

## Генетико-статистический анализ комбинационной способности сортов яровой пшеницы по устойчивости к засухе в ювенильный период развития

© 2020. О. С. Амунова , Л. В. Волкова

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

Изучены 8 исходных форм и 16 гибридных популяций  $F_2$  яровой пшеницы урожая 2019 года для определения уровня засухоустойчивости методом проращивания семян в течение 5 суток в растворе сахарозы. Влияние искусственно созданной засухи на проростки оказалось весьма существенным: общее снижение всхожести семян родителей и гибридов составило 16,0 и 16,7 % соответственно, числа зародышевых корней – 19,3 и 17,4 %, массы проростка – 67,1 и 70,2 %. В стрессовых условиях показатель соотношения массы корней и ростков (индекс RSR) по сравнению с контролем увеличился в среднем с 0,92 до 1,42 у сортов, с 0,86 до 1,68 у гибридов. Отмечена высокая сортовая специфичность как абсолютных значений признаков в контроле и опыте, так и реакции на стресс. По числу зародышевых корней в контроле преимущество имел сорт NOS Norko (Германия), по массе проростка – Карабалыкская 91 (Казахстан). Достоверно высокие значения индекса RSR в контроле и опыте отмечены у сорта Jahuara F-77 (Мексика). Отсутствием реакции на засуху по всхожести семян характеризовался сорт Kitt (США), по числу зародышевых корней – сорта Jahuara F-77 (Мексика) и Klein Vencedor (Аргентина). На основе анализа общей и специфической комбинационной способности родительских сортов выделены 8 перспективных гибридных комбинаций. Высокий гетерозисный эффект, выраженный увеличением среднего значения признака у гибридов по отношению к родителям, наблюдали у большинства гибридных комбинаций по параметру «масса проростка», в комбинации Эритроспермум 2945 x NOS Norko – по числу зародышевых корней. Влияние материнских и отцовских компонентов, а также их взаимодействия, на всхожесть семян гибридов  $F_2$  было незначимым (коэффициент наследования  $h^2 = 0,04 \dots 0,22$ ). Вклад родительских сортов в другие параметры в контроле был достоверно высоким ( $F_{\text{факт}} > F_{05}$ ), за исключением влияния отцовских форм на массу проростка. Значения общих коэффициентов наследуемости числа корней и RSR в нормальных условиях ( $h^2_0 = 0,80 \dots 0,82$ ) свидетельствуют о том, что отбор по данным параметрам может быть высокоэффективным. В условиях искусственно созданной засухи наиболее результативным будет отбор по параметру «сухая масса проростка», поскольку вклад материнских компонентов на число зародышевых корней и отцовских на показатель RSR незначим.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L., исходная форма, гибрид, проросток, комбинационная способность, коэффициент наследуемости

**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0093).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Амунова О. С., Волкова Л. В. Генетико-статистический анализ комбинационной способности сортов яровой пшеницы по устойчивости к засухе в ювенильный период развития. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):253-262. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.253-262>

Поступила: 02.03.2020

Принята к публикации: 30.04.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

## Genetic and statistical analysis of the combining ability of spring wheat varieties for drought resistance in the juvenile period of development

© 2020. Oksana S. Amunova , Lyudmila V. Volkova

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

Eight original forms and 16 hybrid populations of  $F_2$  spring wheat of the 2019 yield were studied to determine the level of drought resistance by sprouting seeds in a sucrose solution during 5 days. The effect of artificially created drought on seedlings was very significant: the overall decrease in seed germination in parents and hybrids was 16.0 and 16.7 %, respectively, the number of seminal roots – 19.3 and 17.4 %, the weight of the seedling – 67.1 and 70.2 %. Under stressful conditions, the root-shoot ratio (RSR index) increased on average from 0.92 to 1.42 in varieties and from 0.86 to 1.68 in hybrids. High varietal specificity of both absolute values of traits in the control and the experiment, as well as the response to stress, was noted. By the number of seminal roots in the control, the NOS Norko variety (Germany) had the advantage, and by the weight of the seedling – Karabalykskaya 91 (Kazakhstan). Significantly high values of the RSR index in the control and the experiment were observed in the Jahuara F-77 variety (Mexico). The Kitt variety (USA) was characterized by lack of response to drought of seed germination. The Jahuara F-77 (Mexico) and Klein Vencedor (Argentina) varieties were characterized by lack of response to drought by the number of seminal roots. Based on the analysis of the general and specific combinational

ability of parent varieties, 8 promising hybrid combinations were identified. A high heterosis effect, expressed by an increase in the average value of the trait in hybrids relative to parents, was observed in most hybrid combinations by the parameter "seedling mass", in the combination of *Erythrospermum 2945* x *NOS Norko* – by the number of seminal roots. The influence of maternal and paternal components as well, as their interaction, on the germination of  $F_2$  hybrids seeds was insignificant (the inheritance coefficient  $h_0^2 = 0.04...0.22$ ). The contribution of parent varieties to other parameters in the control was significantly high ( $F_{fact} > F_{05}$ ), except for the influence of paternal forms on the weight of the seedling. The values of the general heritability coefficients of the number of roots and RSR under normal conditions ( $h_0^2 = 0.80...0.82$ ) indicate that selection by these parameters can be highly effective. In artificially created drought, the most efficient will be the selection by the "dry weight of seedling" parameter, since the contribution of maternal components in the number of seminal roots and paternal components to the RSR index is insignificant.

**Key words:** *Triticum aestivum* L, original form, hybrid, seedling, combining ability, heritability coefficients

**Acknowledgement:** the research was carried out within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0093).

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

**Conflict of interest:** the authors stated that there was no conflict of interest

**For citations:** Amunova O. S., Volkova L. V. Genetic and statistical analysis of the combining ability of spring wheat varieties for drought resistance in the juvenile period of development. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3): 253-262. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.253-262>

Received: 02.03.2020

Accepted for publication: 30.04.2020

Published online: 23.06.2020

Засуха является одним из наиболее комплексных и разрушительных абиотических стрессоров. В последние годы отмечается тенденция к увеличению частоты и продолжительности засух как ранневесенних, так и устойчивых. Существует много механизмов приспособления к дефициту влаги в зависимости от генотипа и экотипа сорта (усиление поглощения воды из глубоких слоев почвы, снижение транспирационных потерь, приобретение «ксероморфности» и т. д.), которые проявляются в онтогенезе (по фазам развития) в процессе дифференциальной активности генов. В настоящий момент актуальность приобретают работы по фенотайпингу (расчленению) признака засухоустойчивости на элементарные компоненты [1].

Яровая мягкая пшеница (*T. aestivum* L.) характеризуется относительно слабым развитием корневой системы на начальных этапах развития, что делает ее очень чувствительной к дефициту влаги в почве [2, 3]. В период прорастания в условиях недостаточного увлажнения, особенно в сочетании с высокой температурой, увеличивается интенсивность дыхания семян и расходование питательных веществ эндосперма. Семена сильно истощаются, плесневеют, теряют всхожесть. Жизнеспособность проросших семян снижается, что приводит к значительной изреженности, а иногда и полной гибели посевов, поражению грибными болезнями, повреждению вредителями. Для решения этой проблемы необходимо создавать сорта с высокой полевой засухоустойчивостью, особенно до колошения [4].

Оценка уровня засухоустойчивости в поле требует больших затрат и многолетних

наблюдений, поэтому наиболее приемлемым способом оценки засухоустойчивости растений, апробированным многими исследователями, является способ проращивания зерна в растворе сахарозы [5, 6]. В ювенильный период развития организмы проявляют наибольшую чувствительность к стрессору, а различия, проявляющиеся между сортами, сохраняются у взрослых растений [7].

Для создания устойчивых сортов методами традиционной рекомбинантной селекции необходимо, прежде всего, сфокусировать внимание на двух задачах. Во-первых, получить информацию о донорах и источниках засухоустойчивости для вовлечения их в гибридизацию [8, 9, 10]; во-вторых, иметь возможность эффективного отбора генотипов, которые способны обеспечить стабильный режим обмена веществ в изменяющихся гидротермических условиях [11, 12]. Для этого нужно выделить элементы, которые хорошо проявляются и наследуются на начальных этапах развития. При оценке воздействия засухи на растения в ювенильный период развития ключевую роль могут играть такие морфологические и физиологические признаки, как всхожесть семян, число зародышевых корней, масса проростка. Многие исследователи особое внимание уделяют развитию первичной корневой системы яровой пшеницы [13, 14, 15].

**Цель исследований** – дать характеристику сортов яровой пшеницы по уровню засухоустойчивости в ювенильный период развития растений, определить их общую (ОКС) и специфическую (СКС) комбинационную способность, на основе коэффициентов наследуемости физиологических и морфологических

признаков проростков прогнозировать эффективность отборов на устойчивость к ранневесенней засухе.

**Материал и методы.** Исследования проведены в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока на яровой пшенице урожая 2019 года. Объектом исследования служили 8 родительских сортов и 16 гибридных комбинаций  $F_2$  (по зерну), полученные с их участием методом полных топ-кроссов. В качестве отцовских и материнских форм использовали сорта различного эколого-географического происхождения из мировой коллекции ФИЦ ВИР, которые, согласно интегральной оценке уровня засухоустойчивости в фазу проростков и кластерному анализу [16], находились в отдаленных кластерах.

Засухоустойчивость исходных форм и гибридов определяли по методике Н. Н. Кожушко<sup>1</sup>. Здоровые, нормально выполненные семена каждого образца проращивали в чашках Петри (выборка из 30 семян, повторность трехкратная) в термостате при температуре 20...21 °С в течение 5 суток. В контроле использовали дистиллированную воду, в опыте создали имитацию почвенной засухи раствором сахарозы концентрацией 74,45 г/л (соответствует осмотическому давлению 9 атм.). У изучаемых генотипов в обоих вариантах исследования определяли всхожесть семян, число зародышевых корней, сухую массу проростков, соотношение сухой массы корней и ростков (индекс Root-Shoot Ratio (RSR)). Для оценки вклада генотипа (фактор А), влияния условий проращивания (фактор В) в изучаемые признаки у сортов и гибридов, а также степени влияния родительских компонентов ( $h^2_A$ ,  $h^2_B$ ,  $h^2_{AB}$ ) в выраженность признаков у гибридов, использовали двухфакторный дисперсионный анализ. Общий коэффициент наследуемости ( $h^2$ ) рассчитывали по методике Н. А. Плохинского<sup>2</sup> как долю генетической изменчивости в общей вариабельности признака. Оценку эффектов общей и специфической комбинационной способности (ОКС и СКС) родительских форм проводили по методическим рекомендациям В. Г. Вольфа<sup>3</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Искусственно созданная засуха существенно повлияла на всхожесть семян у большинства

родительских сортов ( $НСР_{05}$  по фактору В = 5,8%;  $F_{факт} = 25,6$ ) – общее снижение параметра по отношению к контролю составило 16,0 %. Обнаружена высокая сортовая специфичность ответа генотипов на стресс – от повышения всхожести (на 2,4 % к контролю) у сорта Kitt до значительного снижения параметра (на 40,0 %) у сорта Карабалыкская 91. Отмечено, что материнские формы сильнее, чем отцовские, реагировали на засуху: снижение составило 21,1 и 10,9% соответственно. Генотипические различия по всхожести семян были достоверными ( $НСР_{05}$  по фактору А) = 11,7 %;  $F_{факт} = 6,06$ ). Высокими абсолютными значениями всхожести наряду с низкой чувствительностью к засухе характеризовалась отцовская форма Kitt (табл. 1).

В контрольном варианте исследования наибольшее число зародышевых корней в перерасчете на 1 проросток выявлено у сорта NOS Norko (5,08 шт.), в опытном – у сорта Jahuara F-77 (4,10 шт.). Общее снижение показателя в ответ на осмотический стресс было достоверным ( $НСР_{05}$  по фактору В = 0,25 шт.;  $F_{факт} = 55,0$ ) и составило в среднем 0,9 шт., или 19,3 %. Материнские формы реагировали на стресс сильнее (-25,8 %), чем отцовские (-12,8 %). Устойчивостью к засухе по числу зародышевых корней характеризовались сорта Klein Vencedor и Jahuara F-77 (незначимое снижение на 5,4...5,7 %).

Особенно сильно стрессовый фактор повлиял на массу проростка ( $НСР_{05}$  по фактору В = 0,53 мг;  $F_{факт} = 548,60$ ). Снижение показателя у всех без исключения генотипов было достоверным и варьировало в пределах от 48,4 до 77,3 %, а среднее по опыту снижение массы проростка составило 67,1 %. Наибольшей чувствительностью к засухе по этому признаку характеризовалась материнская форма Воронежская 8, а наибольшей устойчивостью к данному стрессору – сорта Симбирцит и Klein Vencedor. Если судить по абсолютным значениям массы проростка, показанным в контроле и косвенно характеризующим потенциальную продуктивность сорта [17], то можно выделить родительскую форму Карабалыкская 91 с максимальным значением данного параметра (11,69 мг).

<sup>1</sup>Кожушко Н. Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Методическое руководство. Л.: ВИР, 1988. С. 10-24.

<sup>2</sup>Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М., «Колос», 1969. 256 с.

<sup>3</sup>Вольф В. Г., Литун П. П., Хавелова А. В., Кузьменко Р. И. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков, 1980. 76 с.

*Таблица 1 – Характеристика родительских сортов по физиологическим и морфометрическим параметрам проростков в нормальных и стрессовых условиях /  
Table 1 – Characteristics of parent varieties by physiological and morphometric parameters of seedlings under normal and stressful conditions*

<i>Исходная форма, № по каталогу ВИР, происхождение / Original form, VIR Catalogue No, Origin</i>	<i>Всхо- жесть, %/ Germin- ation, %</i>	<i>Число зародыше- вых корней, шт. / The number of em- bryonic roots, pcs</i>	<i>Сухая масса проростка, мг / Dry weight of the seedling, mg</i>	<i>RSR</i>
♀ Симбирцит, к-64548, Россия, Ульяновская обл. /	72,2	4,15	5,85	0,76
♀ Simbircit, к-64548, Russia	55,6*	3,57*	3,01*	0,86
♀ Карабалыкская 91, к-65266, Казахстан / ♀ Karabalykskaya 91, к-65266, Kazakhstan	94,4	4,79	11,69	0,81
♀ Эритроспермум 2945, к-57712, Россия, Саратовская обл. /	85,6	4,74	8,47	0,83
♀ Erythrosperrnum 2945, к-57712, Russia	76,7*	3,14*	2,13*	1,25*
♀ Воронежская 8, к-57115, Россия, Воронежская обл. /	98,9	4,66	8,98	0,94
♀ Voronezhskaya 8, к-57115, Russia	88,9*	3,05*	2,04*	1,54*
♂ Jahuara F-77, к-62068, Мексика / ♂ Jahuara F-77, к-62068, Mexico	97,8	4,35	10,62	1,26
♂ NOS Norko, к-44967, Германия / ♂ NOS Norko, к-44967, Germany	78,9*	4,10	3,82*	2,21*
♂ Kitt, к-54849, США / ♂ Kitt, к-54849, USA	93,3	5,08	8,55	0,90
♂ Klein Vencedor, к-29766, Аргентина / ♂ Klein Vencedor, к-29766, Argentina	80,0*	3,63*	2,43*	1,03
♂ Kitt, к-54849, США / ♂ Kitt, к-54849, USA	92,2	4,13	8,75	1,00
♂ Klein Vencedor, к-29766, Аргентина / ♂ Klein Vencedor, к-29766, Argentina	94,4	3,66*	2,26*	1,49*
♂ Klein Vencedor, к-29766, Аргентина / ♂ Klein Vencedor, к-29766, Argentina	88,9	4,24	9,18	0,84
♂ Klein Vencedor, к-29766, Аргентина / ♂ Klein Vencedor, к-29766, Argentina	78,0*	4,01	4,29*	1,48*
Среднее в опыте (n = 8) / The average value in the experience (n = 8)	90,5	4,52	9,01	0,92
Среднее в опыте (n = 8) / The average value in the experience (n = 8)	76,1*	3,62*	2,89	1,42*
Коэффициент вариации (V, %) / Coefficient of variation (V, %)	9,4	7,8	18,9	17,2
Коэффициент вариации (V, %) / Coefficient of variation (V, %)	18,2	10,3	32,7	39,2
НСР <sub>05</sub> (фактор А) / LSD <sub>05</sub> (factor A)	11,7	-	1,07	0,26
НСР <sub>05</sub> (фактор В) / LSD <sub>05</sub> (factor B)	5,8	0,25	0,53	0,13

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 9 атм.; \* – опытные величины значительно отличаются от контрольных,  $p \leq 0,05$  /

Notes: the top line is the control, the bottom line is 9 at.; \* – experimental values are significantly different from the control,  $p \leq 0.05$

Важной адаптивной реакцией растительного организма на условия среды является перераспределение его ресурсов между надземной и подземной частями (индекс RSR). В нормальных условиях основная часть пластических веществ обычно переносится в надземные органы. При дефиците ресурсов, как правило, наблюдается увеличение удельного веса корней, связанное с ингибированием роста побега и одновременным усилением притока ассимилятов к корням, что обусловлено множественной гормональной регуляцией [18]. Общая реакция изучаемых сортов на осмотический стресс, выраженная повышением индекса RSR в среднем с 0,92 до 1,42 (на 54,1 %) была статистически значимой (НСР<sub>05</sub> = 0,13; F<sub>факт</sub> = 62,39). Максимальное повышение пока-

зателя отмечено у сорта Карабалыкская 91 (на 90,1 %). Значимых изменений в перераспределении биомассы между корнем и ростком не выявлено у сортов Симбирцит и NOS Norko. Наибольшее значение индекса RSR как в контроле, так и в опыте отмечено у сорта Jahuara F-77, наименьшее – у сорта Симбирцит.

Как известно, экспрессивность генов, отвечающих за устойчивость к дефициту воды в фазе проростков («ювенильных генов»), проявляется по мере возрастания стрессовой нагрузки. В нашем случае возрастание амплитуды изменчивости межсортовых значений изучаемых признаков в опыте (V = 10,3...39,2 %) по сравнению с контролем (V = 7,8...18,9 %) говорит об усилении адаптивного ответа на стрессовые воздействия у отдельных гено-

типов. Особенно сильные генотипические различия в опыте наблюдали по признакам «сухая масса проростка» и «RSR», что свидетельствует о высокой информативности этих показателей и позволяет более точно ранжировать исходные формы по степени устойчивости к стрессору.

В гибридных комбинациях  $F_2$ , полученных с участием вышеописанных сортов, средняя всхожесть семян в контрольном и опытном вариантах исследования соответствовала 94,7 и 78,9 %. Эти показатели незначительно превышали соответствующие средние значения исходных форм. Общее снижение всхожести в ответ на стресс у гибридов составило 16,7 %, при этом минимальное снижение отмечено в комбинации Карабалыкская 91 x Jahuara F-77 (7,3 %), максимальное – в комбинации Карабалыкская 91 x Kitt (32,7 %). Коэффициент межсортового варьирования всхожести ( $V$ , %) в гибридных комбинациях был значительно ниже, чем аналогичный показатель у родительских сортов, и составил 2,6 % в контроле и 9,4 % в опыте.

Показатель числа корешков у гибридов в контроле в среднем был равен 4,66 шт. на 1 проросток, с размахом изменчивости в зависимости от комбинации от 4,12 до 5,05 шт. ( $V = 5,0$  %), т. е. практически не выходил за пределы значений родителей. В условиях, имитирующих почвенную засуху, гибриды, как правило, характеризовались большим, чем исходные сорта, числом корней (среднее значение 3,84 шт., лимиты 3,13...4,99 шт.), что делает возможным проведение отборов трансгрессивных форм в комбинациях Эритроспермум 2945 x NOS Norko, Симбирцит x NOS Norko, Симбирцит x Jahuara. Что касается степени чувствительности к засухе, то наблюдалось большое разнообразие реакций гибридных популяций – от снижения показателя (на 9,5...33,1 %) до его повышения (на 3,7...4,4 %). Высокий адаптивный ответ, выраженный повышением числа корней в опытном варианте, наблюдали в двух комбинациях: Симбирцит x Jahuara F-77 и Эритроспермум 2945 x NOS Norko, причем в последней комбинации оба родителя отличались низким уровнем засухоустойчивости по параметру «число зародышевых корней».

У гибридов  $F_2$  отмечен высокий положительный сдвиг среднего значения параметра «сухая масса проростка» по сравнению с исходными формами. Данный показатель

в контрольном и опытном вариантах исследования соответствовал в среднем 12,03 и 3,55 мг, средняя прибавка к родителям составила 3,02 мг (33,5 %) и 0,66 мг (22,8 %). Таким образом, в поколении  $F_2$  по массе проростка наблюдали резко выраженный гетерозисный эффект. Выделены перспективные по данному признаку образцы: в нормальных условиях – Воронежская 8 x Jahuara F-77 и Эритроспермум 2945 x Klein Vencedor, в условиях осмотического стресса – Симбирцит x Nos Norko и Воронежская 8 x Nos Norko. Реакция на недостаток воды, выраженная процентом снижения биомассы проростка в опыте, была сильной у всех гибридных комбинаций (61,0...78,3%), минимум отмечен в комбинации Воронежская 8 x Nos Norko.

Показатель весового соотношения корней и ростков (индекс RSR) у гибридов в контроле был на 6,5 % ниже аналогичного показателя у родителей и составил в среднем 0,86. Размах изменчивости признака в зависимости от комбинации находился в пределах от 0,69 до 1,10. Это означает, что большая часть пластических веществ у гибридов, также как у родителей, в нормальных условиях направлялась на формирование надземной части проростка. Под влиянием стрессора значение удельного веса корней у гибридов значительно увеличилось по сравнению с исходными сортами – в среднем до 1,68 (+95 %), лимиты значений составили 1,02...2,20. Более выраженная адаптивная реакция на засуху у гибридов  $F_2$  по индексу RSR может быть обусловлена наследованием от родителей компенсационного комплекса благоприятных генов.

У гибридов  $F_2$  в связи с их высокой гетерозиготностью генотипическое и фенотипическое разнообразие внутри популяций было значительно выше, чем у исходных форм, поэтому различия между комбинациями выразились слабее (в контроле  $V = 5,0$ ...12,8 %, в опыте  $V = 9,4$ ...21,4 %). Однако необходимо отметить, что общая тенденция к увеличению межсортового варьирования под влиянием стрессора подтверждалась и в гибридных популяциях.

Применение генетико-статистических характеристик позволяет анализировать генетическую структуру гибридных популяций, оценивать селекционную ценность критериев, повышать результативность отборов в ранних поколениях. Среди методов оценки донорских свойств сорта по количественным признакам

наиболее изученной является система оценок по общей комбинационной способности (ОКС). Для выявления эффективных источников устойчивости к ранневесенней засухе

определяли ОКС сортов на основе топкроссных скрещиваний (4x4). Достоверность различий устанавливали относительно среднего значения ОКС, равного 0 (табл. 2).

**Таблица 2 – Оценка эффектов ОКС исходных форм мягкой яровой пшеницы в нормальных и стрессовых условиях /**

**Table 2 – Evaluation of the effects of general combining ability (GCA) of spring soft wheat original forms under normal and stressful conditions**

<i>Исходная форма, № по каталогу ВИР, происхождение / Original form, VIR Catalogue No, Origin</i>	<i>Всхожесть / Germination</i>	<i>Число зародышевых корней / The number of embryonic roots</i>	<i>Сухая масса проростка / Dry weight of the seedling</i>	<i>RSR</i>
♀ Симбирцит, к-64548, Россия, Ульяновская обл. /	0,21	-0,18	-0,60	0,06*
♀ Simbircit, к-64548, Russia	1,37	0,12	0,27*	0,26*
♀ Карабалыкская 91, к-65266, Казахстан /	-1,97	0,01	-0,42	-0,09
♀ Karabalykская 91, к-65266, Kazakhstan	-5,75	-0,12	-0,50	0,19
♀ Эритроспермум 2945, к-57712, Россия, Саратовская обл. /	2,51*	0,08*	0,94*	0,04*
♀ Erythrosperrnum 2945, к-57712, Russia	4,41	-0,03	-0,01	-0,24
♀ Воронежская 8, к-57115, Россия, Воронежская обл. /	-0,75	0,09*	0,07	-0,01
♀ Voronezhская 8, к-57115, Russia	-0,03	0,02	0,24*	-0,20
♂ Jahuara F-77, к-62068, Мексика /	-0,33	-0,05	0,21	0,10*
♂ Jahuara F-77, к-62068, Mexico	3,03	0,20*	0,07	0,05
♂ NOS Norko, к-44967, Германия /	-0,61	0,20*	0,15	-0,05
♂ NOS Norko, к-44967, Germany	-2,95	0,29*	0,48*	-0,06
♂ Kitt, к-54849, США /	-0,69	-0,08	-0,26	0,01
♂ Kitt, к-54849, USA	-2,39	-0,35	-0,41	0,23*
♂ Klein Vencedor, к-29766, Аргентина /	1,64	-0,07	-0,10	-0,05
♂ Klein Vencedor, к-29766, Argentina	2,31	-0,35	-0,15	-0,22
	2,20	0,06	0,48	0,03
НСР <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	5,12	0,19	0,22	0,22

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 9 атм.; \* – достоверно высокие значения ОКС.  
Notes: the top line is the control, the bottom line is 9 at.; \* – reliably high values of GCA

Достоверно высокие значения ОКС сорта в контрольном варианте исследования указывают на его способность эффективно передавать ценные признаки потомству в оптимальных условиях выращивания. Достоверно высокой ОКС по всем изучаемым параметрам характеризовалась исходная форма Эритроспермум 2945, по числу зародышевых корней – Воронежская 8 и NOS Norko. В стрессовых условиях достоверно высокую ОКС по числу зародышевых корней показали исходные формы NOS Norko и Jahuara F-77, по массе проростка – Симбирцит, Воронежская 8 и NOS Norko, по индексу RSR – Симбирцит и Kitt.

Выделены исходные формы, имеющие существенно высокие значения СКС как в нормальных, так и стрессовых условиях: по числу зародышевых корней – Карабалык-

ская 91, по накоплению проростками сухой массы – Симбирцит, Карабалыкская 91 и Jahuara F-77. Отцовские формы Jahuara F-77 и NOS Norko имели существенно высокую СКС по индексу RSR, показанному в нормальных условиях развития.

По результатам комплексной оценки исходных сортов выделены гибридные комбинации, перспективные для селекции на устойчивость к ранневесенней засухе (табл. 3).

Важным условием оценки эффективности селекции по указанным выше параметрам является выявление доли генотипической изменчивости в общей вариабельности признака, которая свидетельствует о соответствии между генотипом и фенотипом. Весьма актуальным вопросом является изучение изменчивости генетической вариации при переходе от нор-

мальных условий к стрессовым. Для этой цели в двухфакторном дисперсионном комплексе определяли общий коэффициент наследуемо-

сти ( $h^2_0$ ), влияние материнских ( $h^2_A$ ), отцовских форм ( $h^2_B$ ) и их взаимодействия ( $h^2_{AB}$ ) в контрольном и опытном вариантах (табл. 4).

**Таблица 3 – Гибридные комбинации F<sub>2</sub> с устойчивостью к засухе в ювенильный период развития / Table 3 – Hybrid combinations of F<sub>2</sub> with resistance to drought in the juvenile development period**

Гибридная комбинация / Hybrid combination	Всхожесть, % / Germination, %	Число зародышевых корней, шт. / The number of embryonic roots, pcs.	Сухая масса проростка, мг / Dry weight of the seedling, mg	RSR
Симбирцит x Jahuara F-77 / Simbircit x Jahuara F-77	93,1 77,8*	4,12 4,30*	9,60 3,28*	0,87 2,20*
Симбирцит x NOS Norko / Simbircit x NOS Norko	93,3 75,6*	4,75 4,30*	12,17 4,40*	0,96 1,88*
Карабалыкская 91 x Jahuara F-77 / Karabalykская 91 x Jahuara F-77	92,2 85,5*	4,74 4,27*	12,58 3,87*	0,92 1,65*
Карабалыкская 91 x Klein Vencedor / Karabalykская 91 x Klein Vencedor	95,4 80,5*	4,60 4,09*	12,37 2,66*	0,71 1,92*
Эритроспермум 2945 x NOS Norko / Erythrosperrmum 2945 x NOS Norko	97,8 85,5*	4,81 4,99*	12,71 4,08*	0,82 1,58*
Воронежская 8 x NOS Norko / Voronezhская 8 x NOS Norko	98,3 81,6*	4,84 3,82*	11,49 4,48*	0,71 1,09*
Воронежская 8 x Jahuara F-77 / Voronezhская 8 x Jahuara F-77	93,3 83,3*	4,76 3,91*	13,82 3,42*	0,94 1,71*
Воронежская 8 x Kitt / Voronezhская 8 x Kitt	93,3 83,3*	4,87 3,88*	12,66 3,61*	0,90 2,05*
Среднее в опыте (n = 16) / The average value in the experiment (n = 16)	94,7 78,9*	4,66 3,84*	12,03 3,56*	0,86 1,69*
Коэффициент вариации (V, %) / Coefficient of variation (V, %)	2,6 9,4	5,1 12,5	10,9 16,4	12,8 21,4
HCP <sub>05</sub> (фактор A) / LSD <sub>05</sub> (factor A)	-	0,41	1,01	-
HCP <sub>05</sub> (фактор B) / LSD <sub>05</sub> (factor B)	3,6	0,15	0,36	0,15

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 9 атм; \* – опытные величины значительно отличаются от контрольных,  $p \leq 0,05$  /

Notes: the top line is the control, the bottom line is 9 at. \* – experimental values are significantly different from the control,  $p \leq 0.05$

**Таблица 4 – Коэффициенты наследуемости ( $h^2$ ) физиологических и морфометрических параметров проростков яровой пшеницы в нормальных и стрессовых условиях / Table 4 – Heritability coefficients ( $h^2$ ) of physiological and morphometric parameters of spring wheat seedling under normal and stressful conditions**

Признак / Character	Коэффициент наследуемости / Heritability coefficients			
	$h^2_A$	$h^2_B$	$h^2_{AB}$	$h^2_0$
Всхожесть семян / Seed germination	0,12 0,09	0,04 0,05	0,09 0,22	0,25 0,36
Число зародышевых корней / The number of embryonic roots	0,19* 0,02	0,21* 0,17*	0,42* 0,37*	0,82 0,56
Сухая масса проростка / Dry weight of the seedling	0,14* 0,19*	0,01 0,22*	0,49* 0,24*	0,64 0,65
RSR (root-soot ratio)	0,22* 0,17*	0,26* 0,09	0,32* 0,16	0,80 0,42

Примечания: верхняя строка – контроль, нижняя строка – 9 атм. \* – статистически значимо при  $p \leq 0,05$  / Notes: the top line is the control, the bottom line is 9 at.; significant at  $p \leq 0.05$

Влияние родительских компонентов на всхожесть семян у гибридов F<sub>2</sub> было несущественным. Значение общего коэффициента наследуемости (h<sup>2</sup><sub>0</sub>) не позволило с достаточной точностью выделить лучшие комбинации по проявлению этого признака. По остальным параметрам в контроле вклад материнских и отцовских форм, а также их взаимодействия был значимым, за исключением влияния отцовских компонентов на массу проростка. Значения общих коэффициентов наследуемости свидетельствуют о том, что отбор в нормальных условиях может быть высокоэффективным по числу зародышевых корней и индексу RSR.

Есть мнение, что при увеличении фенотипического и генотипического разнообразия исследуемого признака наблюдается тенденция роста погрешности в прогнозе селекционного эффекта [19]. В нашем случае об этом говорит снижение величины коэффициента наследуемости параметров «число корней» и «индекс RSR» при переходе от оптимальных условий к стрессовым. В опытном варианте исследования отмечен незначимый вклад материнских компонентов на число зародышевых корней, и отцовских – на показатель RSR. Таким образом, в стрессовых условиях наиболее результативным будет отбор по признаку «сухая масса проростка».

**Выводы.** Влияние искусственно созданной засухи на 5-дневные проростки яровой пшеницы оказалось весьма существенным по всем изучаемым параметрам, максимальное снижение наблюдалось по массе проростков.

Осмотический стресс усилил отток пластических веществ в корневую систему (индекс RSR увеличился в 1,6 раза у сортов и в 1,9 раза у гибридов). Отмечена высокая сортовая специфичность как абсолютных значений признаков, так и реакции на стресс.

По числу зародышевых корней в контроле преимущество имел сорт NOS Norko (Германия), по массе проростка – Карабалыкская 91 (Казахстан). Наибольшие значения RSR в контрольном и опытном вариантах отмечены у сорта Jahuara F-77 (Мексика). Отсутствием реакции на засуху по всхожести семян характеризовался сорт Kitt (США), по числу корней – Jahuara F-77 (Мексика) и Klein Vencedor (Аргентина).

На основании анализа родительских сортов по общей и специфической комбинационной способности выделены 8 гибридных комбинаций, перспективных для дальнейшего изучения. Наибольший гетерозисный эффект, выраженный увеличением среднего значения признака у гибридов по отношению к родителям, наблюдали по массе проростков, наименьший – по числу зародышевых корней.

В стрессовых условиях генотипические различия у сортов и гибридов выражены сильнее, чем в нормальных. Величина наследуемости параметров «число зародышевых корней», «сухая масса проростка» и «индекс RSR», свидетельствует о высокой информативности этих показателей и позволяет проводить отборы на устойчивость к ранневесенней засухе в лабораторных условиях.

#### Список литературы

1. Драгавцев В. А., Михайленко И. М., Проскураков М. А. Неканонический подход к решению задачи наследственного повышения засухоустойчивости у растений (на примере хлебных злаков). Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):487-500. DOI: <http://10.15389/agrobyology.2017.3.478rus>
2. Прокина Л. Н. Отзывчивость яровой пшеницы на внесение макро- и микроудобрений в условиях юга Нечерноземной зоны. Достижения науки и техники АПК. 2011;(7):31-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16543408>
3. Nadew B. B. Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. Advances in Crop Science and Technology. 2018;6(2):356. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000356>
4. Коробейников Н. И. Задачи и результаты селекции яровой мягкой пшеницы на Алтае. Научное обеспечение АПК Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Башкортостана. Новосибирск, 2002. С. 217-219.
5. Олейникова Т. В., Осипов Ю. Ф. Определение засухоустойчивости сортов пшеницы и ячменя, линий и гибридов кукурузы по прорастанию семян на растворах сахарозы с высоким осмотическим давлением. Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. Л.: Колос, 1976. С. 23-32.
6. Nulsen R. A., Thurllell G. W. Effects of osmotic around the roots on water uptake by maize plant. Australian J. Plant Physiol. 1980;7:27-34.
7. Марченкова Л. А., Давыдова Н. В., Чавдарь Р. Ф., Орлова Т. Г., Казаченко А. О., Грачева А. В., Широколава А. В. Оценка адаптивности сортов и линий яровой пшеницы на фоне искусственно моделируемых стрессов. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017;(5(151)):9-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29220885>

8. Сюков В. В. Методы подбора родительских пар для гибридизации у самоопыляющихся растений. Самара: «НТЦ», 2007. 83 с.
9. Митрофанова О. П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и предселекционное изучение. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012;16(1):10-20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17854542>
10. Давыдова Н. В., Казаченко А. О. Особенности подбора исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013;(5(103)):5-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19012020>
11. Крупнов В. А. Засуха и селекция пшеницы: системный подход. Сельскохозяйственная биология. 2011;46(1):12-23. Режим доступа: <http://www.agrobiology.ru/1-2011krupnov.html>
12. Кривобочек В. Г. Подбор исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Селекция – инновационный путь развития сельского хозяйства: мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. (13-14 июля 2017 г.). Ульяновск, 2017. С. 137-142.
13. Ричардс З. А., Кондон А. Г., Ребецке Г. Дж. Признаки, по которым улучшают урожайность в условиях засухи. Применение физиологии в селекции пшеницы. Киев: Логос, 2007. С. 184-207.
14. Новохатин В. В. Первичная корневая система яровой мягкой пшеницы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015;(1):35-39.
15. Грабовец А. И. Селекция пшеницы при усилении засух. Российская сельскохозяйственная наука. 2016;(5):3-6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26700954>
16. Амунова О. С., Тиунова Л. Н. Генетическое разнообразие мягкой яровой пшеницы по устойчивости к ранней засухе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(1(62)):32-37. DOI: <https://doi.org/10.30766/2079-9081.62.1.32-37>
17. Степанов С. А. Морфогенетические особенности реализации продукционного процесса у яровой пшеницы. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2009;9(1):50-54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12966458>
18. Кудоярова Г. Р., Веселов С. Ю., Усманов И. Ю. Гормональная регуляция соотношения биомассы побег/корень при стрессе. Журнал общей биологии. 1999;60(6):633-641.
19. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. В 3-х томах. М.: Изд-во Агрорус, 2008. Т. 1. 816 с.

#### References

1. Dragavtsev V. A., Mikhaylenko I. M., Proskuryakov M. A. *Nekanonicheskiy podkhod k resheniyu zadachi nasledstvennogo povysheniya zasukhoustoychivosti u rasteniy (na primere khlebnnykh zlakov)*. [On how we can non-canonically increase hereditary drought resistance in plants (by an example of cereals)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2017;52(3):487-500. DOI: <http://10.15389/agrobyology.2017.3.478rus>
2. Prokina L. N. *Otzyvchivost' yarovoy pshenitsy na vnesenie makro- i mikroudobreniy v usloviyakh yuga Nечernozemnoy zony*. [Responsiveness of a spring wheat on entering long-term grasses in conditions of the south of the nonchernozem zone]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011;(7):31-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16543408>
3. Nadew B. B. Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. *Advances in Crop Science and Technology*. 2018;6(2):356. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000356>
4. Korobeynikov N. I. *Zadachi i rezul'taty seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy na Altae. Nauchnoe obespechenie APK Sibiri, Mongolii, Kazakhstana, Belarusi i Bashkortostana*. [Tasks and results of spring soft wheat breeding in Altai. Scientific support of the agro-industrial complex of Siberia, Mongolia, Kazakhstan, Belarus and Bashkortostan]. Novosibirsk, 2002. pp. 217-219.
5. Oleynikova T. V., Osipov Yu. F. *Opredelenie zasukhoustoychivosti sortov pshenitsy i yachmenya, liniy i gibridov kukuruzy po prorastaniyu semyan na rastvorakh sakharozy s vysokim osmoticheskim davleniem. Metody otsenki ustoychivosti rasteniy k neblagopriyatnym usloviyam sredy*. [Determination of drought tolerance of wheat and barley varieties, lines and hybrids of corn by seed germination on sucrose solutions with high osmotic pressure. Methods for assessing plant resistance to adverse environmental conditions]. Leningrad: *Kolos*, 1976. pp. 23-32.
6. Nulsen R. A., Thurllell G. W. Effects of osmotic around the roots on water uptake by maize plant. *Australian J. Plant Physiol*. 1980;7:27-34.
7. Marchenkova L. A., Davydova N. V., Chavdar' R. F., Orlova T. G., Kazachenko A. O., Gracheva A. V., Shirokolava A. V. *Otsenka adaptivnosti sortov i liniy yarovoy pshenitsy na fone iskusstvenno modeliruemyykh stressov*. [Adaptability evaluation of spring wheat varieties and breeding lines under the conditions of artificially modeled stress factors]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017;(5(151)):9-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29220885>
8. Syukov V. V. *Metody podbora roditel'skikh par dlya gibridizatsii u samoopylyayushchikhsya rasteniy*. [Methods of selection of parental pairs for hybridization in self-pollinating plants]. Samara: «NTTs», 2007. 83 p.

9. Mitrofanova O. P. *Geneticheskie resursy pshenitsy v Rossii: sostoyanie i predselektionnoe izuchenie*. [Wheat genetic resources in Russia: current status and pre-breeding]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2012;16(1):10-20. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17854542>

10. Davydova N. V., Kazachenko A. O. *Osobennosti podbora iskhodnogo materiala dlya seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Tsentral'nogo Nechernozem'ya*. [Features of starting material selection for spring soft wheat selective breeding in the Central Nechernozemie (nonblack soil zone)]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2013;(5(103)):5-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19012020>

11. Krupnov V. A. *Zasukha i seleksiya pshenitsy: sistemnyy podkhod*. [Drought and wheat breeding: system approach]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2011;46(1):12-23. (In Russ.). URL: <http://www.agrobiology.ru/1-2011krupnov.html>

12. Krivobochechek V. G. *Podbor iskhodnogo materiala dlya seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya*. [Selection of source material for breeding spring soft wheat in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga]. *Seleksiya – innovatsionnyy put' razvitiya sel'skogo khozyaystva: mat-ly Vseross. nauch.-prakt. konf. (13-14 iyulya 2017 g.)*. [Breeding is an innovative way of agricultural development: Proceedings of the All-Russian scientific and practical Conf. (July 13-14, 2017)]. Ul'yanovsk, 2017. pp. 137-142.

13. Richards Z. A., Kondon A. G., Rebetske G. Dzh. *Priznaki, po kotorym uluchshayut urozhaynost' v usloviyakh zasukhi. Primenenie fiziologii v seleksii pshenitsy*. [Traits that improve productivity in drought conditions. The use of physiology in wheat breeding]. Kiev: Logos, 2007. pp. 184-207.

14. Novokhatin V. V. *Pervichnaya kornevaya sistema yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Primary root system of spring common wheat]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2015;(1):35-39. (In Russ.).

15. Grabovets A. I. *Seleksiya pshenitsy pri usilenii zasukh*. [Breeding of wheat with increased of droughts]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2016;(5):3-6. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26700954>

16. Amunova O. S., Tiunova L. N. *Geneticheskoe raznoobrazie myagkoy yarovoy pshenitsy po ustoychivosti k ranney zasukhe*. [Genetic diversity of soft spring wheat in resistance to early drought]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(1(62)):32-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2079-9081.62.1.32-37>

17. Stepanov S. A. *Morfogeneticheskie osobennosti realizatsii produktsionnogo protsessa u yarovoy pshenitsy*. [Morphogenesis of Feature of Realization Production of Process at Spring Wheat]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya* = Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology. 2009;9(1):50-54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12966458>

18. Kudoyarova G. R., Veselov S. Yu., Usmanov I. Yu. *Gormonal'naya regulyatsiya sootnosheniya biomassy pobeg/koren' pri stresse*. [Hormonal regulation of shoot/root biomass rate under stress condition]. *Zhurnal obshchey biologii*. 1999;60(6):633-641. (In Russ.).

19. Zhuchenko A. A. *Adaptivnoe rastenievodstvo (ekologo-geneticheskie osnovy). Teoriya i praktika. V 3-kh tomakh*. [Adaptive crop production (ecological and genetic basis). Theory and practice. In 3 volumes]. Moscow: Izd-vo Agrorus, 2008. Vol. 1. 816 p.

#### **Сведения об авторах**

**Амунова Оксана Сергеевна**, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д.166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

✉ **Волкова Людмила Владиславовна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д.166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0837-8425>, e-mail: [volkovkirov@mail.ru](mailto:volkovkirov@mail.ru)

#### **Information about the authors**

**Oksana S. Amunova**, PhD in Biology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

✉ **Lyudmila V. Volkova**, PhD in Biology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0837-8425>, e-mail: [volkovkirov@mail.ru](mailto:volkovkirov@mail.ru)

✉ – Для контактов / Corresponding author