

БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА И РАЗМЕРЫ ЗЕРНОВОК ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ И МЕЖВИДОВЫХ ГИБРИДОВ

Ф.В. ТУГАРЕВА, научный сотрудник

E-mail: faina-ukhova@mail.ru

ФГБНУ «ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР»

В статье приведены результаты продуктивности сортов и линий пшеницы твердой яровой, отвечающих требованиям для производства крупы и имеющих значения содержания белка более 14% и показатель натурности зерна более 780 г/л. Наиболее высокие показатели у Безенчукская нива, Безенчукская 210, Марина, Донская элегия и межвидового гибрида Фея. Выявлены существенные различия по длине и толщине зерновки, в меньшей степени – по ширине. Длиннозерными (более 8,0 мм) и наиболее крупнозерными сортообразцами являются сорта Марина, Донская элегия и селекционная линия 1506d-37. Корреляционный анализ позволил установить, что натура зерна положительно связана с содержанием крахмала ($r + 0,67$). Вместе с тем, отмечена средняя положительная связь длины зерновки с массой 1000 семян и содержанием клейковины ($r + 0,63$ и $r + 0,57$), толщины зерновки с массой 1000 семян ($r + 0,53$). Кластерный анализ сортов, селекционных линий и межвидовых гибридов по показателям качества зерна позволил сформировать 6 кластеров. Заслуживает внимания кластер № 2, в котором сгруппированы высокоурожайный сорт Донская элегия, являющийся стандартом в Центрально-Чернозёмном регионе, и селекционная линия 1461-15 (сорт Фея), полученная в результате межвидовой гибридизации. В результате структурного и кластерного анализов установлено существенное фенотипическое отличие межвидовых гибридов от сорта полбы Руно и их сходство с лучшими сортами яровой твёрдой пшеницы; выявлен новый ценный исходный материал с комплексом положительных признаков для селекции на высокую продуктивность и устойчивость к стрессам: сорта Триада, Фея, линии 1560-18, 1898-6.

Ключевые слова: пшеница яровая твёрдая, межвидовые гибриды, сорт, линия, качество зерна, размеры зерновок.

BIOCHEMICAL PROPERTIES OF GRAIN AND GRAIN SIZES OF SPRING DURUM WHEAT AND INTERSPECIFIC HYBRIDS

F.V. Tugareva

FSBSI «FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS»

e-mail: faina-ukhova@mail.ru

Abstract: *The article presents the results of productivity of varieties and lines of durum spring wheat that meet the requirements for the production of groats and have a protein content of more than 14% and an indicator of grain unit of more than 780 g/l. The highest rates are in Bezenchukskaya niva, Bezenchukskaya 210, Marina, Donskaya elegiya and the interspecific hybrid Feya. Revealed significant differences in the length and thickness of a grain, to a lesser extent in the width. Long-grain (more than 8.0 mm) and the largest-grain varieties are Marina, Donskaya elegiya and breeding line 1506d-37. Correlation analysis made it possible to establish that the grain unit is positively related to the starch content ($r + 0,67$). At the same time, there was an average positive relationship between the length of a grain and 1000 seeds weight and the gluten content ($r + 0,63$ and $r + 0,57$), thickness of a grain with 1000 seeds weight ($r + 0,53$). Cluster analysis of varieties, breeding lines and interspecific hybrids in terms of grain quality indicators made it*

possible to form 6 clusters. Cluster 2 deserves attention, in which the high-yielding variety *Donskaya elegiya*, which is the standard in the Central Black Earth region, and the selection line 1461-15 (*Feya* variety), obtained as a result of interspecific hybridization, are grouped. As a result of structural and cluster analyzes, a significant phenotypic difference between interspecific hybrids and the *Runo* spelled cultivar and their similarity with the best spring durum wheat cultivars was established; a new valuable starting material with a complex of positive traits for breeding for high productivity and resistance to stress was revealed: varieties *Triada*, *Feya*, lines 1560-18, 1898-6.

Keywords: durum spring wheat, interspecific hybrids, variety, line, grain quality, grain size.

Введение

Качество зерна сортов яровой твердой пшеницы, среди прочих факторов, определяется адаптационными способностями к конкретным агроэкологическим условиям. Для пшеницы важнейшим приоритетом наряду с увеличением потенциальной продуктивности и экологической устойчивости, являются повышенное содержания белка в зерне и технологические показатели зерна [1, 2]. В результате комплексных исследований установлено, что новые современные сорта и селекционные линии твердой яровой пшеницы, селекционный материал межвидовых гибридов, выращенный в условиях северо-западной части Центрально-Чернозёмного региона, не уступают по урожайности и превосходят по качеству зерна сорта яровой мягкой пшеницы, что открывает реальные перспективы производства зерна для получения макаронной муки и крупы [3].

В процессе селекции твердой пшеницы в Самарском НИИСХ им. Н.М. Тулайкова создан селекционный материал, не уступающий плёнчатой полбе (сорт *Руно*) по питательной ценности, вкусу, запаху и консистенции каши и превосходящий её по содержанию каротиноидов, цвету, устойчивости к прорастанию на корню. Полученные селекционные линии крупяного направления отличаются высокой урожайностью (более 5 т/га), широкой нормой реакции на условия среды, адаптивностью к засухе и отзывчивостью на благоприятные условия. В связи с этим, актуально изучение возможности селекции новых сортов яровой твердой пшеницы, адаптированных к условиям Орловской области на основе подбора соответствующего селекционного материала [4].

Целью работы являлись сравнительные исследования урожайности, качества зерна и технологических особенностей зерновок лучших сортообразцов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum*) и межвидовых гибридов (*Triticum durum* × *Triticum dicoccum*) в условиях Центральной России.

Материал и методы исследований

Объект исследования: пшеница мягкая яровая сорта *Дарья* (контроль), *Гранни*, пшеница твердая яровая сорт *Донская элегия* (стандарт), сорта *Николаша* (НЦ зерна имени П.П. Лукьяненко, селекционные линии яровой твёрдой пшеницы и сортообразцы, полученные в результате межвидовой гибридизации сорта *Triticum durum* × *Triticum dicoccum* в Самарском НИИСХ им. Н.М. Тулайкова.

Экспериментальные посеы были размещены на полях селекционного севооборота ФНЦ ЗБК. Предшественник – пар. Почвы – тёмно-серые лесные, тяжелосуглинистые, средне окультуренные. Микрорельеф участка выровненный. Пахотный слой имеет среднекислую реакцию почвенного раствора $pH_{\text{сол}} - 5,0$, среднее содержание гумуса 4,9-5,1%, высокое содержание подвижного фосфора, среднее содержание обменного калия для данного типа почв. По основным физико-химическим показателям почвы являются типичными для данной природно-экономической зоны.

В конкурсном и экологическом сортоиспытании общая площадь делянки составляет 16,5 м². Учетная площадь делянки – 15 м². Размещение делянок в опыте рендомизированное и парное, повторность 3-4-кратная. Посев осуществляется селекционной сеялкой СКС-6-10. Норма высева 5 млн. всхожих зерен на гектар. Уборка урожая проведена в фазу полного созревания селекционным малогабаритным комбайном SAMPO-130. Фенологические наблюдения, учет поражения болезнями, оценку фенотипической изменчивости

количественных признаков проводятся по общепринятым и широко апробированным в научных учреждениях методикам.

Погодные условия в период роста и развития растений твёрдой пшеницы и полбы за годы исследований были различными. Если вегетационные периоды 2018 г. можно считать с недостаточным увлажнением, 2019 г. слабо засушливым (Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова – 0,79, 1,22, соответственно), то в 2017 г. и 2020 г. наблюдалось избыточное увлажнение (ГТК – 1,68 и 1,49, соответственно).

Экспериментальные данные обработаны статистическими методами с использованием компьютерных программ *Microsoft office Excel*, а также проведен дисперсионный и кластерный анализ полученных результатов. Кластерный анализ осуществлён методом определения Евклидова расстояния между кластерами с объединением по правилу невзвешенного центроидного метода (*UPGMC*) с нормированием исходных данных.

Результаты и их обсуждение

В период проведения исследований в 2017-2020 гг. существенное влияние на урожайность твёрдой пшеницы и межвидовых гибридов оказали погодные условия. Вместе с тем, влияние вариантов (сортов) на общую дисперсию было значительным – 85...92%. Лучшие сорта и линии твёрдой пшеницы в конкурсном сортоиспытании существенно не уступали по урожайности сортам яровой мягкой пшеницы Дарья, Гранни, рекомендованных для выращивания в Орловской области.

По данным содержания белка и клейковины в зерне твёрдой пшеницы установлена тесная корреляционная связь $r = +0,87$. Содержание белка у сортообразцов твёрдой пшеницы и межвидовых гибридов варьировало от 14,0% у сорта Триада до 15,9% у линии №1890-17, что выше, чем у сортов мягкой пшеницы. Содержание клейковины у исследованных образцов составляет от 24,8 у сортов яровой мягкой пшеницы до 29,5% у межвидового гибрида №1938-5. Самое высокое содержание белка и клейковины выявлено у трех селекционных линий твёрдой пшеницы. Наибольшее содержание крахмала отмечено у сортов мягкой пшеницы: Дарья, Гранни. По показателям качества зерна выделены следующие источники: повышенного содержания белка и клейковины (более 15,5% белка и 29% клейковины) – линии: 1890-17, 1938-5, 1560-18 (табл. 1).

Таблица 1

Качество зерна яровой пшеницы и полбы

Сорт, линия	Белок, %	Клейковина, %	Крахмал, %
Донская Элегия	14,4	26,5	62,9
Безенчукская нива	14,8	26,4	62,8
Безенчукская 210	15,4	28,5	62,2
Марина	14,5	26,3	62,9
Золотая	15,2	27,9	62,5
Триада	14,0	24,9	62,8
Николаша	14,8	26,0	62,4
1506-37	15,3	28,4	62,0
1560-18	15,8	29,0	61,8
1890-17	15,9	29,3	61,9
Безенчук-Орловская 1*	15,5	28,6	62,0
1898-6*	14,4	26,0	62,1
1461д-15 (Фея)*	14,3	26,5	63,1
1938-5*	15,7	29,5	62,1
Дарья**	13,8	24,4	63,9
Гранни**	13,9	24,8	63,6
Полба Руно	15,1	29,0	59,8
среднее	14,8	26,6	62,4
ст. отклонение	0,9	2,5	0,9

* – межвидовые гибриды *Triticum durum*×*Triticum dicoccum*, ** – мягкая пшеница

На величину натуры зерна твёрдой пшеницы влияют форма зерна, крупность, плотность, влажность, плёнчатость, зрелость и выполненность зерна, масса 1000 зёрен, выравненность. Зерно выполненное, полновесное имеет повышенную натуру. Для зерна пшеницы базовая кондиция 750 г/л, ограничительная – 710 г/л. В результате исследований установлено, что большинство сортообразцов по показателю натура зерна отвечают требованиям для производства крупы имеют значения показателя более 780 г/л. Наиболее высокие показатели у сортов Безенчукская нива, Безенчукская 210, Марина, Донская элегия и межвидового гибрида Фея.

Форма зерна и семян весьма разнообразна. Зерно и семена разных культур и их сортов отличаются по форме. Существуют следующие формы зерна: шарообразная, чечевицеобразная, эллипсоид вращения; форма с различными размерами в трёх направлениях. Форма зерна и семян имеет существенное значение при очистке от примесей и сортировании. Зерно, более приближающееся по форме к шару, даёт больший выход муки, поскольку при такой форме на оболочечные частицы приходится относительно меньшая доля, чем при любой другой форме. Зерно шарообразной формы имеет более высокую натуру, так как плотнее укладывается в мерке.

Под линейными размерами понимается длина, ширина и толщина зерна и семени. Длинной считается расстояние между основанием и верхушкой зерна, шириной — наибольшее расстояние между боковыми сторонами и толщиной — между спинной и брюшной стороной (спинкой и брюшком). Совокупность линейных размеров называется крупностью. Крупное зерно даёт больший выход готовой продукции, так как в таком зерне больше эндосперма и меньше оболочек. Из трёх размеров (длины, ширины и толщины) толщина в наибольшей степени характеризует мукомольные свойства зерна. Объём зерновки рассчитывается по формуле $\frac{4}{3} \times \pi \times D/2 \times L/2 \times S/2$, где D, L, S – соответственно длина, ширина и толщина зерновки, мм. Удельная масса зерна зависит от химического состава и анатомического строения зерна и служит критерием оценки его качества. Удельная масса зерна пшеницы определяется отношением массы зерновок к их объёму и выражается в г/см³.

В результате изучения размеров зерновки перспективных сортообразцов твёрдой пшеницы выявлены существенные различия по длине зерновки, в меньшей степени – по ширине и толщине. К длиннозерным (более 8 мм) сортообразцам можно отнести сорт Марина, Донская элегия и новую селекционную линию 1506д-37 (8,3 мм). По ширине и толщине зерновки различия незначительны. Наиболее крупнозерными являются сорта Марина, Донская элегия и линии: 1506д-37, 1461-15 (Фея) (табл. 2).

Корреляционный анализ позволил установить, что натура зерна положительно связана с содержанием крахмала ($r + 0,67$). Вместе с тем, отмечена средняя положительная связь длины зерновки с массой 1000 семян и содержанием клейковины ($r + 0,63$ и $r + 0,57$), толщины зерновки с массой 1000 семян ($r + 0,53$). Объём зерновки положительно коррелирует с натурой зерна и размерами зерновок. Удельная масса зерна имеет слабую положительную связь с массой 1000 зёрен и отрицательную связь с размерами зерновок (табл. 3). Это указывает на определенную сопряженность физических показателей, которые в конечном итоге обеспечивают формирование зерна яровой твёрдой пшеницы. Отсутствие связи линейных размеров зерновки с биохимическими показателями определенным образом предполагает создание разнообразных по форме зерна сортов с высоким качеством зерна.

С целью повышения содержания белка и клейковины в процессе селекции и для улучшения качества продукции, физические и биохимические показатели зерна, связанные с онтогенезом растений, требуют детального и всестороннего рассмотрения.

Таблица 2

Линейные размеры зерновок яровой твёрдой пшеницы

Сорт, линия	Натура г/л	Размер зерновки (мм)			МТС, г
		Длина	Ширина	Толщина	
Донская элегия	795	8,3	3,3	3,0	46,0
Безенчукская нива	800	7,8	3,0	2,8	54,5
Безенчукская 210	793	7,8	3,3	2,8	46,7
Марина	794	8,1	2,9	2,9	53,7
Золотая	782	7,7	2,9	2,7	40,4
Триада	778	7,5	3,0	2,7	40,1
Николаша	775	6,8	3,1	2,8	49,4
1506-37	765	8,3	2,8	3,0	47,7
1560-18	755	7,8	2,8	2,7	40,9
1890-17	783	7,9	3,3	3,2	45,9
Безенчук-Орловская1*	750	7,7	2,9	2,6	44,0
1898-6*	777	7,5	2,9	2,5	43,9
1461д-15 (Фея)*	790	7,8	3,4	2,8	47,1
1938-5*	779	7,8	3,0	2,9	47,0
Дарья**	768	6,1	3,0	2,6	36,6
Гранни**	762	6,6	3,2	2,4	33,9
Полба Руно	542	8,8	3,0	2,7	43,7
среднее	765,8	7,4	3,1	2,8	43,5
ст. отклонение	52,3	0,7	0,2	0,2	5,5

* – межвидовые гибриды *Triticum durum* × *Triticum dicoccum*, ** – мягкая пшеница

Кластерный анализ сортов, селекционных линий и межвидовых гибридов по физическим и биохимическим показателям качества зерна позволил сформировать 6 кластеров. Заслуживает внимания кластер № 2, в котором сгруппированы высокоурожайный сорт Донская элегия, являющийся стандартом в Центрально-Чернозёмном регионе, и новая линия 1461-15 (сорт Фея). Кластер № 1 представлен сортами Безенчукская нива и Марина, хорошо зарекомендовавшим себя в Средне-Волжском регионе. В кластер № 3 вошли высокотехнологичные сортообразцы: новый сорт Триада, Золотая, Безенчук-Орловская 1 и селекционные линии, а также мультилинейная композиция на основе линий межвидовых гибридов. Кластеры № 4, № 5, включают сорта и линии яровой мягкой пшеницы. Кластер № 6 представлен сортом плёчатой полбы Руно (рисунок, табл. 4).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции линейных размеров зерновки и показателей качества зерна

Показатели	Натура зерна	Размер зерновки:			Масса 1000 зерен
		длина	ширина	толщина	
Масса 1000 зерен	0,14	0,63*	0,01	0,53	1,00
Объём зерновки	0,51	0,61 [□]	0,72 [□]	0,88*	0,25
Удельная масса зерна	-0,13	-0,52	-0,56	-0,57	0,45
Белок	-0,12	0,28	-0,20	0,19	0,11
Клейковина	-0,23	0,37	-0,12	0,18	0,28
Крахмал	0,67 [□]	-0,48	0,26	-0,07	-0,08

* – существенно на 0,05 уровне значимости

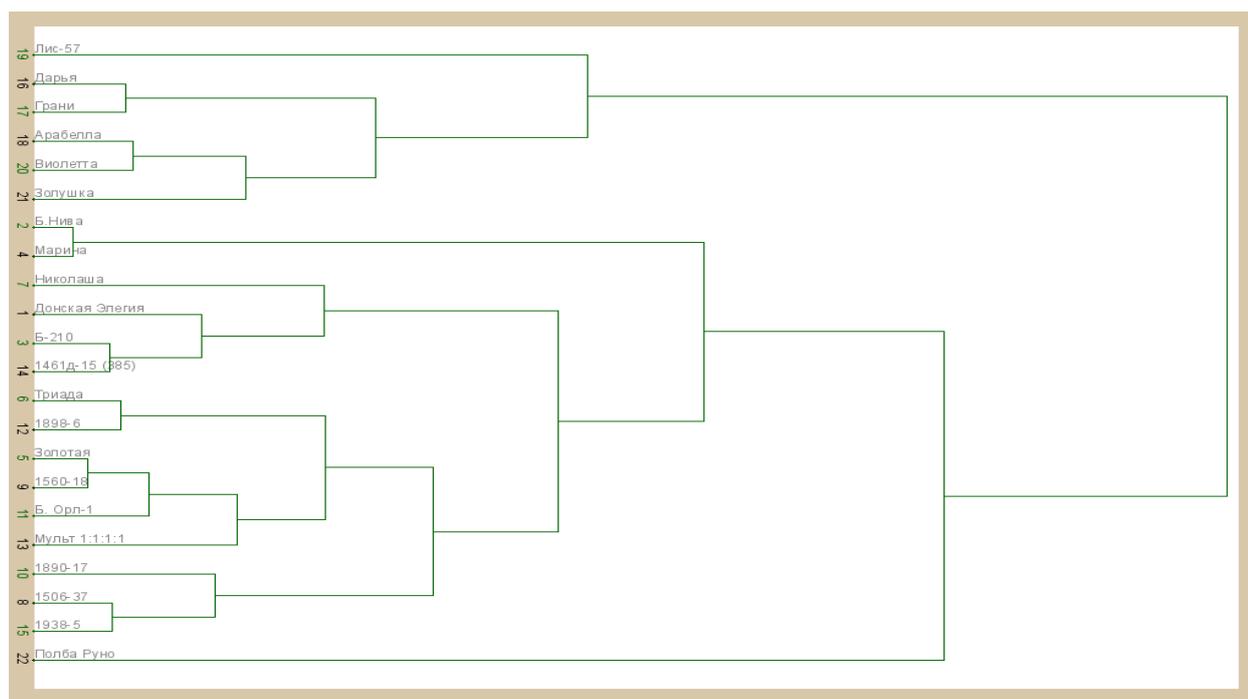


Рис. Дендрограмма кластерного анализа качества зерна сортов и линий твёрдой пшеницы, межвидовых гибридов и полбы

Таблица 4

Характеристика кластеров яровой пшеницы по физическим и биохимическим показателям зерна

№ кластера	Натура г/л	Длина зерновки, мм	Ширина зерновки, мм	Толщина зерновки, мм	МТС, г	Белок, %	Клейковина, %	Крахмал, %
1	797	7,8	3,0	2,8	54,1	14,7	26,4	62,8
2	788	7,7	3,3	2,9	47,3	14,7	26,9	62,7
3	772	7,7	3,0	2,8	43,6	15,2	27,9	62,1
4	765	6,3	3,1	2,5	35,2	13,9	24,6	63,8
5	773	6,7	3,1	2,8	39,2	13,9	21,9	62,8
6	542	8,8	3,0	2,7	43,7	15,1	29,0	59,8

Новая линия гордеиформе 1461-15 (сорт Фея), полученная в результате межвидовой гибридизации (*Triticum durum* № 682д-7×*Triticum dicocum* к-1949), передана совместно с Самарским НИИСХ на Государственное испытание с 2021 года.

Заключение

Установлено, что современные сорта и селекционные линии твердой яровой пшеницы и селекционный материал межвидовых гибридов, выращенные в условиях Орловской области, различаются по биохимическим и физическим показателям качества зерна. По биохимическим показателям выделены следующие источники: повышенного содержания белка и клейковины (более 15,5% белка и 29% клейковины) – линии: 1890-17, 1938-5, 1560-18. Большинство сортообразцов по показателю натура зерна отвечают требованиям для производства крупы и имеют значения показателя «натура» более 780 г/л. Наиболее высокие показатели у сортов Безенчукская нива, Безенчукская 210, Марина, Донская элегия и межвидового гибрида Фея.

При изучении размеров зерновки перспективных сортообразцов твёрдой пшеницы определены существенные различия по длине зерновки. К длиннозерным (более 8 мм) сортообразцам можно отнести сорт Марина, Донская элегия и новую селекционную линию 1506д-37 (8,3 мм). Отмечена средняя положительная связь длины зерновки с массой 1000

семян и содержанием клейковины ($r + 0,63$ и $r + 0,57$), толщины зерновки с массой 1000 семян ($r + 0,53$). Объём зерновки положительно коррелирует с натурой зерна и размерами зерновок.

В результате структурного и кластерного анализов установлено существенное фенотипическое отличие межвидовых гибридов от сорта полбы Руно и их сходство с лучшими сортами яровой твёрдой пшеницы. Выявлен новый ценный исходный материал с комплексом положительных признаков для селекции на высокую продуктивность (сорт Триада, новый сорт Фея), устойчивость к полеганию линия леукурум 1560-18.

Работа выполнена в соответствии с Программой ФНИ ГАН на 2013-2020 гг. по теме № 0636-2019-0009.

Литература

1. Сидоренко В.С., Мальчиков Н.П., Мясникова М.Г., Бударина Г.А., Наумкин Д.В., Костромичёва В.А., Старикова Ж.В., Тугарева Ф.В., Горьков А. А. Создание и выявление ценных селекционных линий крупяного направления на основе межвидовых гибридов твёрдой пшеницы и полбы // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – № 4 (24). – С. 106-115.
2. Мальчиков Н.П., Сидоренко В.С., Мясникова М.Г., Розова М.А., Мудрова А.А., Цыганков В.И., Мухитов Л.А., Тугарева Ф.В. Результаты селекции сортов яровой твёрдой пшеницы с укороченной соломиной. //Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – № 4 (24). – С. 97-106.
3. V.S. Sidorenko, F.V. Tugareva, Zh.V. Starikova. Experimental verification of cluster analysis to identify valuable breeding samples of spring wheat./ IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 650 (2021) 012105. doi:10.1088/1755-1315/650/1/012105
4. Мальчиков П.Н., Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Шаболкина Е.Н., Мясникова М.Г., Огаян Т.В. Перспективы улучшения крупяных качеств твердой пшеницы в процессе селекции // Зернобобовые и крупяные культуры, – 2016. – №3. – С. 101-108

References

1. Sidorenko V.S., Mal'chikov N.P., Myasnikova M.G., Budarina G.A., Naumkin D.V., Kostromicheva V.A., Starikova Zh.V., Tugareva F.V., Gor'kov A. A. Sozdanie i vyvavlenie tsennykh selektsionnykh linii krupyanoogo napravleniya na osnove mezhvidovykh gibridov tverdoi pshenitsy i polby [Creation and identification of valuable breeding lines of cereal direction based on interspecific hybrids of durum wheat and spelled]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2017, no. 4 (24), pp. 106-115. (In Russian)
2. Mal'chikov N.P., Sidorenko V.S., Myasnikova M.G., Rozova M.A., Mudrova A.A., Tsygankov V.I., Mukhitov L.A., Tugareva F.V. Rezul'taty selektsii sortov yarovoi tverdoi pshenitsy s ukorochennoi solominoi [The results of breeding varieties of spring durum wheat with shortened straw]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2017, no. 4 (24), pp. 97-106. (In Russian)
3. V.S. Sidorenko, F.V. Tugareva, Zh.V. Starikova. Experimental verification of cluster analysis to identify valuable breeding samples of spring wheat./ IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 650 (2021) 012105. doi:10.1088/1755-1315/650/1/012105
4. Mal'chikov P.N., Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Shabolkina E.N., Myasnikova M.G., Ogayan T.V. Perspektivy uluchsheniya krupyanykh kachestv tverdoi pshenitsy v protsesse selektsii [Prospects for improving the cereal qualities of durum wheat in the breeding process]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2016, no.3, pp.101-108 (In Russian)