Якушева, мл. научн. сотр.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2661-2377>; eLibrary SPIN: 4016-5033; e-mail: yakusheva.vir@yandex.ru

Минира Шаймордановна Асфандиярова, канд. с.-х. наук; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3683-7431>; eLibrary SPIN: 3146-0873; e-mail: rtuz@yandex.ru

Вера Алексеевна Гаврилова, д-р биол. наук, гл. научн. сотр.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>; eLibrary SPIN: 6835-8852; e-mail: v.gavrilova@vir.nw

Наталья Васильевна Кишлян, канд. биол. наук, ст. научн. сотрудник; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-6948>; eLibrary SPIN: 5005-0724; e-mail: natalya-kishlyan@yandex.ru

Любовь Юрьевна Новикова, д-р с.-х. наук, вед. научн. сотр.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>; eLibrary SPIN: 8700-6383; e-mail: l.novikova@vir.nw.ru

AUTHORS' INFO

***Viktoriya D. Bemova**, research laboratory assistant, Oil and Fibre Crops Department; address: 42, 44 Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 190000, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9574-0356>; eLibrary SPIN: 7086-1840; e-mail: viktoria.bemova@yandex.ru

Tamara V. Yakusheva, junior research associate; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2661-2377>; eLibrary SPIN: 4016-5033; e-mail: yakusheva.vir@yandex.ru

Minira Sh. Asfandiyarova, Cand. Sci. (Agricultural); ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3683-7431>; eLibrary SPIN: 3146-0873; e-mail: rtuz@yandex.ru

Vera A. GavriloVA, Dr. Sci. (Biol.), chief researcher; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>; eLibrary SPIN: 6835-8852; e-mail: v.gavrilova@vir.nw

Natalia V. Kishlyan, Cand. Sci. (Biol.), senior research associate; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-6948>; eLibrary SPIN: 5005-0724; e-mail: natalya-kishlyan@yandex.ru

Lyubov Yu. Novikova, Dr. Sci. (Agricultural), leading research associate; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>; eLibrary SPIN: 8700-6383; e-mail: l.novikova@vir.nw.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author