

ЗИМОСТОЙКОСТЬ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ КОЛЛЕКЦИИ ВИР В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНОВ РОССИИ

DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-41-49

УДК 633.111.1:57.033

Поступление/Received: 24.05.2019

Принято/Accepted: 18.09.2019

Н. С. ЛЫСЕНКО, В. А. ЛОСЕВА, О. П. МИТРОФАНОВА

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44;
✉ o.mitrofanova@vir.nw.ru

WINTER HARDINESS OF BREAD WHEAT FROM THE
VIR COLLECTION IN ENVIRONMENTS
OF THE NORTHWESTERN AND CENTRAL
BLACK SOIL REGIONS OF RUSSIA

N.S. LYSENKO, V.F. LOSEVA, O.P. MITROFANOVA

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources (VIR),
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia;
✉ o.mitrofanova@vir.nw.ru

Актуальность. Устойчивость озимой мягкой пшеницы к неблагоприятным факторам зимовки – одна из важнейших ее адаптивных характеристик. Для получения высоких урожаев современные сорта должны обладать разнообразными защитными реакциями. Для их объединения в одном генотипе требуется соответствующий исходный материал. В России в качестве исходного материала традиционно используют образцы коллекции ВИР. Целями настоящего исследования были (1) оценить по зимостойкости в условиях полевого опыта образцы коллекции ВИР; (2) на основе полученных данных и с учетом географического происхождения образцов сформировать целевую субколлекцию и провести ее эколого-географическое изучение. **Материалы и методы.** Исходная выборка содержала 431 образец озимой мягкой пшеницы из различных регионов РФ и бывшего СССР, а также 484 образца из 18 зарубежных стран. Полевую оценку зимостойкости проводили в условиях Северо-Западного (г. Пушкин N59°41' E30°20', 2006/2007, 2007/2008, 2013/2014 гг.) и Центрально-Черноземного (пос. Екаторинино N52°59' E40°50' Тамбовской области, 2007/2008, 2008/2009 г.) регионов РФ. Степень зимостойкости коллекционных образцов определяли согласно методике, разработанной в ВИР. **Результаты и выводы.** В Пушкине в 2006/2007 г. высокую и очень высокую степень зимостойкости проявили 114 образцов из РФ и бывшего СССР, а также 12 образцов зарубежных стран. На основе полученных данных и с учетом разнообразия географического происхождения материала была сформирована целевая субколлекция, образцы которой прошли двухлетнее эколого-географическое изучение. С использованием рангового критерия Фридмана показано, что варьирование зимостойкости 158 образцов целевой субколлекции обусловлено влиянием условий выращивания ($\chi^2_3 = 256,7$; $df = 4$; $\chi^2_{W=0,05} = 9,5$) и генотипическими различиями между образцами ($\chi^2_3 = 239,3$; $df = 157$; $\chi^2_{W=0,05} = 187,2$), причем влияние первых сильнее, чем вторых. С использованием кластерного анализа (алгоритм k-средних) выявлена структура целевой субколлекции образцов. Обнаружено 12 образцов, хорошо зимовавших в обоих географических пунктах в течение всех лет их испытания.

Ключевые слова: коллекция ВИР, мягкая пшеница, целевая субколлекция, образец, зимостойкость, эколого-географическое изучение.

Background. Winter wheat resistance to adverse wintering conditions is one of the most important adaptive characteristics. To obtain high yields, modern wheat cultivars should have various protective reactions. For their successful combination in one genotype, the availability of appropriate initial material is of great importance. In Russia, the accessions from the VIR collection are traditionally used as initial material for wheat breeding. The aims of the present study were (1) to evaluate winter hardiness in accessions from the VIR collection in a field test, and (2) to use the obtained data and those on the geographical origin of accessions for making up the target sub-collection and performing its eco-geographical studies. **Materials and methods.** The initial sample for field screening contained 431 accessions of common winter wheat from different regions of Russia and the former USSR, and 484 accessions from 18 foreign countries. Winter hardiness of these accessions was tested in the environmental conditions of the Northwestern region (Pushkin, 59°41'N 30°20'E, 2006/2007, 2007/2008 and 2013/2014) and of the Central Black Soil region (Yekaterinino, 52°59'N 40°50'E, Tambov Province, 2007/2008 and 2008/2009). The degree of winter hardiness was determined in accordance with the technique developed at VIR. **Results and conclusions.** In 2006/2007, in Pushkin, a high and a very high degree of winter hardiness was displayed by 114 accessions with the origin from Russia and the former USSR as well as by 12 accessions from foreign countries. Based on the obtained data and taking into account the diversity of the geographical origin of accessions, the target sub-collection was formed, whose accessions were subjected to eco-geographical two-year field studies (Pushkin, 59°41'N 30°20'E, 2007/2008, 2013/2014, and Yekaterinino, 52°59'N 40°50'E, Tambov Province, 2007/2008, 2008/2009). The Friedman's variance analysis has shown that variation on winter hardiness in 158 accessions from the target sub-collection was determined by the environmental conditions of wheat cultivation ($\chi^2_3 = 256,7$; $df = 4$; $\chi^2_{W=0,05} = 9,5$) and by genetic differences between accessions ($\chi^2_3 = 239,3$; $df = 157$; $\chi^2_{W=0,05} = 187,2$) at that effect of the prior was stronger than that of the latter. By using the cluster analysis (k-means algorithm), the target sub-collection structure has been revealed. Twelve accessions that overwintered well at both geographical locations during all the years of testing were identified.

Key words: the VIR collection, common wheat, the target collection, accession, winter hardiness, eco-geographical study.

Введение

Зимостойкость озимой мягкой пшеницы определяется способностью растений без значительных повреждений переносить действие целого ряда неблагоприятных абиотических и биотических факторов внешней среды. На некоторую географическую закономерность распространения этих факторов указывал еще Н. И. Вавилов и рекомендовал иметь сорта с разными типами зимостойкости (Vavilov, 1935). На основании анализа многолетних наблюдений метеорологических станций и результатов перезимовки пшеницы в различных географических пунктах СССР были уточнены комбинации причин, обуславливающих гибель посевов озимой мягкой пшеницы (Yakovlev, 1966). Для Северо-Западного региона РФ (г. Пушкин) к ним отнесены: теплая осень с избыточным увлажнением, не способствующая закалке растений; наличие зимних продолжительных оттепелей, нарушающих период покоя растений и приводящих к возобновлению их ростовых процессов; образование ледяных корок, вызывающих механические повреждения и нарушение газообмена растений; поражение ослабленных растений снежной плесенью и другими болезнями. В совокупности все эти факторы создают естественный фон для дифференциации озимой мягкой пшеницы по зимостойкости (Dyubin, Novikova, 1985).

В разные периоды времени в условиях Пушкина с целью характеристики образцов коллекции озимой мягкой пшеницы ВИР и поиска для селекции источников зимостойкости была дана оценка различным наборам образцов (Strutsovskaya, 1968, 1969; Berlyand-Kozhevnikov et al., 1976; Komarov et al., 1982; Barashkova et al., 1983). С начала 1990-х годов коллекция озимой мягкой пшеницы ВИР пополнилась новыми образцами, реакцию которых на неблагоприятные факторы зимовки не изучали. Мы решили устранить этот пробел в характеристиках образцов. В задачи настоящего исследования входило: (1) в полевом опыте в сравнении с ранее выявленными источниками зимостойкости оценить перезимовку образцов, включенных в коллекцию ВИР с 1990 по 2006 г., (2) на основе полученных данных и с учетом географического происхождения образцов сформировать целевую субколлекцию по зимостойкости и провести ее эколого-географическое изучение.

Материал и методы

Материалом для оценки зимостойкости послужили образцы озимой мягкой пшеницы, поступившие в коллекцию ВИР в разные годы:

1907–1916	5
1921–1929	66
1930–1939	78
1940–1949	46
1950–1959	29
1960–1969	11
1970–1979	53
1980–1989	50
1990–1999	90
2000–2006	487
<i>Всего:</i>	<i>915 образцов</i>

В состав набора вошли образцы из РФ и бывшего СССР, а также из 18 зарубежных стран. Отечественный материал был представлен 264 современными селекционными и 167 староместными сортами, зарубежный – 462 селекционными сортами и 22 образцами, поступившими в коллекцию до 1940 г. Посев проводили на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Пушкин) в 2006/2007 г. в оптимальные сроки вручную. В качестве стандарта использовали сорт 'Мироновская 808' (к-43920).

Зимостойкость образцов определяли по состоянию всходов осенью, перед уходом в зиму, и весной, в апреле, после зимовки. По степени изреженности всходов на делянках судили о степени зимостойкости образца, используя шкалу, приведенную А. Ф. Мережко (Merezhko, 1999). Полную гибель растений обозначали баллом 0, очень низкую зимостойкость (сохранилось < 30% всходов) – 1, низкую (31–50%) – 3, среднюю (51–70%) – 5, высокую (71–90%) – 7 и очень высокую (> 90%) – баллом 9.

В 2006/2007 г. в лаборатории микологии и фитопатологии Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) нами был определен видовой состав возбудителей болезней, которые могли влиять на зимостойкость растений озимой мягкой пшеницы. Для этого использовали методы работы с чистыми культурами грибов (Konvalova, Tyryshkin, 2008), принятыми в этой лаборатории. Пораженные листья растений, собранные на разных делянках поля ВИР в Пушкине, помещали в пакеты BIO-REBA. В них листья тщательно промывали проточной водой, сначала с добавлением моющего средства (ПАВ), затем без него. Содержимое пакетов стерилизовали 1 мин 0,1-процентным раствором нитрата серебра в 70-процентном растворе этанола. После стерилизации остатки листьев тщательно промывали водопроводной водой, затем стерильной водой и, наконец, стерильной водой с добавлением сульфата стрептомицина в расчете 300 мг/л. В ламинарном боксе фрагменты листьев раскладывали на поверхность питательной среды, разлитой в чашки Петри и содержащей агар. Перед разливом питательной среды в нее добавляли сульфат стрептомицина в концентрации 100 мг/л для подавления роста бактерий и 3–5 мл 2-процентного раствора Triton X-100 для снижения линейного роста мицелиальных грибов. Через 7–10 суток мицелий грибов, выросший вокруг фрагментов листьев, отсеивали в другие чашки Петри с питательной средой и выращивали изоляты грибов, которые идентифицировали под микроскопом.

На основе полученных результатов перезимовки образцов в 2006/2007 г., а также с учетом разнообразия их географического происхождения формировали целевую субколлекцию для двухлетнего эколого-географического изучения в условиях Северо-Западного (г. Пушкин N59°41' E30°20', 2007/2008, 2013/2014 г.) и Центрально-Черноземного (пос. Екатериново N52°59' E40°50' Тамбовской области, 2007/2008, 2008/2009 г.) регионов РФ. Посев, наблюдения и учеты проводили по методикам, принятым в этих зонах. В Пушкине в 2007/2008 г. с делянок было отобрано по 10 растений каждого образца и сделан лабораторный анализ наиболее важных компонентов продуктивности колоса и растения. В настоящей статье приведены данные лишь для стабильно зимостойких образцов.

Для одновременного сравнения результатов перезимовки образцов целевой субколлекции использовали ранговый критерий Фридмана (Zaitsev, 1984). Все расчеты сделаны в программе Microsoft Excel. Разделение целевой субколлекции на группы (кластеры), максимально различающиеся между собой и содержащие наиболее схожие образцы внутри групп, осуществляли методом k-средних в программном пакете Statistica 12.

Условия проведения опытов. Климат Ленинградской области – атлантико-континентальный с умеренно холодной зимой, частыми оттепелями и влажным нежарким летом (<http://x47.ru/1.php>). В 2006/2007 г., согласно данным метеорологических наблюдений метеостанции (г. Пушкин), средняя температура осенних месяцев была немного выше многолетних данных; более теплыми были также декабрь и первая декада января. Зимние холода наступили с середины января, а в феврале произошло резкое понижение температуры (в среднем до -12°C , в отдельные дни до -20°C). В марте температура резко повысилась и превышала многолетние данные в среднем на 8°C . В апреле и мае были незначительные отклонения от климатической нормы. Количество осадков в каждый из рассматриваемых месяцев и за весь вегетационный период выпало меньше нормы – всего 119,5 мм (62% от 194 мм по многолетним данным). Высота снежного покрова в январе – феврале была существенно меньше нормы, в феврале приблизилась к многолетнему значению, а в марте оказалась существенно ниже ее. Промерзание почвы на глубине 30 см было максимальным в феврале ($-4,2^{\circ}\text{C}$), в марте температура почвы на этой глубине составила $-0,2^{\circ}\text{C}$.

В 2007/2008 г. сложились более благоприятные для вегетации растений пшеницы погодные условия, средние температуры воздуха незначительно отличались от многолетних, за исключением февраля и марта, когда они были выше нормы на 7°C . Однако количество осадков, в сравнении с предыдущим годом, выпало меньше нормы, и высота снежного покрова была меньше, особенно в феврале.

В 2013/2014 г. средние температуры воздуха с сентября по декабрь были положительными, резко (на 8°C) понизились в январе, минимальная температура достигла $-22,4^{\circ}\text{C}$. В феврале температура установилась выше нормы (около 0°C) и плавно поднялась в марте до $+3,7^{\circ}\text{C}$. В последующие весенние месяцы она была близка к норме, в то время как количество осадков было меньше нормы, особенно в январе (2,1 мм) и апреле (5,4 мм).

В Тамбовской области климат умеренно континентальный. В 2007 г. посев образцов целевой субколлекции был проведен 12 сентября, а в 2008 г. – на две недели раньше. В оба года изучения ежемесячные температуры воздуха, за исключением ноября 2007 г., превышали средние многолетние, при этом в 2008/2009 г. разница была больше. В 2007/2008 г. стабильный переход к отрицательным температурам был постепенным и произошел в начале ноября, в 2008/2009 г. – резким и в начале января, при этом отмечались колебания температуры до -20°C в декабре и феврале. В пос. Екатериново, в сравнении с г. Пушкин, в 2007 г. декабрь и январь были холоднее, февраль – теплее. Количество осадков выпало близко к норме, но резко колебалось по месяцам: их было больше в октябре, ноябре и марте, существенно меньше в сентябре, декабре и феврале. В 2008/2009 г. в рассматриваемые месяцы вегетационного периода осадков выпало меньше на 27%, а средняя высота снежного покрова в оба года изучения была примерно одинаковой.

В целом в годы выращивания образцов в обоих пунктах изучения наблюдали значительную вариабельность погодных условий, что способствовало выявлению дифференциации образцов озимой мягкой пшеницы по адаптивности.

Результаты и обсуждение

Оценка перезимовки озимой мягкой пшеницы в Пушкине в 2006/2007 г. показала гибель 115 образцов из 431 происхождения из РФ и бывшего СССР, а также 385 из 484 образцов зарубежных стран. При лабораторном определении видового состава возбудителей болезней было выявлено наличие спор грибов *Fusarium culmorum* (Wm.G.Sm.) Sacc., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. oxysporum* Schlechtend., *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels & I.C. Hallett. Поражение растений пшеницы этими грибами могло влиять на ее перезимовку.

Распределение образцов из разных регионов России по степени зимостойкости представлено на рисунке 1.

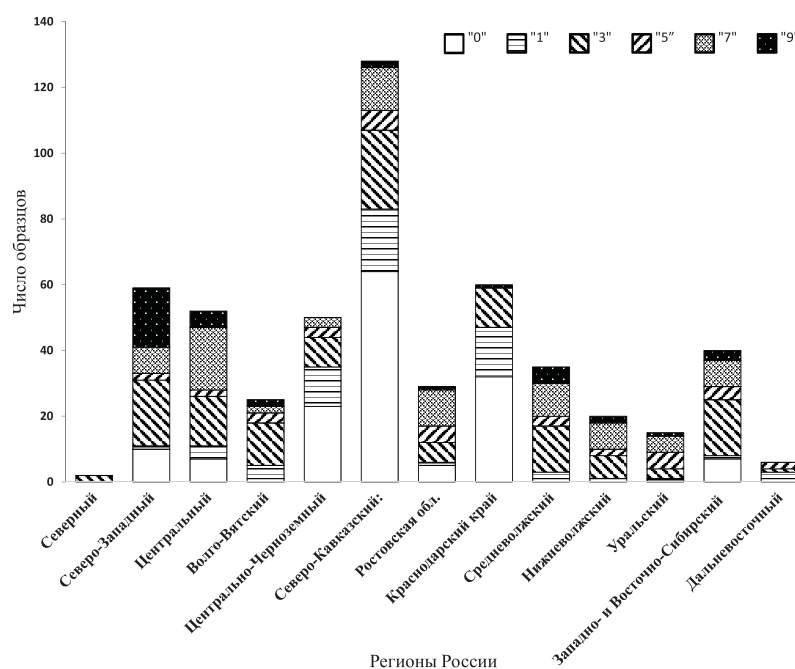


Рис. 1. Распределение образцов, происходящих из разных регионов РФ, по степени зимостойкости в условиях г. Пушкин (2006/2007 г.)

Обозначения: 0...9 – степень зимостойкости, балл

Fig. 1. Distribution of accessions originating from different regions of Russia according to their winter hardiness (Pushkin, 2006/2007)

Designations: 0...9 – winter hardiness degree, points

Регионы даны по Государственному реестру селекционных достижений, допущенных к использованию в 2018 г. (https://gossort.com/docs/REESTR_2018.pdf). Только 31 образец имел среднюю, 76 – высокую и 38 – очень высокую зимостойкость. Суммарная доля образцов этих групп варьировала от 12% (Центрально-Черноземный регион) до 73% (Уральский регион). Наиболее высокая пропорция образцов с зимостойкостью 7 баллов обнаружена среди озимой мягкой пшеницы Центрального и Нижневолжского регионов, а 9 баллов – Северо-Западного и Средневолжского. Следует отметить, что значительные различия по перезимовке показали образцы из Краснодарского края и Ростовской области (Северо-Кавказский регион). В первом случае лишь один из 60 изученных образцов отнесен к перечисленным выше классам, во втором – 17 из 29 образцов.

Среди выявленных зимостойких образцов – староместные сорта и отобранные из них линии Владимир-

ской (к-32707, к-32715, к-36437, к-36480), Вологодской (к-41810); Кировской (к-25707, к-11767 'Ферругинум 4'); Костромской (к-8564 и к-38435 'Сумароковская местная'); Московской (к-11617) и Новгородской (к-4296 'Местная 4') областей, а также селекционные сорта и линии из разных регионов России (к-38365 'Вязниковская' и к-55820 'Нерль' – Владимирская область; к-54494 'Одинцовская 75', к-59269 'Немчиновская 52', к-62440 'Памяти Федина', к-64160 'Московская 39' – Московская область; к-38291 'Казачка', к-58661 'Омская 2' – Омская область; к-63929 'Августа', к-64491 'Авеста' – Ростовская область; к-64281 'Светоч' и к-64278 'Безенчукская 616' – Самарская область; к-62736 'Саратовская остистая' и к-63106 'Губерния' – Саратовская область; к-62431 'Казанская 84', к-62437 'Казанская 232' и к-63027 'Казанская 2074' – Татарстан).

Среди зарубежного материала, поступившего в 1990–2006 гг., только 22 образца показали среднюю степень зимостойкости – 10 высокую и 2 очень высокую (рис. 2).

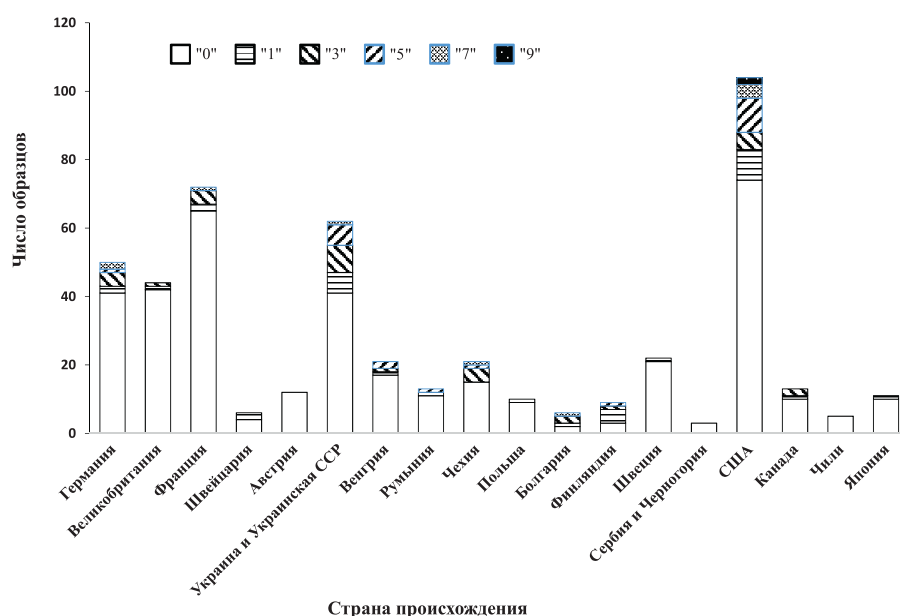


Рис. 2. Распределение образцов разных стран по степени зимостойкости (Пушкин, 2006/2007 г.)
Обозначения: 0...9 – степень зимостойкости, балл

Fig. 2. Distribution of accessions from different countries according to their winter hardiness (Pushkin, 2006/2007)

Designations: 0...9 – winter hardiness degree, points

Образцы, относящиеся к перечисленным группам зимостойкости, происходили из США (к-63878 'Hart', к-63634 'Lincoln', к-63628 'Joleen', к-63547 'Flynn', к-63541 'Promology', к-63521 'Agassir', к-63020 KS 8010-72), Украины (к-64296 'Zhuravka', к-64322 'Astet', к-64324 'Dykanka') и Украинской ССР (к-45885 'Мироновская Юбилейная'), Венгрии (к-64175 'MV. Palma'), Германии (к-64029 'Mikon', к-64030 'Zentos'), Румынии (к-64192 'Alex') и Чехии (к-63890 'Saskia', к-63894 'Mona'). Среди изученных образцов других зарубежных стран форм с зимостойкостью, равной средней и выше, не выявлено.

Для дальнейшего изучения зимостойкости озимой мягкой пшеницы на основе полученных данных и с учетом разнообразия географического происхождения образцов, с которым связаны различия в условиях зимовки, была сформирована целевая субколлекция. В нее включены: 91 образец со средней и выше степенью зимостойкости в условиях Пушкина; 56 – не перезимовавших; 19 – с очень низкой и 29 – низкой степенью зимостойко-

сти. Образцы были в основном из тех стран, в которых проводится интенсивная селекционная работа по озимой мягкой пшенице, а именно: России, Украины, Германии, Венгрии, Польши, Румынии, Франции, Чехии, США, Канады и Японии. Их включили в целевую субколлекцию для более широкого охвата разных типов устойчивости к неблагоприятным факторам зимовки.

Двухлетнее эколого-географическое изучение целевой субколлекции выявило значительное варьирование образцов по зимостойкости (табл. 1). Наиболее благоприятным для зимовки был сезон 2013/2014 г. в Пушкине, когда все образцы перезимовали, а наименее – 2008/2009 г., пос. Екатеринино, когда большая часть (80,3%) образцов или погибла, или имела очень низкую и низкую степень зимостойкости. В последнем случае на перезимовку образцов, по-видимому, существенно повлияли более ранние сроки сева. Растения пшеницы в течение довольно длительного периода времени росли и развивались при положительных температурах и не

получили хорошей закалки, затем произошел резкий переход к отрицательным температурам и вследствие этого гибель растений многих образцов.

Для ответа на вопрос, была ли выявленная общая изменчивость по зимостойкости случайной или определялась различиями условий выращивания и/или генетическими различиями образцов, использовали полученные данные перезимовки 158 сортов при их эколого-географическом испытании, а также в Пушкине в 2006/2007 г. С помощью рангового дисперсионного анализа Фридмана показано, что достоверное влияние на зимостойкость имели место/год выращивания образцов ($\chi^2_3 = 256,7$; $\chi^2_{0,05} = 9,5$; $df = 4$) и генетические различия между ними ($\chi^2_3 = 239,3$; $\chi^2_{0,05} = 187,2$; $df = 157$). Приблизительное представление об относительной силе влияния названных факторов дает величина коэффициента $\Gamma = \chi^2_3 / \chi^2_{0,05}$ (Zaitsev, 1984). Для первого фактора она составила 27,0, второго – 1,3, т. е. изменчивость по зимостойкости образцов сильнее зависела от условий выращивания, чем от их генетических различий.

С целью изучения структуры субколлекции был проведен кластерный анализ с использованием алгоритма k-средних. Набор из 158 образцов разделили на шесть более однородных групп (кластеров) численностью от 13 до 42 образцов каждый (табл. 2). В кластере 1 объединились образцы, хорошо зимовавшие в обоих пунктах во все годы изучения, а в кластере 6 – образцы с наиболее низкой перезимовкой. В кластеры 2 и 3 вошли образцы, плохо зимовавшие в отдельные годы в обоих пунктах, а в кластеры 4 и 5 – низкозимостойкие или в Пушкине в 2006/2007 г. или в Екатеринино в 2008/2009 г. Другими словами, образцы целевой субколлекции различались по реакции на комплексы факторов зимовки. В таблице 3 приведены квадраты евклидова расстояния между кластерами или выявленными группами образцов. Наиболее близки между собой кластеры 1 и 5, 2 и 6.

Особый интерес представлял кластер 1. В нем объединились отечественные образцы со степенью зимостойкости в основном средней и выше во все годы изучения. В их числе сорт-стандарт 'Мироновская 808' (к-43920) староместные сорта из Владимирской (к-32715, к-36437) и Тюменской (к-36613) областей, константная ржано-пшеничная гибридная линия РПГ 27/36 (к-29466) из Саратовской области, старые селекционные сорта 'Аэлита 84' (к-57322) и 'Стремнина' (к-58321) из Самарской области, 'Белоснежная' (к-57573) и 'Северная зоря' (к-59261) из Ростовской и Омской областей соответственно, а также современные селекционные сорта 'Казанская 84' (к-62431) из Татарстана, 'Арфа' (к-63930) из Ростовской области и 'Безенчукская 616' (к-61278) из Самарской области. Три последних сорта поступили в коллекцию ВИР за период с 1990 по 2006 г.

Результаты лабораторного анализа элементов продуктивности колоса стабильно зимостойких образцов приведены в таблице 4. Согласно полученным данным и в соответствии со шкалами Широкого унифицированного классификатора СЭВ рода *Triticum* L. (Broad unified..., 1989), сорт 'Арфа' можно охарактеризовать как низкорослый (61–80 см), три местных сорта (к-32715, к-36437, к-36613) и старый селекционный сорт 'Белоснежная' – как высокорослые (111–140 см), остальные – как среднерослые (81–110 см); при этом все они имели средний (7–8 см) или большой (9–13 см) колос, но с очень малым (14 шт.), как у 'Северной зари', или малым (15–20 шт.), как у большинства изученных образцов, числом колосков. В отличие от них у сорта-стандarta 'Мироновская 808' был большой колос, число зерен в колосе варьировало от среднего (26–35 шт.) до преимущественно большого (36–55 шт.), масса зерна с колоса в основном была средняя (1,2–1,7 г), а масса 1000 зерен – низкая (31–38 г) или средняя (39–45 г).

Закключение

Реакция растений озимой мягкой пшеницы на неблагоприятные условия зимовки – одна из важнейших ее адаптивных характеристик. Для получения высоких урожаев современные сорта должны быть высоко морозостойкими, эффективно использовать запасы зимней влаги, проявлять устойчивость к возвратным заморозкам после оттепелей и во время стеблевания в мае, длительно отращивать весной и противостоять целому ряду патогенов. Успех решения сложной селекционной задачи по объединению в одном генотипе различных комплексов адаптивно важных признаков и, в целом, повышению адаптивного потенциала создаваемых сортов во многом зависит от наличия соответствующего исходного материала. Традиционно в качестве исходного материала селекционные учреждения России широко используют образцы коллекции ВИР (Samofalov, Podgorny, 2014; Sokolenko, Komarov, 2016). В этой связи предварительное (предселекционное) изучение коллекционных образцов и выявление среди них источников, адаптированных к неблагоприятным факторам в период зимовки, остается актуальной исследовательской задачей.

Проведенное нами полевое изучение 915 образцов озимой мягкой пшеницы коллекции ВИР показало, что перезимовали в Пушкине в 2006/2007 г. менее половины образцов набора, преимущественно происхождения из России и бывшего СССР. Среди них – староместные и селекционные сорта, в том числе как ранее выявленные в качестве источников зимостойкости и в наших опытах подтвердившие свои характеристики, так и поступившие в коллекцию ВИР в 1990–2006 гг. По данным учреждений-оригинаторов, выделившиеся в наших опытах селекционные сорта отличаются высокой морозостойкостью и другими адаптивно важными свойствами (Sukhorukov, 2012).

Известно, что в разных эколого-географических условиях на зимостойкость пшеницы влияют разные комплексы абиотических и биотических стрессоров. Чтобы полнее охватить разнообразие мягкой пшеницы по защитным реакциям на эти стрессоры, мы сформировали целевую субколлекцию по зимостойкости, включив в нее образцы из разных стран мира и регионов России. При эколого-географическом изучении субколлекции в Северо-Западном и Центрально-Черноземном регионах показано значительное разнообразие образцов по реакции на условия зимовки, а также влияние на степень их зимостойкости условий выращивания и генетических различий между ними. В течение всех лет испытаний лишь 12 образцов имели средний и выше уровень зимостойкости. Все они происхождением из России и бывшего СССР и представлены как староместными, так и селекционными сортами, что указывает на главные направления дальнейшего поиска генетического разнообразия по зимостойкости. Согласно современным представлениям, адаптация растений пшеницы к одному из наиболее значимых факторов зимовки – холоду (низким положительным температурам и температурам ниже нуля) связана со значительными изменениями метаболических путей и экспрессии большого числа (от сотен до почти трех тысяч) генов, которые контролируют разнообразные защитные реакции (Laudencia-Chingcuanco et al., 2011; Winfield et al., 2010). Идентификация и понимание генетических и молекулярных механизмов защитных реакций – необходимое условие дальнейшего прогресса в повышении адаптационного потенциала озимой мягкой пшеницы путем селекции. Сформированную целевую субколлекцию по зимостойкости целесообразно использовать для решения этой задачи.

Таблица 1. Характеристика целевой субколлекции мягкой пшеницы по зимостойкости**Table 1.** Winter hardiness data on the target bread wheat sub-collection

Место и год посева Growing place and year	Число изученных образцов Number of evaluated accessions	Зимостойкость Winter hardiness			
		средняя ошибка, балл mean error, points	пределы варьирования, балл limits of variation, points	значение моды, балл mode value, points	коэффициент вариации, % variation coefficient, %
Пушкин, 2006/2007	195	3.8±0.2	0–9	0	23.5
Пушкин, 2007/2008	194	4.4±0.1	0–9	5	14.8
Пушкин, 2013/2014	182	6.9±0.1	3–9	7	10.6
Екатери́нино, 2007/2008	167	5.4±0.1	1–9	5	35.0
Екатери́нино, 2008/2009	173	2.0±0.1	0–5	1	14.1

Таблица 2. Зимостойкость групп (кластеров) образцов, выявленных методом к-средних в составе целевой субколлекции**Table 2.** Winter hardiness of accession groups (clusters) revealed by the k-means method in the target sub-collection

Место и год изучения Place and year of study	Кластер 1 n = 37 Cluster 1 n = 37	Кластер 2 n = 29 Cluster 2 n = 29	Кластер 3 n = 17 Cluster 3 n = 17	Кластер 4 n = 13 Cluster 4 n = 13	Кластер 5 n = 42 Cluster 5 n = 42	Кластер 6 n = 20 Cluster 6 n = 20
П-2006/2007	7,7±1,0*	1,4±1,3	0,2±0,3	2,1±1,1	6,5±1,0	1,3±1,3
П-2007/2008	5,3±1,2	5,3±1,1	3,1±0,7	5,3±1,0	5,4±1,3	2,3±1,0
П-2013/2014	6,8±0,8	7,8±1,1	7,2±1,0	6,1±1,0	7,1±1,0	5,8±1,0
Е-2007/2008	6,1±1,2	4,2±1,1	7,8±1,0	6,1±1,3	5,0±1,0	3,9±1,0
Е-2008/2009	4,0±1,0	0,5±0,6	1,1±0,9	4,7±0,5	1,2±0,7	0,7±0,7

Обозначения: П – г. Пушкин, Е – пос. Екатери́нино, n – число образцов;

* – здесь и далее – средняя и стандартное отклонение, балл.

Designations: П – Pushkin, Е – Yekaterinino, n – number of accessions;

* – here and further in the text – mean and standard deviation, points.

Таблица 3. Расстояния между кластерами**Table 3.** Distances between clusters

Номер кластера Cluster number	1	2	3	4	5
2	11,2*				
3	14,7	4,1			
4	6,5	4,9	5,2		
5	2,1	5,4	10,6	6,7	
6	13,6	2,8	3,9	6,2	8,1

* – квадрат евклидова расстояния.

* – squared Euclidean distance.

Таблица 4. Характеристика стабильно зимостойких образцов по хозяйственно ценным признакам (г. Пушкин, 2007/2008 г.)
Table 4. Values of the economically important traits of the stable winter-hardy accessions (Pushkin, 2007/2008)

Номер по каталогу ВИР VIR catalogue number	Название образца Name of accession	Происхождение Origin	Длина стебля, см Stem length, cm	Колос Ear				Масса 1000 зерен, г 1000 grain weight, g
				длина, см length, cm	число колосков, шт. spikelets number, pcs.	число зерен, шт. grains number, pcs.	масса зерна, г grain mass, g	
29466	РПГ 27/36	Россия, Саратовская обл.	109.2* 83-125	7.9 5.5-10.5	14.8 12-19	30.6 20-44	1.06 0.59-1.59	35 30-36
32715	-	Россия, Владимирская обл.	113.1 97-128	8.2 6.0-10.5	16.4 12-19	33.0 19-46	1.17 0.6-1.85	35 32-40
36437	-	Россия, Владимирская обл.	127.7 106-140	7.6 5.0-10	16.2 14-18	24.8 12-38	0.83 0.31-1.46	33 14-38
36613	Местная	Россия, Тюменская обл.	122.4 112-134	9.1 6.6-12	17.4 14-21	36.3 22-58	1.26 0.69-2.46	35 31-42
43920	Мироновская 808 ст.	Украина, Киевская обл.	90.6 88-137	9.1 5.0-11.3	21.5 11-23	52.1 26-53	1.66 0.61-1.97	32 24-37
57322	Аэлита 84	Россия, Самарская обл.	98.6 88-110	8.8 7.0-11.5	17.5 15-19	36.2 31-55	1.57 0.97-2.67	43 31-49
57573	Белоснежная	Россия, Ростовская обл.	118.2 108-130	9.7 7.5-11.5	17.4 12-19	38.3 29-48	1.29 0.69-1.68	34 24-35
58321	Стремнина	Россия, Самарская обл.	89.8 83-106	7.5 6.1-8.5	15.3 13-18	36.4 26-42	1.54 0.94-2.04	42 36-48
59261	Северная заря	Россия, Омская обл.	87.2 79-101	7.3 5.8-9.2	14.3 12-19	31.6 22-46	1.49 0.77-2.29	47 35-50
62431	Казанская 84	Россия, Татарстан	101.4 75-112	7.9 5.5-11	16.6 13-20	43.9 32-62	1.78 0.69-2.72	41 22-44
63930	Арфа	Россия, Ростовская обл.	71.1 58-77	7.7 6.0-10.5	16.3 14-19	33.7 21-58	1.44 0.79-2.35	43 38-41
64278	Безенчукская 616	Россия, Самарская обл.	99.8 96-112	8.2 6.0-9.5	16.3 9-20	39.5 18-54	1.66 0.75-2.39	42 42-44

* здесь и далее средняя/minimum-maximum;

* - here and further in the text - mean/minimum-maximum.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

References/Литература

- Barashkova E.A., Novikova M.V., Vinogradova V.V., Alekseyeva E.N., Kiryan M.V., Chikova N.P. Catalogue of the VIR global collection. Issue 375. Winter bread wheat (Winter and frost hardiness of cultivars under various environmental conditions) (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 375, Ozimaya myagkaya pshenitsa [Zimo-i morozostoykost sortov v raznykh ekologicheskikh usloviyakh]). Leningrad: VIR; 1983. [in Russian] (Барашкова Э.А., Новикова М.В., Виноградова В.В., Алексеева Е.Н., Кирьян М.В., Чикова Н.П. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 375. Озимая мягкая пшеница (Зимо- и морозостойкость сортов в разных экологических условиях). Ленинград: ВИР; 1983).
- Berlyand-Kozhevnikov V.M., Korneev V.A., Novikova M.V. Study of the agrometeorological conditions of winter wheat wintering (Izucheniye agrometeorologicheskikh usloviy perezimovki ozimoy pshenitsy). *Nauchnyye trudy Severo-Zapadnogo NIISKH = Scientific Proceedings of the North-Western Research Institute of Agriculture*. 1976;(37):78-86. [in Russian] (Берлянд-Кожевников В.М., Корнеев В.А., Новикова М.В. Изучение агрометеорологических условий перезимовки озимой пшеницы. *Научные труды Северо-Западного НИИСХ*. 1976;(37):78-86).
- Broad unified COMECON list of descriptors for the genus *Triticum* L. (Shirokiy unifikirovanny klassifikator SEV roda *Triticum* L.). Leningrad; 1989. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ рода *Triticum* L. Ленинград; 1989).
- Dyubin V.N., Novikova M.V. Evaluation of the source material for frost resistance in the selection of soft winter wheat. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1985;96:21-27. [in Russian] (Дюбин В.Н., Новикова М.В. Оценка исходного материала на морозостойкость в селекции мягкой озимой пшеницы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1985;96:21-27).
- Komarov V.I., Nikiforova N.F., Stepanova G.I., Novikova M.V., Gradchaninova O.D., Udachin R.A., Chikova N.P., Cheremisova G.D., Ivashkina R.P. Catalogue of the VIR global collection. Issue 333. Technological and economic-biological properties of winter wheat under the conditions of the Non-Chernozem zone of the RSFSR (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 333. Tekhnologicheskiye i khozyaystvenno-biologicheskiye svoystva ozimoy pshenitsy v usloviyakh Nechernozemnoy zony RSFSR). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Комаров В.И., Никифорова Н.Ф., Степанова Г.И., Новикова М.В., Градчанинова О.Д., Удачин Р.А., Чикова Н.П., Черемисова Г.Д., Ивашкина Р.П. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 333. Технологические и хозяйственно-биологические свойства озимой пшеницы в условиях Нечерноземной зоны РСФСР. Ленинград: ВИР; 1982).
- Konopvalova G.S., Tyryshkin L.G. Methods of working with pure cultures of fungi (Metody raboty s chistymi kulturami gribov). In: *Study of the genetic resources of grain crops for resistance to harmful organisms. Methodological manual (Isuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoichivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow; 2008. p.106-111 [in Russian] (Коновалова Г.С., Тырышкин Л.Г. Методы работы с чистыми культурами грибов. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва; 2008. С.106-111).
- Laudencia-Chingcuanco D., Ganeshan S., You F., Fowler B., Chibbar R., Anderson O. Genome-wide gene expression analysis supports a developmental model of low temperature tolerance gene regulation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Genomics*. 2011;12:299. DOI: 10.1186/1471-2164-12-299
- Merezhko A.F. (ed.). Replenishment, preservation *in vivo* and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: Methodological guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kollektsii pshenitsy, egilopsa i tritikale: Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилоса и тритикале: Методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Samofalov A.P., Podgorny S.V. The initial material in a winter wheat selection on productivity. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014;(5):13-16. [in Russian] (Самофалов А.П., Подгорный С.В. Исходный материал в селекции озимой пшеницы на продуктивность. *Аграрный вестник Урала*. 2014; (5):13-16).
- Sokolenko N.I., Komarov N.M. Source material for breeding of winter wheat on productivity and the most important adaptive characters. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(9):26-29. [in Russian] (Соколенко Н.И., Комаров Н.М. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на продуктивность и важнейшие адаптивные признаки. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(9):26-29).
- Strutsovskaya E.S. The global wheat collection as source material for breeding for winter hardiness (Mirovaya kollektsiya pshenits – iskhodny material dlya selektsii na zimostoykost). In: *Techniques and methods for increasing winter hardiness in winter cereals (Priemy i metody povysheniya zimostoykosti ozimyykh zernovykh kultur)*. Moscow: Kolos; 1968. p.65-70. [in Russian] (Струцовская Е.С. Мировая коллекция пшениц – исходный материал для селекции на зимостойкость. В кн.: *Приемы и методы повышения зимостойкости озимых зерновых культур*. Москва: Колос; 1968. С.65-70).
- Strutsovskaya E.S. Swedish winter wheats. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1969;39(3):172-188. [in Russian] (Струцовская Е.С. Озимые пшеницы Швеции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1969;39(3):172-188).
- Sukhorukov A.F. Results of breeding winter bread wheat in Samara RSIA. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012;(3):26-28. [in Russian] (Сухоруков А.Ф. Сорта озимой пшеницы Самарского НИИСХ. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(3):26-28).
- Vavilov N.I. Scientific bases for wheat breeding (Nauchnyye osnovy selektsii pshenitsy). Moscow, Leningrad; 1935. [in Russian] (Вавилов Н.И. Научные основы селекции пшеницы. Москва, Ленинград; 1935).
- Winfield M.O., Lu C., Wilson I.D., Coghill J.A., Edwards K.J. Plant responses to cold transcriptome analysis of wheat. *Plant Biotechnology Journal*. 2010;8(7):749-771. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2010.00536.x

Yakovlev N.I. Climate and winter hardiness of winter wheat in the USSR (Klimat i zimostoykost ozimoy pshenitsy v SSSR). Leningrad; 1966. [in Russian] (Яковлев Н.И. Климат и зимостойкость озимой пшеницы в СССР. Ленинград; 1966).

Zaitsev G.N. Mathematical statistics in experimental botany (Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1984. [in Russian] (Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1984).

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования/How to cite this article

Лысенко Н.С., Лосева В.А., Митрофанова О.П. Зимостойкость мягкой пшеницы коллекции ВИР в условиях Северо-Западного и Центрально-Черноземного регионов России. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019;180(3):41-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-41-49

Lysenko N.S., Loseva V.F., Mitrofanova O.P. Winter hardiness of bread wheat from the VIR collection in environments of the Northwestern and Central Black Soil regions of Russia. Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019;180(3):41-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-41-49

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-3-41-49>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest
