

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.538-548>

УДК 633.11:581.1.051

Поиск продуктивных, засухоустойчивых образцов мягкой яровой пшеницы для селекции в условиях Кировской области

© 2023. О. С. Амунова✉, А. В. Мамаева

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

В статье представлены результаты изучения 73 образцов мягкой яровой пшеницы из числа новых поступлений в мировую коллекцию Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт растениеводства имени Н. И. Вавилова» для включения продуктивных, устойчивых к засухе образцов в рабочую коллекцию по селекции культуры в условиях Кировской области. По результатам полевой оценки 2019...2021 гг., включающей анализ элементов структуры продуктивности и урожайности, выделены 23 образца в качестве источников селекционно-ценных признаков. По наименьшей депрессии значений элементов продуктивности в засушливый год (2021, ГТК = 1,07) относительно оптимального по влагообеспеченности (2019, ГТК = 1,30) отечественные среднеспелые образцы РИМА (Московская обл., Рязанская обл.), Тобольская (Алтайский кр.), Ульяновская 105 и Экада 70 (Ульяновская обл.) отнесены к засухоустойчивым, что позволяет использовать их в селекции на устойчивость к летней засухе. Устойчивость к ранневесенней засухе оценивали в лабораторных условиях при имитации засухи (раствор сахарозы, осмотическое давление 6 атм.) и нормальных условиях увлажнения (дистиллированная вода, 0 атм.) по проценту прорастания семян и параметрам одного проростка (число зародышевых корней, масса сухого вещества). В результате выделено 19 потенциально засухоустойчивых образцов мягкой яровой пшеницы. Для включения в селекцию на устойчивость к ранневесенней засухе рекомендованы среднеранние сорта Зауралочка (Курганская обл., РФ) и Чайка (Беларусь), среднеспелые – РИМА (Московская обл., Рязанская обл., РФ) и Уралосибирская (Омская обл., РФ). Выявлены высокопродуктивные образцы с комплексной засухоустойчивостью – Экада 109 (Республика Татарстан, РФ) и Екатерина (Свердловская обл., РФ), что позволяет рассматривать их в качестве универсальных доноров для создания адаптированных к условиям Кировской области сортов мягкой яровой пшеницы.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., коллекция ВИР, продуктивность, засухоустойчивость, осмотический стресс, физиологические параметры проростка

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0007).

Авторы благодарят сотрудников отдела эдафической устойчивости растений ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» за помощь в проведении лабораторных исследований.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Амунова О. С., Мамаева А. В. Поиск продуктивных, засухоустойчивых образцов мягкой яровой пшеницы для селекции в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):538-548. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.538-548>

Поступила: 15.01.2023

Принята к публикации: 26.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

Search for productive, drought-resistant accessions of soft spring wheat for breeding in the conditions of Kirov region

© 2023. Oksana S. Amunova✉, Anastasiya V. Mamaeva

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

The article presents the results of study of 73 varieties of soft spring wheat from the new samples in the world collection of the Federal Research Center "All-Russian Institute of Plant Breeding named after N. I. Vavilov" in order to include the productive, drought-resistant samples into the working collection on crop breeding in the conditions of the Kirov region. According to the results of the field assessment of 2019...2021, which includes an analysis of the elements of productivity and yield structure, 23 samples were identified as sources of breeding-valuable traits. According to the lowest depression of the values of productivity elements in a dry year (2021, HTC = 1.07) relative to the optimal moisture supply (2019, HTC = 1.30), domestic medium-ripened samples RIMA (Moscow region, Ryazan region), Tobolskaya (Altai Kr.), Ulyanovskaya 105 and Ekada 70 (Ulyanovsk region) are classified as drought-resistant, which allows them to be included into breeding work for resistance to summer drought. Resistance to early spring drought was evaluated in the laboratory conditions under simulated

drought (sucrose solution, osmotic pressure 6 atm.) and normal humidification conditions (distilled water, 0 atm.) according to the percentage of germination of seeds and the parameters of one seedling (the number of seminal roots, the mass of dry matter). As the result, 19 potentially drought-resistant samples of soft spring wheat were identified. For inclusion into breeding work for resistance to early spring drought, medium-early varieties Zauralochka (Kurgan region, Russia) and Chayka (Belarus), medium-ripened RIMA (Moscow region, Ryazan region, Russia) and Uralosibirskaya (Omsk region, Russia) are recommended. Highly productive samples with complex drought resistance Ekada 109 (Tatarstan, Russia) and Ekaterina (Sverdlovsk region, Russia) have been identified, which provides them to be considered as universal donors for the creation of varieties of soft spring wheat adapted to the conditions of the Kirov region.

Keywords: *Triticum aestivum* L., VIR collection, productivity, drought resistance, osmotic stress, physiological parameters of the seedling

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

The authors thank the staff of the Department of Plant Edaphic Resistance of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky for assistance in laboratory studies.

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

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

For citations: Amunova O. S., Mamaeva A. V. Search for productive, drought-resistant accessions of soft spring wheat for breeding in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):538-548. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.538-548>

Received: 15.01.2023

Accepted for publication: 26.07.2023

Published online: 30.08.2023

Согласно прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций – FAO, к середине XXI века население Земли может достичь 9-10 млрд человек, что потребует увеличения валового сбора зерна пшеницы до 1 млрд т в год (<http://faostat.fao.org>). Отмечается, что ежегодный прирост производства зерна должен будет возрасти до 2,0 % по сравнению с нынешним показателем – 1,3 %. Основным инструментом преодоления данного вызова станет увеличение эффективности сельскохозяйственных ресурсов и повышение устойчивости к климатическим рискам [1].

На современном этапе развития сельскохозяйственного производства одним из главных вопросов является повышение устойчивости возделываемых культур, в том числе яровых колосовых злаков, к неблагоприятным и экстремальным условиям внешней среды, в частности к засухе, которую считают главной угрозой для мирового продовольственного снабжения. Важнейшей задачей в селекции на устойчивость к этому стрессору является поиск в исходном материале сортов, формирующих стабильную урожайность в засушливые годы [2]. Сорта пшеницы по-разному отвечают на засуху, о чем дают представление работы отечественных и зарубежных ученых. Одни генотипы «уходят» от ее вредного воздействия, изменяя продолжительность вегетации, сводят к минимуму процесс транспирации и т. д. [3, 4, 5], другие – адаптируются, обеспечивая репродуктивный успех и урожайность зерна надлежащим использованием растениями доступной воды [6]. Повы-

шение урожайности является одним из основных направлений селекционной работы по данной культуре, поэтому селекционерам важно понимать особенности формирования урожая зерна разными по засухоустойчивости сортами в условиях засухи того или иного типа [7].

Занимая площадь около 120 тыс. км², Кировская область является частью Северо-Восточной зоны Европейской России. Климат области умеренно-континентальный. Погодные условия характеризуются неравномерным распределением тепла и влаги как по годам, так и в течение вегетации. Выделение нового исходного материала для селекции яровой пшеницы, обеспечивающего устойчивые урожаи на фоне широкого варьирования погодных условий, является актуальной задачей для нашего региона, как, впрочем, и для многих сельскохозяйственных регионов России [8]. Урожайность пшеницы в Кировской области определяется главным образом количеством атмосферных осадков. Резкий их недостаток и быстрое нарастание температуры в период «всходы – выход в трубку», наблюдаемые в последние годы все чаще, не позволяют растениям формировать развитую вторичную корневую систему и дополнительные продуктивные побеги. Повышенный температурный режим является основной причиной сокращения сроков ассимиляции и налива зерна, что приводит к недобору урожая, при этом снизить потери за счет сорта не всегда удается [9].

Устойчивость к засухе является количественным признаком со сложным фенотипом,

зависящим от стадий развития растений и силы воздействия стрессового фактора. В селекции пшеницы на устойчивость к засухе необходимо улучшать те признаки, которые способствуют экономному расходованию влаги и не вступают в противоречие с продуктивностью растений [10]. Следовательно, разработка сортов для возделывания в условиях ограниченной водной среды будет включать отбор как физиологических, так и морфологических механизмов засухоустойчивости с помощью традиционных программ селекции [11].

Полевая засухоустойчивость – это сложный комплекс признаков и свойств генотипа и при всей своей объективности требует многолетних наблюдений. Засуха бывает не каждый год, ее характер может меняться в течение вегетации, поэтому для надежной и объективной оценки уровня засухоустойчивости, а также ускорения селекционного процесса прибегают к косвенной оценке генотипов с помощью лабораторных физиологических методов. Всхожесть и другие параметры развития проростков являются распространенными критериями скрининга сортов пшеницы для выращивания в условиях дефицита влаги [12]. В то же время опыт работы физиологов позволяет прийти к выводу, что ни один из ныне существующих лабораторных методов в отдельности не может служить достаточно надежным критерием оценки засухоустойчивости из-за сложности и полигенности этого свойства растений, тем более что при этом не учитывается такая важная характеристика генотипа, как продуктивность. Наиболее надежна оценка по нескольким параллельно измеряемым показателям. Использование комплекса методов позволит оценивать не только различные стороны засухоустойчивости сортов на разных этапах развития растений, но и прогнозировать их урожайность.

Сложное сочетание таких противоречивых признаков, как засухоустойчивость и продуктивность, достигается при выявлении форм, способных к значительному усилению физиологических процессов. Изучение образцов мягкой яровой пшеницы из мирового генофонда ВИР является актуальным направлением селекционной работы, на этой основе создаются сорта, способные при одних и тех же ресурсах питания и влаги давать более высокие урожаи зерна.

Цель исследований – изучение продуктивности и уровня засухоустойчивости образцов мягкой яровой пшеницы, поступивших из коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), для включения в рабочую коллекцию по селекции культуры в условиях Кировской области.

Научная новизна – для селекции мягкой яровой пшеницы в Кировской области выявлены высокопродуктивные и устойчивые к засухе (ранневесенней и летней) образцы из числа новых поступлений в мировую коллекцию ВИР.

Материал и методы. Полевые исследования проведены в 2019...2021 гг. на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Объектом изучения служили 73 образца мягкой яровой пшеницы из Австралии, Германии, Китая, Беларуси, Франции, Великобритании, Непала, а также 21 субъекта Российской Федерации, поступившие из ВИР в 2017 году. Стандартами служили среднеранний сорт Баженька (к-64870, Кировская обл., РФ) и среднеспелый сорт Маргарита (к-64851, Ульяновская обл., РФ).

Почва участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на элювии пермских глин. Агрохимические показатели: $pH_{\text{кол}} - 4,8$, содержание подвижного фосфора – 191, обменного калия – 130 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 2,02 % (по Тюрину). Обработка почвы включала ранневесеннее боронование, внесение минеральных удобрений ($N_{16}P_{16}K_{16}$ кг/га д. в.), предпосевную культивацию и послепосевное прикатывание. Посев коллекционного питомника проводили по чистому пару в оптимальные сроки с нормой высева 300 всхожих зерен/м². Фенологические наблюдения, оценку продуктивности и учет урожая осуществляли согласно методическим указаниям ВИР¹. Для оценки элементов структуры продуктивности с учетных площадок отбирали по 20 растений каждого сорта. Полевую засухоустойчивость образцов пшеницы определяли по степени депрессии урожайности (D) в засушливый (2021) год относительно оптимального (2019) по формуле²:

$$D = (100 - y/x) * 100 \%,$$

где y – значение признака при засухе,
 x – значение признака в оптимальных условиях произрастания.

¹Изучение коллекции пшеницы: методические указания. Сост. О. Д. Градчанинова, А. А. Филатенко, М. И. Руденко. Л.: ВИР, 1985. 27 с.

²Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство). Под ред. Г. В. Удовенко. Л.: ВИР, 1988. 228 с.

Оценка потенциальной засухоустойчивости проведена в 2022 году лабораторным способом согласно методическому руководству ВИР³. Исследованием были охвачены образцы пшеницы, представляющие по результатам трехлетнего полевого изучения интерес как генетические источники на улучшение параметров продуктивности яровой пшеницы. Семена урожая 2021 года проращивали в чашках Петри при температуре 21-22 °С в течение 7 суток. В контроле использовали дистиллированную воду (0 атм.), в опыте (имитация ранневесенней засухи) – раствор сахарозы, соответствующий осмотическому давлению 6 атм. В обоих вариантах определяли процент прорастания семян и параметры проростка: число зародышевых корней и массу сухого вещества. По отношению одноименных признаков в опыте к контролю определяли группу потенциальной засухоустойчивости сортов: I – высокая (соотношение более 81 %); II – выше средней (от 61 до 80 %); III – средняя (от 41 до 60 %); IV – слабая (от 21 до 40 %); V – отсутствие устойчивости (менее 20 %).

Математическую обработку данных проводили методами корреляционного и дисперсионного анализов по Б. А. Доспехову⁴, вариационной статистики с использованием пакетов программ Agros 2.07 и Microsoft Excel 2016.

Результаты и их обсуждение. По данным Кировского центра по метеорологии и мониторингу окружающей среды, сумма эффективных температур (+10 °С и выше) в период с мая по август 2019 года составила 1220 °С, 2020 года – 1328 °С, 2021 года – 1635 °С, суммарное количество осадков соответствовало 256, 290 и 251 мм. Расчет гидротермического коэффициента по Г. Т. Селянинову позволил выявить достаточный уровень увлажненности в 2019 и 2020 годах (ГТК = 1,30 и 1,38 соответственно) и недостаток влаги в 2021 году (ГТК = 1,07).

Наиболее благоприятными для роста и развития растений мягкой яровой пшеницы сложились условия 2019 года: избыток осадков в период, предшествующий фазе «колошение», оказал положительное влияние на продуктивность колоса, биологическую и зерновую урожайность образцов. Средняя урожайность зерна в коллекционном питомнике (n = 73) составила 464,5 г/м² с пределами варьирования

значения признака от 151,8 г/м² (Hua Mai 10, Китай) до 714,4 г/м² (Bonpain, Франция). Начало вегетации растений пшеницы в 2020 году проходило при оптимальной температуре воздуха и высокой влагообеспеченности, что благоприятно отразилось на полевой всхожести семян и общей кустистости растений. Дефицит осадков в июне привел к снижению продуктивности раннеспелых сортов, а их избыточное количество в июле спровоцировало полегание растений и развитие листовых болезней. Средняя урожайность зерна сортов пшеницы составила 337,7 г/м² с пределами от 129,7 (Hong Mai 5, Китай) до 592,1 г/м² (Черноземоуральская 2, Воронежская обл., РФ). Вегетационный период в 2021 году характеризовался повышенными температурами воздуха, а иногда продолжительной жарой. Аномально теплая и сухая погода мая явилась причиной снижения полевой всхожести семян. Из-за дефицита осадков в период «выход в трубку-колошение» зерновая продуктивность образцов пшеницы оказалась низкой. Средняя урожайность сортов составила 186,5 г/м², варьируя от 35,0 г/м² (Hong Mai 5, Китай) до 380,9 г/м² (Курагинская 2, Красноярский кр., РФ).

Одной из причин снижения урожайности в засушливый 2021 год стало сокращение периода вегетации, влияющего на длительность сроков ассимиляции и налива зерна. Вегетационный период у сортов разных групп спелости составил 67...77 суток, в то время как в 2020 году его продолжительность была 75...86 суток, в 2019 – 97...110 суток. Длительность межфазного периода от всходов до колошения в 2021 году сократилась в среднем на 13 суток по сравнению с 2019 годом, от колошения до восковой спелости – на 21 сутки.

Величина урожая зерновых культур зависит главным образом от числа колосков, закладывающихся на выступах колосового стержня. Чем больше колосков, тем больше зерен в колосе и выше масса зерна с колоса. Эта зависимость нашла подтверждение в благоприятных условиях 2019 года: урожайность пшеницы коррелировала с длиной главного колоса ($r = 0,40$, при $p \leq 0,01$) и числом колосков в колосе ($r = 0,25$, при $p \leq 0,05$). Формирование колосков начинается в фазу «кущение» и в

³Определение относительной засухоустойчивости и жаростойкости образцов зерновых культур (пшеница, ячмень) способом проращивания семян в растворах сахарозы и после прогревания: методические указания. Сост. Н. Н. Кожушко, А. М. Волкова. Л., 1982. 19 с.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.

значительной степени подвержено влиянию условий среды [13], а значит, обладает большой амплитудой изменчивости. При недостатке влаги происходит подавление ростовых процессов и уменьшение числа колосков. В жаркую и сухую погоду увеличивается риск фертильности цветков. По этим причинам снижаются количественные показатели растений и урожайность в целом. В засушливом 2021 году колосков и зерен с главного колоса ($n = 73$) образовалось на 14,3 и 12,9 % соответственно меньше, чем в благоприятных условиях 2019 года, масса зерна с главного колоса снизилась на 20,0 %. Депрессия урожайности в среднем по выборке сортов составила 59,8 %.

В условиях 2021 года из-за слабого развития верхнего междоузлия высота стебля достигла в среднем 58,9 см, что на 34,1 % меньше, чем в 2019 году. Преимущество по урожайности имели высокорослые генотипы: коэффициенты корреляции между урожайностью и высотой стебля, а также длиной верхнего междоузлия были значимы при $p \leq 0,01$ ($r = 0,62$ и $r = 0,56$ соответственно). Тесная связь урожайности и высоты стебля подтверждает тот факт, что в условиях Кировской области важнейшим условием продукционного процесса является накопление растениями биомассы [14]. На урожайность пшеницы значимое влияние (при $p \leq 0,01$) оказали длина

главного колоса ($r = 0,34$), масса зерна с главного колоса ($r = 0,41$) и растения ($r = 0,40$), масса 1000 семян ($r = 0,44$).

Практическая селекция яровой пшеницы в Кировской области ведется не столько на физиологическую засухоустойчивость, сколько на повышение продуктивности в условиях зоны [15]. По результатам 3-летнего полевого изучения коллекции пшеницы было выделено 23 образца – генетических источника селекционно-ценных признаков, представляющие интерес для улучшения культуры. Общая характеристика этих образцов дана в таблице 1.

Урожайность большинства представленных в таблице 1 образцов пшеницы находилась на уровне урожайности групповых стандартов, сорта сочетали оптимальную высоту стебля с устойчивостью к полеганию. Одни генотипы характеризовались высокими показателями элементов продуктивности колоса (Амир, Красноуфимская 100, Ингала, KWS Torridon), другие – крупнозерностью (Екатерина, Экада 70, Экада 109, Чайка, Dai Chun 2 и Dian 662-525-2). Все образцы пшеницы реагировали на засуху 2021 года снижением урожайности: депрессия признака находилась в пределах 28,9...78,7 %, у среднеранних образцов была выше, следовательно, ранние сорта сильнее реагировали на стресс, чем среднеспелые (рис.).

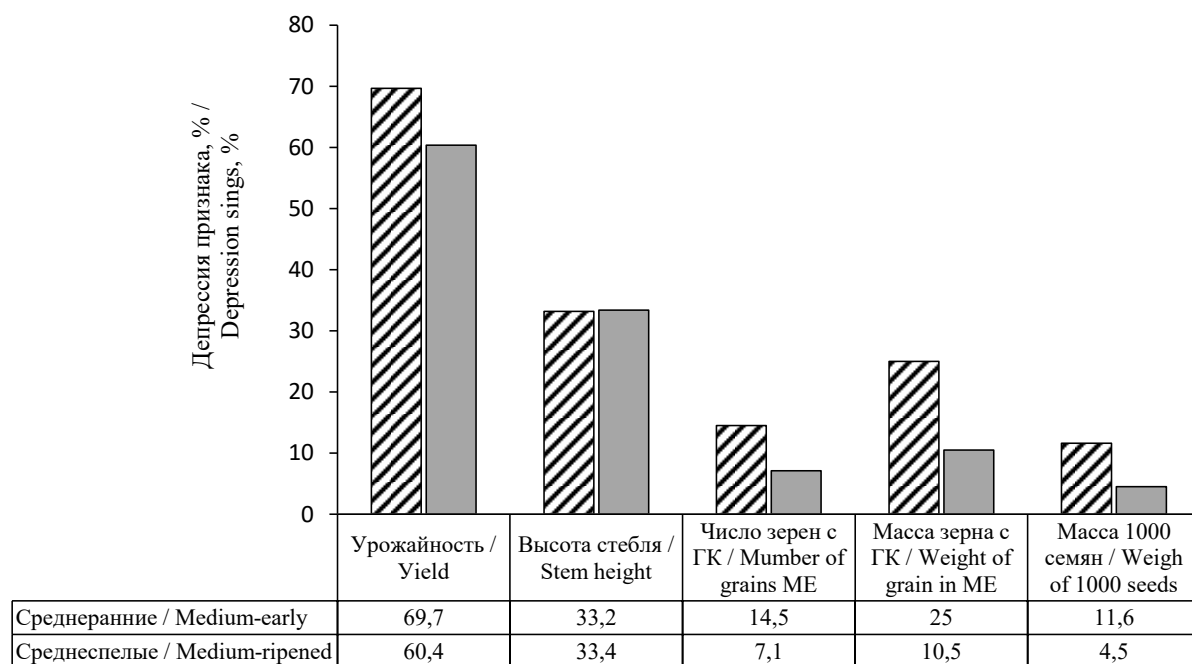


Рис. Депрессия урожайности и элементов структуры продуктивности образцов мягкой яровой пшеницы при недостатке влаги

Fig. Depression of yield and structural elements of productivity of soft spring wheat samples with a lack of moisture

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 1 – Образцы мягкой яровой пшеницы с ценными селекционными признаками (в среднем за 2019...2021 гг.)
Table 1 – Soft spring wheat samples with valuable breeding traits (average for 2019...2021)

Название, происхождение, номер в каталоге ВИР / Name, origin, number in the VIR catalog	Урожай- ность, г/м² / Yield, g/m²	Элементы структуры продуктивности / Elements of the productivity structure			
		высота стебля, см / stem height, cm	число зерен в ГК, шт. / number of grains ME*, pcs.	масса зерна с ГК, г / weight of grain in ME, g	масса 1000 семян, г / weight of 1000 seeds, g
Среднеранние / Medium-early					
Баженка, РФ, Кировская обл. – ст. / Bazhenka, Russia, Kirov reg., 64870 – st.	322,4	73,4	34,6	1,42	40,67
Екатерина, РФ, Свердловская обл. / Ekaterina, Russia, Sverdlovsk reg., 65477	407,8	84,7*	28,4	1,36	46,40
Зауралочка, РФ, Курганская обл. / Zau- ralochka, Russia, Kurgan reg., 66009	397,5	81,8	35,3*	1,33	37,40
Красноуфимская 100, РФ, Свердловская обл. / Krasnoufimskaya 100, Russia, Sverdlovsk reg., 64640	367,4	81,4	33,5	1,51	43,80
Мона, Беларусь / Mona, Belarus	400,0	67,0	27,6	1,21	43,70
Чайка, Беларусь / Chayka, Belarus	432,2	62,7	29,2	1,34	45,93
Dai Chun 2, China, 65848	200,4	72,1	23,8	1,19	49,60*
Dian 662-525-2, China, 65849	195,4	59,2	18,2	0,89	47,90
Eminent, Germany, 65989	371,2	71,4	31,5	1,19	37,60
Среднее по группе / Group average	343,8	72,6	29,1	1,27	43,67
Среднепоздние / Medium-ripened					
Маргарита, РФ, Ульяновская обл. – ст. / Margarita, Russia, Ul'yanovsk reg., 64851 – st.	385,5	84,6	31,0	1,51	47,99
Амир, РФ, Московская обл. / Amir, Russia, Moscow reg., 64253	439,3	72,2	44,5*	1,76	38,80
Волошинка, РФ, Омская обл. / Voloshinka, Russia, Omsk reg., 66437	329,2	81,9	34,3	1,36	39,00
Ингала, РФ, Тюменская обл. / Ingala, Russia, Tyumen reg., 66420	413,8	83,3	40,3*	1,92*	47,47
РИМА, РФ, Московская, Рязанская обл. / RIMA, Russia, Ryazan, Moscow reg., 66259	370,5	84,6	35,5	1,57	44,13
Тобольская, Russia, Алтайский кр. / Tobolskaya, Russia, Altay reg., 65846	473,3	87,9*	31,0	1,39	44,53
Тулайковская 10, Russia, Самарская обл. / Tulaykovskaya 10, Russia, Samara reg., 63714	349,6	82,6	34,1	1,38	41,73
Ульяновская 105, РФ, Ульяновская обл. / Ulyanovskaya 105, Russia, Ulyanovsk reg., 66011	494,9	83,6	33,7	1,41	41,40
Уралосибирская, РФ, Омская обл. / Uralosibirskaya, Russia, Omsk reg., 65244	431,2	85,6	31,4	1,45	46,23
Экада 70, РФ, Ульяновская обл. / Ekada 70, Russia, Ulyanovsk reg., 64547	432,0	83,0	28,8	1,41	48,80*
Экада 109, РФ, Татарстан / Ekada 109, Russia, Tatarstan reg., 66239	418,8	86,4*	30,7	1,49	48,07*
Bonpain, France, 65256	418,9	62,8	33,7	1,34	40,93
Kanyuk, France, 66426	354,7	63,4	32,6	1,53	46,53
KWS Torridon, Great Britain, 66273	370,8	57,7	41,1*	1,65	40,07
Melissos, Germany, 65261	402,2	61,8	36,8	1,49	40,47
Naxos, Germany, 65262	344,2	60,0	34,2	1,44	40,87
Среднее по группе / Group average	401,8	76,3	33,6	1,54	43,56
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	138,1	9,4	6,2	0,32	4,44

Примечания: ГК – главный колос, * – значимое превышение к среднему по группе значению /
Notes: ME – the main ear, * – significant excess to the group average value

Исходя из данных рисунка, средняя групповая депрессия признаков «число зерен в главном колосе», «масса зерна с главного колоса» и «масса 1000 семян» у среднеспелых образцов оказалась в два и более раза ниже, чем у среднеранних. Связано это с тем, что у нескольких сортов среднеспелой группы (РИМА, Тобольская, Ульяновская 105, Экада 70) депрессия элементов продуктивности не превышала 5 %. Депрессия урожайности у выделенных генотипов была на уровне или ниже показателя стандарта Маргарита, что в комплексе может указывать на их относительную засухоустойчивость. В среднеранней группе депрессию урожайности на уровне стандарта Баженька показал сорт Екатерина. У остальных образцов потери урожайности были выше за счет сильного снижения параметров колоса и массы 1000 семян. Отмечалось, что крупнозерные сорта сильнее реагировали на стресс, чем мелкозерные (коэффициент корреляции между массой 1000 семян и депрессией признака в условиях засухи составил 0,72, при $p \leq 0,05$).

Лабораторный анализ образцов пшеницы позволил оценить их потенциальную засухоустойчивость по реакции на осмотический стресс в фазу проростков. Важно понимать, что

развитие проростков во многом определяется типом зародыша, крупностью и удельным весом семян [16]. Семена любого сорта – это популяция, в которой одна часть способна прорасти при более высоком осмотическом давлении, другая – при более низком и, чем больше в популяции первых семян, тем выше процент прорастания при конкретной концентрации осмотика. В нормальных условиях (0 атм.) величина признака варьировала от 78,9 (Melissos) до 100,0 % (Амир). Число зародышевых корней 1 проростка на седьмые сутки развития изменялось от 3,5 шт. (KWS Torridon) до 5,7 шт. (Тобольская), а масса сухого вещества проростка – от 11,1 мг (Экада 70) до 15,2 мг (Ингала). В стрессовых условиях (6 атм.) размах изменчивости признака «процент прорастания семян» составил 36,7...95,6 % (Экада 70 и Екатерина соответственно). Число зародышевых корней проростка изменялось от 1,38 до 4,31 шт. (Экада 70 и РИМА соответственно), масса сухого вещества проростка – от 0,91 до 4,59 мг (Экада 70 и Мона соответственно). Средние значения морфофизиологических параметров двух вариантов лабораторного исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние осмотического стресса на формирование физиологических параметров семян и проростков мягкой яровой пшеницы (n = 25)

Table 2 – Influence of osmotic stress on the formation of physiological parameters of seeds and seedlings of soft spring wheat (n = 25)

Параметр / Parameter	Среднее значение параметра / The average value of the parameter		Общая депрессия, % / General depression, %	Группа устойчивости / Sustainability group
	0 атм. / 0 atm.	6 атм. / 6 atm.		
Процент прорастания семян / Percentage of seed germination	93,0	78,7	16	I, II, III
Масса сухого вещества проростка, мг / Dry matter weight of the seedling, mg	13,7	2,9	79	IV, V
Число зародышевых корней, шт. / The number of seminal roots, pcs.	4,6	3,1	33	I, II, III, IV

Соотношение одноименных показателей в опытном и контрольном вариантах позволило интегрировано подойти к определению уровня засухоустойчивости. По параметру «процент прорастания семян» образцы сформировали три группы – высокоустойчивые (16), устойчивые (8) и среднеустойчивые (1) (табл. 2). По параметру «масса сухого вещества» устойчивых образцов не обнаружено, 14 – характеризовались слабой устойчивостью, у 11 – она отсутствовала. По параметру «число зародышевых

корней» образцы сформировали наибольшее количество групп: высокоустойчивые (5), устойчивые (14), среднеустойчивые (4) и слабоустойчивые (2). Последний параметр, по нашему мнению, наиболее информативно характеризовал потенциальную засухоустойчивость, поскольку лучше дифференцировал сорта. Кроме того, в группах с более низким уровнем засухоустойчивости возрастала депрессия не только числа зародышевых корней, но и других изучаемых параметров (табл. 3).

Таблица 3 – Потенциальная засухоустойчивость образцов мягкой яровой пшеницы (по числу зародышевых корней в системе 6 атм. / 0 атм.)

Table 3 – Potential drought resistance of soft spring wheat samples (according to the number of seminal roots in the system of 6 atm. / 0 atm.)

Группа / Group	Общая депрессия признаков / General depression of traits, %			Образцы / Varieties
	ЧЗК / NSR	МСВ / DMW	ППС / PSG	
Высокоустойчивые / Highly resistant (I)	16,0	71,0	5,2	Екатерина / Ekaterina, Красноуфимская 100 / Krasnoufimskaya 100, РИМА / RIMA, Уралосибирская / Uralosibirskaya, Dai Chun 2
Устойчивые / Resistant (II)	30,3	79,0	13,3	Баженка / Bazhenka, Амир / Amir, Зауралочка / Zauralochka, Ингала / Ingala, Мона / Mona, Экада 109 / Ekada 109, Тулайковская 10 / Tulaykovskaya 10, Чайка / Chayka, Dian 662-525-2, Eminent, Kanyuk, KWS Torridon, Melissos, Naxos
Среднеустойчивые / Medium resistant (III)	46,0	82,2	22,3	Маргарита / Margarita, Волошинка / Voloshinka, Тобольская / Tobolskaya, Bonpain
Слабоустойчивые / Weakly resistant (IV)	65,3	89,7	46,2	Ульяновская 105 / Ulyanovskaya 105, Экада 70 / Ekada 70

Примечания: ЧЗК – число зародышевых корней проростка, МСВ – масса сухого вещества проростка, ППС – процент прорастания семян /

Notes: NSR – the number of seminal roots, DMW – dry matter weight of the seedling, PSG – percentage of seed germination

Все высокоустойчивые (табл. 3) и 10 устойчивых образцов (Амир, Баженка, Зауралочка, Ингала, Мона, Тулайковская 10, Экада 109, Чайка, Eminent и Kanyuk) в имитирующих почвенную засуху условиях показали высокий процент прорастания (более 85 % к контролю), что говорит о высокой сосущей силе семян данных сортов. Эта особенность обеспечила развитие мощной первичной корневой системы ($r = 0,77$) и проростка в целом ($r = 0,73$). Таким образом, устойчивость к засухе в фазу проростков (I и II группы) выявлена у всех среднеранних образцов, среднеспелые проявили разный уровень потенциальной засухоустойчивости (I-IV группы). Высоким уровнем характеризовались сорта РИМА и Уралосибирская, слабым – Ульяновская 105 и Экада 70. Причиной слабой устойчивости наравне с низкой сосущей силой семян могло стать наследственное свойство прорастать при большем, чем требовал эксперимент, количестве воды.

При анализе согласованности лабораторной и полевой оценок было обнаружено, что средне- и слабоустойчивые образцы пшеницы в фазу проростков обладали полевой засухоустойчивостью, а сорта с высокой потенциальной засухоустойчивостью характеризовались значительными потерями урожайности (табл. 4).

Объяснить это можно тем, что различные сорта включают механизмы засухоустойчивости на разных этапах онтогенеза. Устойчивые к ранневесенней засухе дружно всходят, хорошо укореняются, закладывают большое количество колосков в колосе, но при недостатке влаги в период «колошение-цветение» приостанавливают рост, вызывая шуплость зерновки. Устойчивые к летней засухе генотипы благополучно ее переносят благодаря сохранению выжившими растениями прироста корней, вегетативной и генеративной массы.

Заключение. Создаваемые в Кировской области сорта пшеницы должны сочетать устойчивость к засухе в засушливые годы с высокой потенциальной продуктивностью в оптимальных условиях увлажнения. Изучение по комплексу признаков образцов мягкой яровой пшеницы из последнего поступления в мировую коллекцию ВИР позволило выделить генетические источники для направленной селекции культуры в регионе. В селекции на устойчивость к ранневесенней засухе рекомендованы продуктивные среднеранние сорта Зауралочка (Курганская обл., РФ) и Чайка (Беларусь), среднеспелые – РИМА (Московская обл., Рязанская обл., РФ) и Уралосибирская (Омская обл., РФ). Следует отметить высокопродуктивные среднеспелые образцы пшеницы

Таблица 4 – Результаты полевой и лабораторной оценок засухоустойчивости образцов мягкой яровой пшеницы /

Table 4 – Results of field and laboratory assessments of drought resistance of soft spring wheat samples

Образцы / Varieties	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²		Депрессия урожайности (полевая оценка), % / Depression of yield (field assessment), %	Группа потенциальной засухоустойчивости (лабораторная оценка) / Potential drought resistance group (laboratory assessment)
	2019 г.	2021 г.		
Среднеранние / Medium-early				
Баженка – ст. / Bazhenka – st.	450,7	180,5	60,0	II
Екатерина / Ekaterina	561,6	224,1	61,0	I
Зауралочка / Zauralochka	628,9*	213,4	66,1	II
Красноуфимская 100 / Krasnoufimskaya 100	581,1	157,4	72,9	I
Мона / Mona	574,8	153,0	73,4	II
Чайка / Chayka	641,8*	138,4	78,4	II
Dai Chun 2	352,7	79,8	77,4	I
Dian 662-525-2	310,9	89,9	71,1	II
Eminent	525,3	172,0	67,3	II
Среднее по группе / Group average	514,2	156,5	69,7	-
Среднепоздние / Medium-late				
Маргарита – ст. / Margarita – st.	550,8	226,4	58,9	III
Амир / Amir	639,0	223,9	65,0	II
Волошинка / Voloshinka	442,0	104,1	76,5	III
Ингала / Ingala	567,6	200,7	64,6	II
РИМА / RIMA	544,9	235,0	56,9	I
Тобольская / Tobolskaya	514,9	336,1*	28,9	III
Тулайковская 10 / Tulaykovskaya 10	469,3	181,3	61,4	II
Ульяновская 105 / Ulyanovskaya 105	588,2	388,0*	42,5	IV
Уралосибирская / Uralosibirskaya	545,8	229,6	57,9	I
Экада 70 / Ekada 70	608,0	302,3	50,3	IV
Экада 109 / Ekada 109	522,1	294,3	43,6	II
Vonrain	714,4	247,8	65,3	III
Kanyuk	520,9	111,1	78,7	II
KWS Torridon	559,9	139,7	75,1	II
Melissos	511,3	130,5	74,5	II
Naxos	450,4	155,6	65,5	II
Среднее по группе / Group average	546,8	219,2	60,4	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	167,3	105,1	-	-

* Значимое превышение к групповому стандарту / * Significant excess to the group standard

Тобольская (Алтайский кр., РФ), Ульяновская 105 (Ульяновская обл., РФ) и Экада 109 (Татарстан, РФ) с низкой по выборке сортов депрессией урожайности при засухе (28,9...43,6 %). Данную

группу образцов лучше включать в селекцию на устойчивость к летней засухе. Сорт Экада 109 проявил засухоустойчивость в фазу проростков, что характеризует его как источник комплексной

засухоустойчивости. Из среднеранних образцов в рабочую коллекцию необходимо включить сорт Екатерина (Свердловская обл., РФ) с высо-

кой засухоустойчивостью в фазу проростков и равным со стандартом значением депрессии урожайности в засушливый год.

Список литературы

1. Вегрен С. К., Троцук И. В. Устойчиво ли промышленное сельское хозяйство в условиях климатических изменений и экологических угроз? *Экономическая социология*. 2020;21(5):12-38. DOI: <https://doi.org/10.17323/1726-3247-2020-5-12-38> EDN: ZCFFML
2. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Катаева Н. В. Влияние засухи на хозяйственно ценные признаки яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепной зоны Курганской области. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2021;(3):25-35. DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_25 EDN: WIDLGV
3. Gupta P. K., Balyan H. S., Gahlaut V. QTL Analysis for drought tolerance in wheat: present status and future possibilities. *Agronomy*. 2017;7(1):5. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010005>
4. Пакуль В. Н., Плиско Л. Г. Засухоустойчивость сортов яровой мягкой пшеницы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018;(12-2):49-52. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.046> EDN: YSUKIH
5. Румянцева Н. И., Валиева А. И., Акулов А. Н., Асхадуллин Дан. Ф., Асхадуллин Дам. Ф., Василова Н. З. Влияние засухи и высоких температур на урожайность и качество зерна фиолетовозерных линий яровой мягкой пшеницы. *Биомика*. 2021;13(3):254-273. DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197bmcs/2021-17> EDN: SNHIMV
6. Khanna-Chopra R., Singh K. Drought resistance in crops: Physiological and genetic basis of traits for crop productivity. In: Tripathi B., Müller M. (eds) *Stress Responses in Plants*. Springer, Cham. 2015. pp. 267-292. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13368-3_11
7. Гречишкина О. С., Хутамбирдина Р. Д., Мордвинцев М. П. Величина и структура урожая зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях засухи разного типа. *Животноводство и кормопроизводство*. 2021;104(4):217-232. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-217> EDN: HICWSI
8. Зуев Е. В., Брыкова А. Н., Новикова Л. Ю., Медведева Л. М., Темирбекова С. К. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в Центральной нечерноземной зоне РФ. *Вестник РАСХН*. 2014;(6):28-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22500448> EDN: SYJUWL
9. Кумаков В. А., Игошин А. П. Физиологические основы селекции зерновых культур на продуктивность в условиях засухи. *Физиологические основы селекции растений: сб. статей*. С-Пб.: ВИР, 1995. С. 440-466.
10. Волкова Л. В., Амунова О. С. Результаты оценки сортов яровой мягкой пшеницы различных агроэко-типов по признакам засухоустойчивости и донорским свойствам. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022;(1):27-42. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-1-27-42> EDN: HRXMET
11. Тамразов Т. Г. Влияние засухи на морфофизиологические показатели и показатели продуктивности изученных местных генотипов пшеницы. *Бюллетень науки и практики*. 2021;10(7):45-56. DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/06> EDN: TKSLJG
12. Бычкова О. В., Хлебцова Л. П., Совриков А. Б., Титова А. М. Реакция генотипов яровой твердой пшеницы в условиях моделированного осмотического и солевого стресса. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018;(2):5-11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32508983> EDN: YQGPXM
13. Ковтун В. И., Ковтун Л. Н. Озерненность, масса зерна колоса и масса 1000 зерен в повышении урожайности озимой мягкой пшеницы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015;(3):27-29. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23828339> EDN: UBLIFT
14. Амунова О. С., Волкова Л. В., Зуев Е. В., Харина А. В. Исходный материал для селекции мягкой яровой пшеницы в условиях Кировской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(5):661-675. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675> EDN: QALWGK
15. Волкова Л. В., Амунова О. С. Результаты изучения сортов яровой пшеницы на засухоустойчивость в Кировской области. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2018;(3):12-17. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35780371> EDN: YCKAIX
16. Казакова А. С. Морфотипы зародыша семян твердых озимых пшениц как основа оценки эффективности агротехнологий. *Вестник аграрной науки Дона*. 2017;(1-1):35-45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29059986> EDN: YLXXLR

References

1. Vegren S. K., Trotsuk I. V. Is industrial agriculture sustainable during climate change and ecological threats? *Ekonomicheskaya sotsiologiya* = Economic Sociology. 2020;21(5):12-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17323/1726-3247-2020-5-12-38>
2. Maltseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Yu., Kataeva N. V. The influence of drought on the economically valuable signs of spring soft wheat in the conditions of the forest-steppe zone of the Kurgan region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2021;(3):25-35. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_25

3. Gupta P. K., Balyan H. S., Gahlaut V. QTL Analysis for drought tolerance in wheat: present status and future possibilities. *Agronomy*. 2017;7(1):5. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy7010005>
4. Pakul V. N., Plisko L. G. Drought-resistance of varieties of spring soft wheat. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*. 2018;(12-2):49-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.046>
5. Rumyantseva N. I., Valieva A. I., Akulov A. N., Askhadullin Dan. F., Askhadullin Dam. F., Vasilova N. Z. Drought and high temperatures effect on yield and grain quality of purple-grain lines of spring soft wheat. *Biomika = Biomics*. 2021;13(3):254-273. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197bmcs/2021-17>
6. Khanna-Chopra R., Singh K. Drought resistance in crops: Physiological and genetic basis of traits for crop productivity. In: Tripathi B., Müller M. (eds) *Stress Responses in Plants*. Springer, Cham. 2015. pp. 267-292. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13368-3_11
7. Grechishkina O. S., Khutambirdina R. D., Mordvintsev M. P. Amount and structure of grain yield of spring soft wheat varieties in various types of drought conditions. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(4):217-232. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-217>
8. Zuev E. V., Brykova A. N., Novikova L. Yu., Medvedeva L. M., Temirbekova S. K. Initial material for breeding common spring wheat in Central non-chernozem zone of Russia. *Vestnik RASKhN*. 2014;(6):28-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22500448>
9. Kumakov V. A., Igoshin A. P. Physiological bases of selection of grain crops for productivity in drought conditions. *Physiological bases of plant breeding: coll. of art. Saint-Petersburg: VIR*, 1995. pp. 440-466
10. Volkova L. V., Amunova O. S. Results of evaluation of spring soft wheat varieties of various agro-ecotypes based on drought resistance and donor properties. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2022;(1):27-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-1-27-42>
11. Tamrazov T. G. The drought effect on morphophysiological parameters and crop performance indicators of the studied local wheat genotypes. *Byulleten' nauki i praktiki = Bulletin of Science and Practice*. 2021;10(7):45-56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/06>
12. Bychkova O. V., Khlebova L. P., Sovrikov A. B., Titova A. M. Reaction of spring durum wheat genotypes under the conditions of simulated osmotic and salt stresses. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;(2):5-11. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32508983>
13. Kovtun V. I., Kovtun L. N. Correlation of grain content in an ear, grain mass of one ear and mass of 1000 grains with soft winter wheat yields increase. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015;(3):27-29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23828339>
14. Amunova O. S., Volkova L. V., Zuev E. V., Kharina A. V. Source for the breeding of soft spring wheat in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(5):661-675. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675>
15. Volkova L. V., Amunova O. S. The study results of spring wheat varieties for drought resistance in Kirov region. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2018;(3):12-17. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35780371>
16. Kazakova A. S. Morphotypes of the embryo of hard winter wheat seeds as the basis for evaluating the effectiveness of agricultural technologies. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2017;(1-1):35-45. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29059986>

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, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

Мамаева Анастасия Владимировна, магистрант, младший 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, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6259-1959>

Information about the authors

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

Anastasiya V. Mamaeva, master's student, junior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6259-1959>

✉ – Для контактов / Corresponding author