

Влияние изменений агроклиматических ресурсов на урожайность гороха в новом климатическом периоде 1991–2020 гг. в условиях Кировской области

© 2025. И. В. Лыскова¹✉, О. Э. Суховеева², С. С. Пислегина¹

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» г. Киров, Российская Федерация

²ФГБУН Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

Исследование посвящено оценке современного состояния агроклиматических ресурсов и их влиянию на урожайность гороха в Фаленском районе Кировской области. Использовали данные Фаленской метеостанции за 1991–2020 гг. (в сравнении с базовым периодом 1961–1990 гг.) и результаты конкурсного сортоиспытания 7 сортов гороха на Фаленской селекционной станции – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока за 2011–2020 гг. В период 1991–2020 гг. выявлен устойчивый рост температуры воздуха со скоростью 0,44 °C/10 лет, при этом влагообеспеченность осталась на прежнем уровне. Сорта гороха Красноуфимский 93, Рябчик, Северянин, Фаленский усатый, Вита, Фаленский юбилейный, Вятчик, выступавшие объектами исследования, отличались широкой дисперсией урожайности и высокими коэффициентами ее вариации (36,3–55,0 %). В результате кластеризации сорта по урожайности распределили на три группы: первая – одиночный кормовой сорт Вятчик; вторая – пара ценных по качеству и родственных друг другу сортов Фаленский усатый и Фаленский юбилейный; третья – объединяла все остальные сорта. Корреляционный анализ указал на средние отрицательные связи урожайности с температурой воздуха в летний период (–0,402...–0,560) и положительное влияние осадков и увеличения увлажнения (0,455...0,669). Получены значимые регрессионные зависимости урожайности сортов от температуры воздуха в июле, которая определяла 39,4–54,0 % дисперсии продуктивности. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа как погодные условия (76,1 %), так и сортовые особенности (6,3 %) оказывали значимое влияние на урожайность гороха.

Ключевые слова: *Pisum sativum* L., зона рискованного земледелия, адаптивная селекция, дисперсионный анализ, кластерный анализ

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 23-26-00191 (<https://rscf.ru/project/23-26-00191/>)

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лыскова И. В. Суховеева О. Э., Пислегина С. С. Влияние изменений агроклиматических ресурсов на урожайность гороха в новом климатическом периоде 1991–2020 гг. в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(1):48–58. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.48-58>

Поступила: 28.10.2024

Принята к публикации: 27.01.2025

Опубликована онлайн: 26.02.2025

The impact of changes in agro-climatic resources on pea yield in the new climatic period of 1991–2020 in the Kirov region

© 2025. Irina V. Lyskova¹✉, Olga E. Sukhoveeva², Svetlana S. Pislegina¹

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

²Institute of geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

The study is devoted to assessing the current state of agro-climatic resources and their impact on pea yield in Falenki district of the Kirov region. We used data from the Falenki Meteorological Station for 1991–2020. (in comparison with the base period of 1961–1990) and the results of the competitive variety testing of 7 cultivars of peas at the Falenki Breeding Station, a branch of the for 2011–2020. In the period of 1991–2020, a steady increase in air temperature was detected at a rate of 0.44 °C/10 years, while moisture availability remained at the same level. The pea cultivars ‘Krasnoufimsky 93’, ‘Ryabchik’, ‘Severyanin’, ‘Falensky usatii’, ‘Vita’, ‘Falensky Yubileyny’, ‘Vyatich’, which were the objects of the study, were distinguished by a wide yield dispersion and high coefficients of its variation (36.3–55.0 %). As a result of clustering, the cultivars were divided into three groups according to the yield, one of which was a single feed cultivar ‘Vyatich’, the other was a pair of valuable and related cultivars ‘Falensky Usatii’ and ‘Falensky Jubilee’, the third united all other cultivars. Correlation analysis indicated an average negative relationship between yield and air temperature in summer (–0.402...–0.560) and a positive effect of precipitation and increased humidification (0.455...0.669). Significant regression dependences of crop yields on air temperature in July were obtained, which determined 39.4–54.0 % of the productivity variance. According to the results of a two-factor analysis of variance, both weather conditions (76.1 %) and varietal characteristics (6.3 %) had a significant impact on pea yields.

Keywords: *Pisum sativum* L., zone of risky farming, adaptive breeding, dispersion analysis, cluster analysis

Acknowledgments: the research was carried out under the financial support of the Russian Science Foundation within the scientific project No. 23-26-00191 (<https://rscf.ru/project/23-26-00191/>)

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

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Forcitation: Lyskova I. V., Sukhovееva O. E., Pislegina S. S. The impact of changes in agro-climatic resources on pea yield in the new climatic period of 1991–2020 in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(1):48–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.48-58>

Received: 28.10.2024

Accepted for publication: 27.01.2025

Published online: 26.02.2025

Официальные информационно-аналитические отчеты по изменению климата^{1,2} неоднократно показывали, что наблюдаемое в последние десятилетия глобальное потепление является серьезным вызовом для устойчивого развития сельского хозяйства, но в то же время отмеченное потепление ведет к увеличению продолжительности вегетационного периода, и с высокой степенью уверенности можно ожидать его положительное воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур в некоторых регионах, расположенных в высоких широтах.

В растениеводстве, ориентированном на устойчивый рост урожаев, экологичность, ресурсоэнергоэкономичность и природоохранность, ведущая роль принадлежит селекции [1]. Важнейшим направлением селекционных программ является достижение устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным факторам среды – стрессорам, которые в наибольшей степени ограничивают величину и качество урожая [2]. При этом сорта отличаются потенциалом урожайности и способностью его реализовывать в различных агро-климатических условиях [3, 4]. В такой ситуации единственным эффективным способом повышения продуктивности культур остается замена «старых» сортов на более адаптированные к формирующимся почвенно-климатическим условиям [5].

Кировская область входит в Приволжский федеральный округ, который является одним из основных центров производства зерна – более 30 % валового сбора по стране. В Кировской

области, в связи с преимущественно животноводческой специализацией сельского хозяйства, около половины посевных площадей занято многолетними травами; среди зерновых культур преобладают ячмень, пшеница, озимая рожь, на каждую из которых приходится примерно по 1/10 площади, в меньшем объеме представлены посевы овса, картофеля и гороха³.

Горох – не просто одна из исконных культур, возделываемых в нашей стране более тысячи лет, а одно из самых первых окультуренных человеком растений. По данным ФАО⁴, в последние годы площадь, засеваемая горохом в России, составляет около 1,5 млн га, а урожай превышает 3 млн т, что ставит нашу страну на второе место по производству сухого гороха после Канады.

Одним из селекционных центров, занимающихся выведением новых сортов гороха, является ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока). В Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации на 2024 г. внесены 12 сортов гороха селекции этого учреждения. Наиболее распространенным в производстве в Кировской области из сортов селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока является сорт Фалёнский усатый⁵, районированный с 2010 г.

Цель исследований – оценить современное состояние агроклиматических условий в районе исследований и их влияние на урожайность гороха.

¹Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 г. М., 2024. 104 с.

URL: <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20240329/4/DOCK202344.pdf>

²Шестой оценочный доклад МГЭИК: изменение климата 2022 г. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/shestoy-ocenochnyy-doklad-mgeik-izmenenie-klimata-v-2022-godu> (дата обращения 10.10.2024).

³Урожайность сельскохозяйственных культур (в расчете на убранную площадь). ЕМИСС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения 10.10.2024).

⁴Crops and livestock products. FAOSTAT. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (дата обращения 10.10.2024).

⁵Государственный реестр селекционных достижений. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/> (дата обращения 24.10.2024 г.)

Научная новизна – выявлены изменения агроклиматических условий за период 1991–2020 гг. на территории исследований, расположенной в пределах восточного района центральной агроклиматической зоны Кировской области, установлено влияние основных метеопараметров на показатель «урожайность» сортов гороха различного морфотипа.

Материал и методы. В качестве объектов исследования служили семь сортов гороха, районированных в Волго-Вятском регионе (табл. 1). Данные по урожайности за 2011–2020 гг. взяты из результатов конкурсного сортоиспытания, проведенного сотрудниками лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

**Таблица 1 – Краткая характеристика сортов гороха, включенных в исследование /
Table 1 – Brief description of the pea cultivars included in the study**

<i>Copm / Cultivar</i>	<i>Год включения в реестр / Year of inclusion in the registry</i>	<i>Тип листа / Type of the leaf</i>	<i>Срок созревания / Maturation period</i>	<i>Потребительская характеристика / Consumer characteristics</i>
Красноуфимский 93 / 'Krasnoufimskiy 93'	1997	Л / L	СР / ME	Универсальный / Universal
Рябчик / 'Ryabchik'	2007	Л / L	СС / MR	Кормовой (пелюшка) / Feed (pelushka)
Северянин / 'Severyanin'	2007	Л / L	СП / ML	Неосыпающийся, кормовой / Nonshattering, feed
Фаленский усатый / 'Falenskiy usatiy'	2010	БЛ / BL	СС / MR	Ценный по качеству / Valuable in quality
Вита / 'Vita'	2016	Л / L	СС / MR	Индетерминантный, кормовой / Indeterminate, feed
Фаленский юбилейный / 'Falenskiy yubileyniy'	2018	Л / L	СП / ML	Ценный по качеству / Valuable in quality
Вятч / 'Vyatich'	2023	БЛ / BL	СП / ML	Неосыпающийся, кормовой (пелюшка) / Nonshattering, feed (pelushka)

Примечания: Л – листочковый, БЛ – безлисточковый, СР – среднеранний, СС – среднеспелый, СП – среднепоздний /
Notes: L – leafy, BL – leafless, ME – medium early, MR – medium ripe, ML – medium late

Исследования проводили в восточном районе центральной агроклиматической зоны Кировской области на территории Фаленской селекционной станции. Для оценки агроклиматических условий использовали многолетние метеоданные Фалёнской метеостанции (58,3° с. ш., 51,6° в. д., 178 м над уровнем моря) за 1991–2020 гг. в сравнении с соответствующими показателями за 1961–1990 гг. (базовый период, принятый Всемирной метеорологической организацией⁶). Для оценки влияния

метеоусловий на урожайность гороха отдельно рассматривали период 2011–2020 гг.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, рН солевой вытяжки пахотного слоя 4,4–5,4 ед. (на иономере ЭВ-74⁷), содержание гумуса (по Тюрину⁸) 2,03–2,78 %, подвижного фосфора и обменного калия (по Кирсанову⁹) 236–373 и 178–242 мг/кг соответственно. Агрофон: под культивацию перед посевом вносили нитроаммофоску (N₆P₂₀K₃₀) в дозе 3,0 ц/га. Предшественник – картофель.

⁶Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО. 2017. № 1203. [Электронный ресурс]. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168 (дата обращения 10.07.2024).

⁷ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

⁸ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

⁹ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

Рассчитаны основные агроклиматические параметры тепло- и влагообеспеченности: суммы среднесуточных температур выше 0 и 10 °С, индекс сухости Будыко, гидротермический коэффициент Селянинова, коэффициент увлажнения Сапожниковой. При расчете биоклиматического потенциала (БКП) по формуле Шашко в качестве показателя увлажнения использовали коэффициент увлажнения Сапожниковой [6], а в качестве базисной суммы температур была выбрана 1900 °С как эталон для южно-таежно-лесной зоны [7].

Для статистической оценки урожайности и влияния на нее погодных условий использовали корреляционный, регрессионный, двухфакторный дисперсионный и кластерный

методы анализа, выполняемые в программах Microsoft Excel 2010 и PAST.

Результаты и их обсуждение. Основные метеопараметры за 30-летний период (1991–2020 гг.), рассчитанные по данным Фаленской метеостанции и экстраполируемые на восточный район центральной агроклиматической зоны Кировской области представлены в таблице 2. Среди всех полученных показателей устойчивый тренд зафиксирован только для среднегодовой температуры воздуха (рис. 1), которая в 1991–2020 гг. увеличивалась со скоростью 0,44 °С/10 лет. Эта оценка сопоставима со средними темпами роста температуры по стране (0,51 °С/10 лет) и Приволжскому федеральному округу (0,49 °С/10 лет) за 1976–2020 гг.¹⁰.

Таблица 2 – Агроклиматические ресурсы территории исследований (восточный район центральной агроклиматической зоны Кировской области) за 1991–2020 гг. /

Table 2 – Agro-climatic resources of the research area (eastern district of the central agro-climatic zone of the Kirov region) for 1991–2020

Теплообеспеченность, °С / Heat supply, °С		Влагообеспеченность, мм / Moisture availability, mm	
Среднегодовая температура воздуха / Average annual air temperature	2,8±0,8	Годовое количество осадков / Annual precipitation	634±79
Сумма положительных температур / The sum of positive temperatures (>0 °С)	2421±184	Осадки теплого периода / Precipitation of the warm period	348±67
Сумма активных температур / Sum of active temperature tours (>10 °С)	1981±186	Осадки за июнь-август / Precipitation in June-August	213±57
Сумма температур за июнь-август / The sum of temperatures for June-August	1520±105	Индекс сухости Будыко / Budyko Dryness Index	0,57±0,09
Температура июня / June temperature	15,9±1,8	Гидротермический коэффициент Селянинова / Selyaninov hydrothermal coefficient	1,42±0,42
Температура июля / July temperature	18,3±1,9	Коэффициент увлажнения Сапожниковой / Sapozhnikova moisture coefficient	1,22±0,21

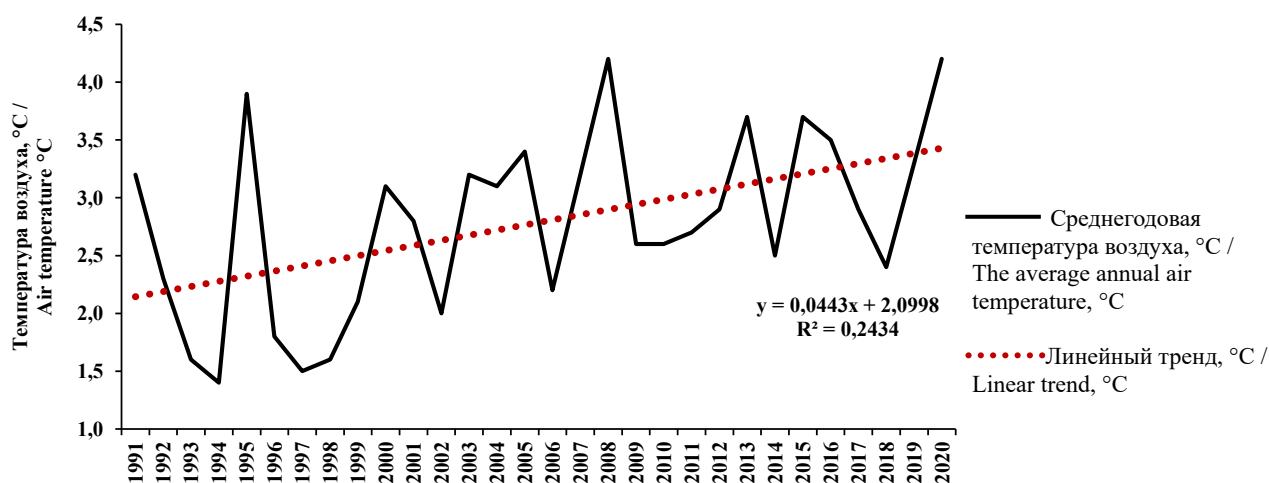


Рис. 1. Динамика среднегодовых температур воздуха за 1991–2020 гг. в районе исследований /
Fig. 1. Dynamics of average annual air temperatures in the research area for 1991–2020

¹⁰ URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/23886/> (дата обращения 30.09.2024).

Сумма активных температур выше 10°C в Фаленском районе в 1968–2007 гг. составляла 1814°C [8], за 1991–2020 гг. она увеличилась до $1981 \pm 186^{\circ}\text{C}$. При этом ГТК Селянинова остался равным базовому периоду $1,42 \pm 0,42$, что соответствует достаточному и периодически избыточному увлажнению. Следовательно, в районе исследований наблюдается общая тенденция к повышению теплообеспеченности при неравномерном характере увлажнения. Балльная оценка биоклиматического потенциала (БКП) по формуле Шашко за 1991–2020 гг. составила $1,26 \pm 0,19$, что находится на нижней границе интервала (1,21–1,60), соответствующего пониженной биологической продуктивности [7].

Анализ метеопараметров за вегетационный период по десятилетиям в сравнении со среднемноголетними значениями 1961–1990 гг. приведен в таблицах 3 и 4. В первом анализируемом периоде (1991–2000 гг.) в мае и августе среднее отклонение температуры воздуха в год составило отрицательные значения с максимальной амплитудой от $-4,5$ до $+3,1^{\circ}\text{C}$ в мае и минимальной в августе $-1,4 \dots +0,8^{\circ}\text{C}$. При этом в июне зафиксировано наибольшее среднее отклонение в год $+1,42^{\circ}\text{C}$ и соответственно преобладание количества лет с положительными отклонениями от среднемноголетней нормы. В целом период условной вегетации растений был теплее всего на $0,1^{\circ}\text{C}$. Количество выпавших осадков в данный период за май–август увеличилось на $33,6$ мм/год, большее увеличение зафиксировано в июне, в июле, наоборот, произошло снижение, в этом же месяце отмечена и наибольшая амплитуда отклонений

от среднемноголетних значений (в 1994 г. количество выпавших осадков за июль составило 228% к норме базового периода).

В последующем периоде (2001–2010 гг.) наблюдали увеличение температурного режима в целом за май–август до $+0,8^{\circ}\text{C}$ в среднем в год, из четырех месяцев в этот период только июнь был холоднее на $0,11^{\circ}\text{C}$ в среднем в год. Самым жарким сложился 2010 г. – отклонение за май–август составило $+3,2^{\circ}\text{C}$. Количество осадков в данном периоде увеличилось незначительно – всего на $5,6$ мм в год, в июле осадков выпало еще меньше, чем в предыдущий период. В июне и августе отклонения в сторону увеличения были равными.

Третий анализируемый период (2010–2020 гг.) – теплее предыдущего в большей степени за счет мая, среднее отклонение температуры воздуха в год составило $+1,5^{\circ}\text{C}$. Наибольшее отклонение амплитуды с положительными значениями (до $+6,0^{\circ}\text{C}$) зафиксировано в августе 2016 г. ($+20,9^{\circ}\text{C}$), этот год был самым жарким в рассматриваемом периоде (отклонение за май–август $+3,0^{\circ}\text{C}$). Сохранилось отклонение в сторону снижения количества осадков в июле (за исключением 2017 г., когда выпало 187% за месяц к норме базового периода), а также в мае ($-5,45$ мм/год). В целом за условную вегетацию только 4 года из 10 были ниже нормы по осадкам, из них 2013 и 2016 гг. с дефицитом более 100 мм.

Урожайность сортов гороха в конкурсном сортоиспытании за 2011–2020 гг. отличалась высокой вариабельностью и отсутствием значимого тренда (рис. 2).

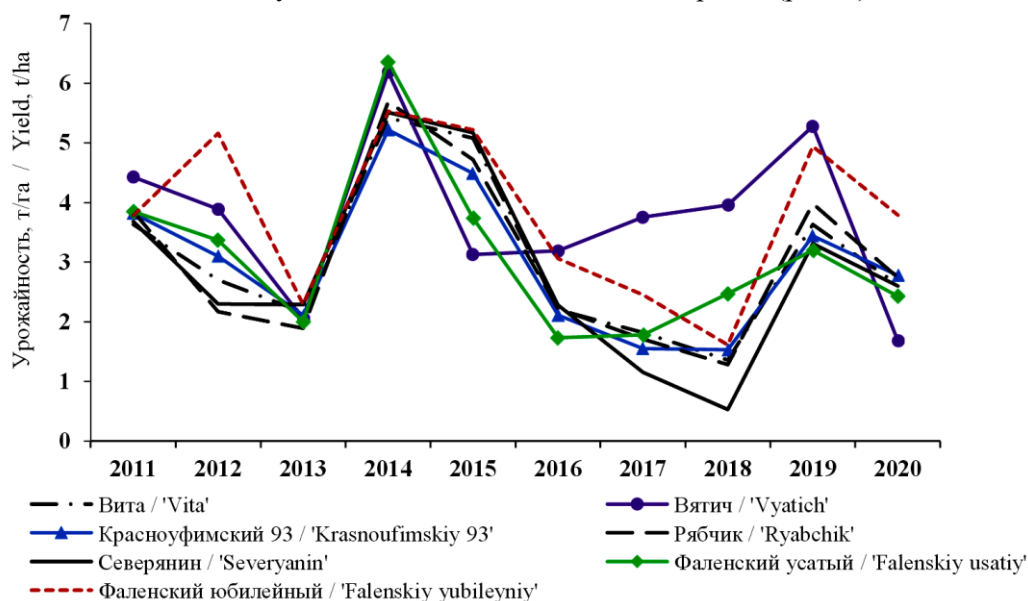


Рис. 2. Динамика урожайности сортов гороха в конкурсном сортоиспытании (2011–2020 гг.) /
Fig. 2. Dynamics of pea cultivars yield in competitive variety testing (2011–2020)

Таблица 3 – Анализ изменений среднесуточной температуры воздуха за период 1991–2020 гг., °C (по данным Фалёнской метеостанции) /
Table 3 – Analysis of changes in the average daily air temperature for the period of 1991–2020, °C (according to the data of the Falenki Meteorological Station)

Показатель / Indicator	Отклонение среднесуточной температуры воздуха от среднесезонной нормы / Deviation of the average daily air temperature from the long-term average norm					
	май (10,6°) / may (10,6°)	июнь (15,3) / june (15,3)	июль (17,7) / july (17,7)	август (14,9) / august (14,9)	май-август (14,6) / may-august (14,6)	май-август (14,6) / may-august (14,6)
1991–2000 гг.						
Интервал отклонений / Deviation interval	-4,5...+3,1	-1,8...+4,1	-2,2...+3,4	-1,4...+0,8	-1,5...+1,5	-1,5...+1,5
Среднее отклонение в год / Average deviation per year	-0,52	+1,42	+0,08	-0,56	+0,10	+0,10
Количество лет с отрицательными/положительными отклонениями** / Number of years with negative/positive deviations**	5/5	2/8	5/5	8/2	4/6	4/6
2001–2010 гг.						
Интервал отклонений / Deviation interval	-3,1...+4,2	-2,5...+3,6	-1,7...+4,0	-3,4...+3,6	-1,2...+3,2	-1,2...+3,2
Среднее отклонение в год / Average deviation per year	+1,13	-0,11	+1,10	+1,01	+0,80	+0,80
Количество лет с отрицательными/положительными отклонениями** / Number of years with negative/positive deviations**	2/8	7/3	3/7	2/8	1/9	1/9
2011–2020 гг.						
Интервал отклонений / Deviation interval	-3,1...+3,8	-1,3...+3,1	-2,8...+2,8	-1,9...+6,0	-0,8...+3,0	-0,8...+3,0
Среднее отклонение в год / Average deviation per year	+1,50	+0,49	+0,65	+1,06	+1,00	+1,00
Количество лет с отрицательными/положительными отклонениями** / Number of years with negative/positive deviations**	2/8	5/5	4/6	3/7	2/8	2/8

*Среднесезонная норма за базовый период 1961–1990 гг., **в числителе – количество лет за десятилетие с отрицательными отклонениями средней температуры от среднесезонной нормы, в знаменателе – с положительными /
*Average annual norm for the base period of 1961–1990, **in the numerator, the number of years per decade with negative deviations of the average temperature from the average annual norm, in the denominator – with positive

Таблица 4 – Анализ изменений количества осадков в месяц за период 1991–2020 гг., мм (по данным Фалёнской метеостанции) /
Table 4 – Analysis of changes in precipitation per month for the period of 1991–2020, mm (according to the data of the Falenki Meteorological Station)

Показатель / Indicator	Отклонение суммы осадков от среднесезонной нормы / Deviation of precipitation sum from the annual average norm					
	май (45%) / may (45%)	июнь (57) / june (57)	июль (85) / july (85)	август (57) / august (57)	май-август (244) / may-august (244)	май-август (244) / may-august (244)
1991–2000 гг.						
Интервал отклонений / Deviation interval	-17,7...+53,8	-18,2...+66,2	-76,7...+108,9	-31,2...+88,0	-71,3...+182,6	-71,3...+182,6
Сумма отклонений за период, мм/год / The amount of deviations for the period, mm/year	+3,48	+23,36	-8,6	+15,9	+33,6	+33,6
Количество лет с отрицательными/положительными отклонениями** / Number of years with negative/positive deviations**	5/5	1/9	8/2	5/5	5/5	5/5
2001–2010 гг.						
Интервал отклонений / Deviation interval	-24,7...+54,5	-18,8...+72,8	-75,0...+50,6	-18,6...+89,2	-60,5...+74,6	-60,5...+74,6
Сумма отклонений за период, мм/год / The amount of deviations for the period, mm/year	+0,57	+18,71	-31,65	+17,96	+5,60	+5,60
Количество лет с отрицательными/положительными отклонениями** / Number of years with negative/positive deviations**	4/6	3/7	8/2	4/6	5/5	5/5
2011–2020 гг.						
Интервал отклонений / Deviation interval	-36,1...+20,1	-11,2...+51,0	-37,1...+73,9	-42,0...+100,2	-105,3...+129,5	-105,3...+129,5
Сумма отклонений за период, мм/год / The amount of deviations for the period, mm/year	-5,45	+16,63	-9,12	+13,15	+15,2	+15,2
Количество лет с отрицательными/положительными отклонениями** / Number of years with negative/positive deviations**	6/4	3/7	9/1	6/4	4/6	4/6

*Среднесезонная норма за базовый период 1961–1990 гг., ** – в числителе количество лет за десятилетие с отрицательными отклонениями суммы осадков от среднесезонной нормы, в знаменателе – с положительными /
*Average annual norm for the base period of 1961–1990, ** in the numerator, the number of years per decade with negative deviations of the average precipitation from the average annual norm, in the denominator – with positive

На рисунке 3 сорта ранжированы по возрастанию средней урожайности. Можно заметить, что дисперсия ее довольно велика, а средние значения выше медианных, что

говорит о положительной асимметрии распределения урожайности, когда в ней присутствует малое количество высоких значений.

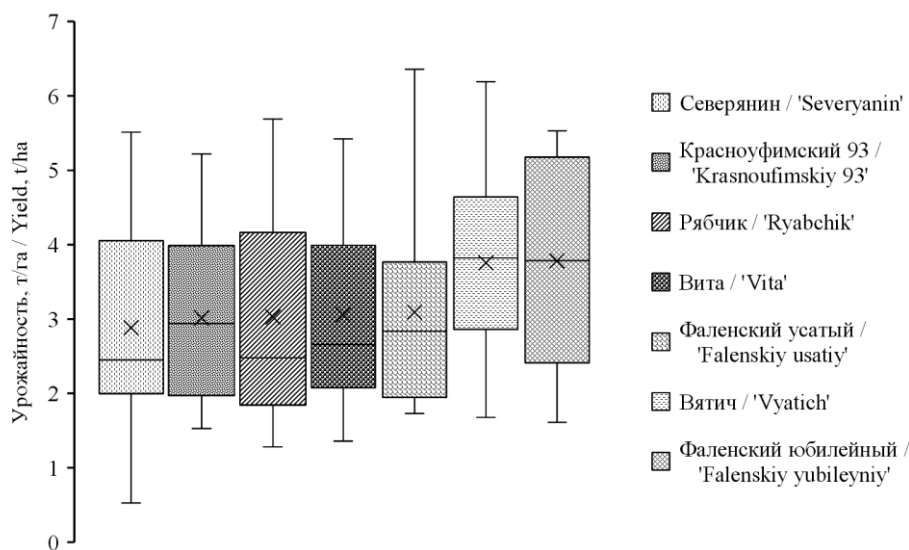


Рис. 3. Урожайность сортов гороха в конкурсном сортоиспытании, 2011–2020 г. (крестик – среднее, линия – медиана, ящик – верхний и нижний квартили, «усы» – дисперсия значений) /

Fig. 3. Yield of pea cultivars in competitive variety testing, 2011–2020 (cross – average, line – median, box – upper and lower quartiles, «whiskers» – variance of values)

Классический кластерный анализ по методу Варда (рис. 4) показал, что сорта по показателю «урожайность» можно разделить на три кластера. Особняком выделен новый сорт Вятч (допущенный в производство с 2023 г.), коэффициент вариации урожайности которого наименьший среди анализируемых – 36,3 %. Это объясняется отличным сочетанием элементов продуктивности этого сорта по сравнению со стандартом (в качестве которого в Кировской области выступает сорт Рябчик): число бобов и зёрен на одном растении больше стандарта на 0,9 и 4,1 шт. соответственно,

число бобов на плодоносном узле больше на 0,3 шт., масса семян с растения больше на 0,4 г [9]. Интересен кластер, объединяющий сорта Фаленский усатый и Фаленский юбилейный, важно отметить, что первый сорт выступает материнской формой для второго (коэффициент вариации урожайности 44,9 и 37,0 % соответственно). Остальные сорта (ранее созданные) расположены тесно друг к другу и объединены в один кластер, что говорит также об их схожести по данному показателю (коэффициенты вариации 41,2–55,0 %).

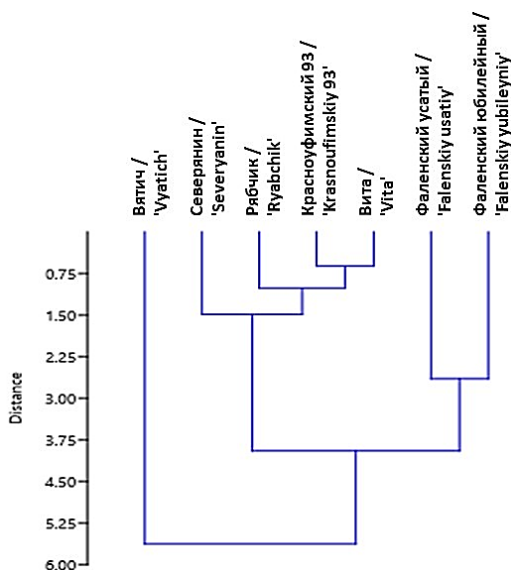


Рис. 4. Кластерный анализ сортов гороха по показателю «урожайность» в конкурсном сортоиспытании (2011–2020 гг.)

Fig. 4. Cluster analysis of pea cultivars according to the "yield" indicator in a competitive variety test (2011–2020)

Высокая вариабельность урожайности и отсутствие тренда не позволяют рассчитать климатически обусловленную урожайность [10]. Поэтому нами был применен двухфакторный дисперсионный анализ. Для выборки, содержащей урожайность семи сортов гороха за десять лет, оценивалось влияние факторов «сорт» и «год» (табл. 5). Анализ показал значимое досто-

верное влияние на урожайность как сортовых особенностей, так и погодных условий ($F > F_{критич}$; $p < 0,05$). Исходя из значений сумм квадратов, было рассчитано, что урожайность гороха преимущественно определялась погодными условиями – на 76,1 % ($100,66 \times 100/132,27$), тогда как на долю особенностей сорта приходилось лишь 6,3 % ($8,39 \times 100/132,27$) дисперсии.

Таблица 5 – Результаты дисперсионного анализа по выявлению влияния факторов «сорт» и «год» на урожайность гороха (2011–2020 гг.) /

Table 5 – The results of the analysis of variance to identify the influence of the factors "cultivar" and "year" on the yield of peas (2011–2020)

Источник вариации / Source of variation	SS	df	MS	F	$F_{критич}$	p-value
Сорт / Cultivar	8,39	6	1,40	3,25	2,27	0,008
Год / Year	100,66	9	11,18	26,00	2,06	<0,001
Погрешность / Error	23,23	54	0,43	-	-	-
Итого / Total	132,27	69	-	-	-	-

По результатам корреляционного анализа (табл. 6) прослеживается негативное воздействие роста летних температур на урожайность всех анализируемых сортов, что доказывается отрицательными корреляциями средней и сильной степени с температурой воздуха в июле и суммой температур за июнь–август. В связи с этим некоторые авторы утверждают, что необходимо создание сортов яровых

культур, более устойчивых к повышенным температурам [11]. Для снижения отрицательного воздействия высоких температур в период формирования генеративных органов у гороха предлагается включать в схемы скрещивания индетерминантные сорта, отличающиеся продолжительным цветением, для получения новых генотипов, более устойчивых к изменяющимся условиям среды [12].

Таблица 6 – Корреляционный анализ зависимости урожайности сортов гороха от погодных условий за 2011–2020 гг. /

Table 6 – Correlation analysis of the dependence of pea cultivars yield on weather conditions in 2011–2020

Copt / Cultivar	Температура июля / July temperature	Температура за июнь-август / Temperature for June-August	Осадки за июнь- август / Precipita- tion in June-August	ГТК Селянинова / HTC Selyaninov
Вита / 'Vita'	-0,735	-0,525	0,493	0,537
Вятч / 'Vyatich'	-0,499	-0,468	0,507	0,524
Красноуфимский 93 / 'Krasnoufimskiy 93'	-0,627	-0,469	0,483	0,505
Рябчик / 'Ryabchik'	-0,701	-0,560	0,435	0,499
Северянин / 'Severyanin'	-0,653	-0,402	-	-
Фаленский усатый / 'Falenskiy usatiy'	-0,554	-0,432	0,455	0,455
Фаленский юбилейный / 'Falenskiy yubileyniy'	-0,652	-0,495	0,671	0,669

Примечания: Отмечены значимые корреляции ($r > 0,4$, $p < 0,05$), прочерк означает отсутствие значимых корреляций /
 Notes: Significant correlations were noted ($r > 0,4$, $p < 0,05$), the dash indicates the absence of significant correlations

В то же время осадки летнего периода и рост увлажнения вегетационного периода (судя по ГТК Селянинова) оказывают благоприятное воздействие на продуктивность культуры. Действительно, ранее было установлено

[13], что в наиболее ответственный период роста гороха, который приходится на июнь–первую декаду июля, высокая урожайность (более 2,5 т/га) обеспечивалась при сумме осадков в диапазоне 60–165 мм.

Важно отметить, что в районе исследований начало сева гороха предопределялось именно влажностью почвы, т. е. количеством осадков, выпавших в мае. Более того, было установлено, что количество выпавших осадков влияет на продолжительность вегетационного периода (от всходов до созревания) этой культуры (коэффициент корреляции – 0,71–0,76). Например, у сорта Рябчик самый короткий вегетационный период (57 суток) отмечен в 2013 г., когда выпало всего 57 мм осадков, а наиболее длительный (92 суток) – в 2019 г. при 269 мм осадков [14].

Значимая регрессионная зависимость урожайности гороха от тех погодных факторов,

которые были выделены в корреляционном анализе, была получена только для температуры воздуха в июле (табл. 7), которая объясняет 39,4–54,0 % дисперсии. Эти оценки ниже, чем те, что были получены в результате двухфакторного дисперсионного анализа, но полностью совпадают с оценками других исследователей, которые определяли долю влияния погодного фактора 39–55 % [15, 16]. Важно обратить внимание на то, что в нашем случае коэффициент при переменной отрицательный – это подтверждает негативное влияние повышения температуры воздуха на продуктивность культуры.

Таблица 7 – Регрессионная зависимость урожайности сортов гороха от температуры воздуха в июле (2011–2020 гг.) /

Table 7 – Regression dependence of pea yield on air temperature in July (2011–2020)

<i>Сорт / Cultivar</i>	<i>Коэффициент детерминации / Coefficient of determination, R²</i>	<i>Значимость / p-value</i>	<i>Уравнение / Equation</i>
Вита / 'Vita'	0,540	0,015	$Y = 11,321 - 0,450x$
Вятч / 'Vyatich'	0,249	0,142	Зависимость не значима / Dependence is not significant
Красноуфимский 93 / 'Krasnoufimskiy 93'	0,394	0,052	$Y = 9,470 - 0,352x$
Рябчик / 'Ryabchik'	0,491	0,024	$Y = 11,467 - 0,460x$
Северянин / 'Severyanin'	0,426	0,041	$Y = 11,444 - 0,467x$
Фаленский усатый / 'Falenskiy usatiy'	0,307	0,096	Зависимость не значима / Dependence is not significant
Фаленский юбилейный / 'Falenskiy yubileyniy'	0,426	0,041	$Y = 11,332 - 0,411x$

У сортов Вятч и Фаленский усатый, которые относятся к безлисточковым, не было получено ни одной значимой регрессионной зависимости. Можно предположить, что их урожайность полностью определяется особенностями сорта и неучтенными факторами.

Заключение. При оценке изменений агроклиматических условий на территории исследований, расположенной в пределах восточного района центральной агроклиматической зоны Кировской области, выявлено, что по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг. в последующее тридцатилетие (1991–2020 гг.) наблюдался устойчивый рост температуры воздуха со скоростью 0,44 °C/10 лет; ГТК Селянинова остался равным 1,42±0,42, что соответствует достаточному и периодически избыточному увлажнению. Урожайность сортов гороха отличалась широкой дисперсией и высоким варьированием (36,3–55,0 %). При кластери-

зации по урожайности сорта распределились на три группы: первая – новый сорт Вятч (районированный с 2023 г.); вторая – ценные по качеству и родственные друг другу сорта Фаленский усатый и Фаленский юбилейный (районированные в 2010 и в 2018 гг. соответственно); третья – Красноуфимский 93, Северянин, Рябчик и Вита, созданные в более ранние периоды. Проведенный корреляционный анализ показал на средние отрицательные связи урожайности с температурой воздуха в летний период (-0,402...-0,560) и положительное влияние осадков и увеличения увлажнения на рост продуктивности гороха (0,455...0,669). Регрессионный анализ выявил, что температура воздуха в июле, как наиболее значимый погодный фактор, на 39,4–54,0 % объясняла дисперсию урожайности рассматриваемых сортов. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа совокупные условия года

определяли 76,1 % дисперсии продуктивности, тогда как на долю сортовых особенностей приходилось лишь 6,3 %.

Таким образом, колебания тепло- и влагообеспеченности будут дестабилизировать

урожайность и элементы структуры урожая гороха. Тем не менее ожидается, что индетерминантные и безлисточковые сорта гороха, менее зависимые от погодных условий, смогут реализовать свой потенциал продуктивности.

Список литературы

1. Жученко А. А. Эколого-генетические основы адаптивной системы селекции растений. Сельскохозяйственная биология. 2000;25(3):3–29.
2. Волкова Л. В., Лисицын Е. М., Амунова О. С. Роль генотипа и погодных условий в формировании морфобиологических и хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы. Таврический вестник аграрной науки. 2020;(3(23)):43–58. DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58> EDN: GNVAQG
3. Ленточкин А. М., Бабайцева Т. А. Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):826–834. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834> EDN: VWIIZQ
4. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):381–387. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.041> EDN: FAXQBC
5. Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):21–31. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31> EDN: QWJWHD
6. Сиротенко О. Д., Павлова В. Н. Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. С. 165–189.
7. Ермакова Л. Н., Толмачева Н. И., Безматерных Е. А. Оценка агроклиматических ресурсов территории Пермского края. Географический вестник. 2010;(2(13)):52–58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15569347> EDN: NCSHUI
8. Френкель М. О., Переведенцев Ю. П., Соколов В. В. Климатический мониторинг Кировской области. Казань: Казанский университет, 2012. 264 с.
9. Пислегина С. С., Четвертных С. А. Новый сорт гороха полевого Вятч. Агропромышленные технологии Центральной России. 2020;(4(18)):64–71. DOI: <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2020-18-64-71> EDN: ПКCFA
10. Павлова В. Н., Караченкова А. А. Оценка изменений климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы в земледельческой зоне России. Фундаментальная и прикладная климатология. 2020;4:68–87. DOI: <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2020-4-68-87> EDN: ZPJXZF
11. Щенникова И. Н. Влияние погодных условий на рост и развитие растений ячменя в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014;(4(41)):9–12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699652> EDN: SGWETZ
12. Bueckert R. A., Wagenhoffer S., Hnatowich G., Warkentin T. D. Effect of heat and precipitation on pea yield and reproductive performance in the field. Canadian Journal of Plant Science. 2015;95(4):629–639. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-34>
13. Вавилова З. И. Новые направления в селекции гороха на северо-востоке европейской части России. Почвы и приемы повышения эффективности их использования. Киров: Вятская ГСХА, 2008. С. 128–131.
14. Пислегина С. С., Четвертных С. А. Влияние погодных условий на продолжительность вегетационного периода и продуктивность гороха. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(5):521–530. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530> EDN: LXXCDH
15. Павлова В. Н., Караченкова А. А. Изменение агроклиматических ресурсов зернопроизводящих регионов России и продуктивности зерновых культур в новом климатическом периоде 1991–2020 гг. Метеорология и гидрология. 2023;(9):29–42. DOI: <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-9-29-42> EDN: EPVMPD
16. Волкова Л. В., Щенникова И. Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур. Теоретическая и прикладная экология. 2020;(3):140–146. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-140-146> EDN: ORZBYL

References

1. Zhuchenko A. A. Ecological and genetic foundations of adaptive plant breeding system. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2000;25(3):3–29. (In Russ.).
2. Volkova L. V., Lisitsyn E. M., Amunova O. S. Role of genotype and weather conditions in the formation morphobiological and economically valuable traits of spring soft wheat. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2020;(3(23)):43–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58>
3. Lentochkin A. M., Babaytseva T. A. Global warming and change in the conditions of crop production practices in the Middle Cis-Urals. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):826–834. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>
4. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Present-day breeding of legumes and groat crops in Russia. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):381–387. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.041>

5. Shchennikova I. N., Kokina L. P. Perspectives of barley breeding for the conditions of the Volgo-Vyatka region (analytical review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):21–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31>
6. Sirotenko O. D., Pavlova V. N. Methods for assessing the impact of climate change on agricultural productivity. Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems. Moscow: *Rosgidromet*, 2012. pp. 165–189.
7. Ermakova L. N., Tolmacheva N. I., Bezmaternykh E. A. The evaluation of agro-climatic resources within the territory of Perm region. *Geograficheskiy vestnik* = Geographical Bulletin. 2010;(2(13)):52–58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15569347>
8. Frenkel' M. O., Perevedentsev Yu. P., Sokolov V. V. Climate monitoring of the Kirov region. Kazan': *Kazanskiy universitet*, 2012. 264 p.
9. Pislegina S. S., Chetvertnykh S. A. New variety of field peas Vyatich. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noy Rossii* = Agro Central Russian Technologies. 2020;(4(18)):64–71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2020-18-64-71>
10. Pavlova V. N., Karachenkova A. A. Assessment of changes in climate-based productivity of summer wheat in the main regions of its cultivation in Russia. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya* = Fundamental and Applied Climatology. 2020;4:68–87. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2020-4-68-87>
11. Shchennikova I. N. Influence of weather conditions on growth and development of barley plants in Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2014;(4(41)):9–12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699652>
12. Bueckert R. A., Wagenhoffer S., Hnatowich G., Warkentin T. D. Effect of heat and precipitation on pea yield and reproductive performance in the field. *Canadian Journal of Plant Science*. 2015;95(4):629–639. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-34>
13. Vavilova Z. I. New directions in pea breeding in the north-east of the European part of Russia. Soils and techniques for increasing the efficiency of their use. Kirov: *Vyatskaya GSKhA*, 2008. pp. 128–131.
14. Pislegina S. S., Chetvertnykh S. A. Influence of weather conditions on the duration of the growth season and yield of peas. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(5):521–530. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530>
15. Pavlova V. N., Karachenkova A. A. Changes in agroclimatic resources of grain-producing regions of Russia and grain productivity during the new reference period of 1991–2020. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2023;(9):29–42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-9-29-42>
16. Volkova L. V., Shchennikova I. N. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive responses of cereals. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(3):140–146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-140-146>

Сведения об авторах

✉ **Лыскова Ирина Владимировна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

Суховеева Ольга Эдуардовна, кандидат геогр. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Институт географии Российской академии наук, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, г. Москва, Российская Федерация, 119017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3620-9661>

Пислегина Светлана Сергеевна, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0553-7707>

Information about the authors

✉ **Irina V. Lyskova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

Olga E. Sukhoveeva, PhD in Geography, senior researcher, Institute of geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetnyi str., 29-4, Moscow, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3620-9661>

Svetlana S. Pislegina, researcher, the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Legume Crops, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0553-7707>

✉ – Для контактов / Corresponding author