



Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актюбинской области

Ж. Т. Калыбекова¹, В. И. Цыганков², Е. В. Зуев³, Л. Ю. Новикова³

¹ Баишев Университет, Актобе, Республика Казахстан

² ТОО «Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция», Актобе, Республика Казахстан

³ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Жанар Турумевна Калыбекова, zhanarkalybekova@mail.ru

Актуальность. В связи с тенденцией глобального потепления климата выведение новых засухоустойчивых сортов яровой мягкой пшеницы остается первоочередной задачей селекционеров Западного Казахстана. Однако повышение устойчивости часто сопровождается снижением продуктивности генотипа, и поиск оптимального сочетания этих показателей является трендом современной селекции.

Материалы и методы. В 2017–2019 гг. в условиях Актюбинской сельскохозяйственной станции изучены 175 образцов яровой мягкой пшеницы из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и современные сорта местной селекции. Полевое изучение проводили согласно методическим указаниям ВИР. Для определения засухоустойчивости образцов использовали следующие индексы: средняя продуктивность (MP), индекс выносливости (TOL), индекс стабильности урожайности (YSI), индекс засухоустойчивости (DI), индекс толерантности к стрессу (STI).

Результаты и обсуждение. Для всех сортов рассчитаны индексы засухоустойчивости на основе данных по урожайности в самый засушливый (2019) и более благоприятный (2017) год. Рассчитан суммарный балл рангов образца по всем индексам. Наиболее сильно с суммарным баллом коррелирует урожайность в неблагоприятный год. Выделены 20 сортов с лучшими суммарными баллами; в эту группу вошли 11 образцов актюбинской селекции, в том числе сорт-стандарт, а также перспективные образцы из других стран.

Заключение. Сорта, выделенные по совокупности признаков, перспективны в плане использования в селекции на засухоустойчивость в условиях Актюбинской области. Предлагаемая система индексов позволяет совместить оценки разных аспектов засухоустойчивости.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L, урожайность, индексы устойчивости к засухе, сорт

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве» и по заданию программно-целевого финансирования МСХ РК по бюджетной программе 267, BR10765056 «Создание высокопродуктивных сортов и гибридов зерновых культур на основе достижений биотехнологии, генетики, физиологии, биохимии растений для устойчивого их производства в различных почвенно-климатических зонах Казахстана».

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

Для цитирования: Калыбекова Ж.Т., Цыганков В.И., Зуев Е.В., Новикова Л.Ю. Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Актюбинской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):85-95. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95

The use of drought resistance indices in the study of the spring bread wheat collection under the conditions of Aktobe Region

Zhanar T. Kalybekova¹, Vladimir I. Tsygankov², Evgeny V. Zuev³, Lyubov Yu. Novikova³

¹ Baishev University, Aktobe, Kazakhstan

² Aktobe Agricultural Experimental Station, Aktobe, Kazakhstan

³ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Zhanar T. Kalybekova, zhanarkalybekova@mail.ru

Background. Due to the global climate warming trend, the breeding of new drought-resistant cultivars of spring bread wheat remains a priority task for Western Kazakhstan breeders. However, an increase in resistance is often accompanied by a decrease in genotype productivity, and searching for an optimal combination of these characteristics is a trend in contemporary plant breeding.

Materials and methods. In 2017–2019, 175 spring bread wheat accessions from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and locally developed contemporary cultivars were studied under the conditions of Aktobe Agricultural Station. The field study was carried out according to VIR's guidelines. To assess the drought tolerance of the accessions, the following indices were used: mean productivity (MP), stress tolerance (TOL), yield stability index (YSI), drought resistance index (DI), and stress tolerance index (STI).

Results and discussion. Drought tolerance indices were calculated for all accessions using yield data in the driest (2019) and more favorable (2017) year. The total score of ranks for all indices was calculated for each accession. The total score correlated most strongly with the yield in an unfavorable year. As a result, 20 cultivars with the best total scores were identified, including 11 accessions bred in Aktobe Region, the reference cultivar, and promising accessions from other countries.

Conclusion. The cultivars identified according to a set of indices are promising in terms of their use in breeding for drought resistance under the conditions of Aktobe Region. The proposed index system makes it possible to combine assessments of different drought tolerance aspects.

Keywords: *Triticum aestivum* L, yield, drought resistance indices, cultivar

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the State Tasks according to the theme plans of VIR, Project No. 0481-2022-0001 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production", and the targeted funding program of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan under Budget Program 267, BR10765056 "Development of high-yielding cultivars and hybrids of cereal crops based on the achievements of biotechnology, genetics, physiology, biochemistry of plants for their sustainable production in various soil and climate zones of Kazakhstan".

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

For citation: Kalybekova Zh.T., Tsygankov V.I., Zuev E.V., Novikova L.Yu. The use of drought resistance indices in the study of the spring bread wheat collection under the conditions of Aktobe Region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):85-95. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-85-95

Введение

Климат Казахстана – резко континентальный, характеризующийся дефицитом осадков, жарким летом и холодной зимой. По данным Второго национального сообщения об изменении климата (Kazakhstan's Second..., 2009), в Казахстане с 1936 по 2005 г. наблюдалось повышение температуры практически повсеместно и во все сезоны года со средней скоростью 0,31°C/10 лет.

В условиях Западного Казахстана проявляются засухи, почвенные, атмосферные и комбинированные засухи. В данном регионе требуются новые конкурентоспособные сорта яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), устойчивые к целому комплексу экологических факторов, поэтому для создания сортов пшеницы необходим исходный материал, характеризующийся повышенной засухоустойчивостью и урожайностью.

По мере увеличения продуктивности устойчивость к неблагоприятным факторам снижается, а урожайность зависит от погодных условий в большей степени, чем от агротехнических приемов возделывания. Повышение продуктивности неразрывно связано с адаптивностью сельскохозяйственных культур, их устойчивостью к не-

(Y_p) и стрессовых (Y_s) условиях. Число индексов достигает нескольких десятков (Sharifi et al., 2021), однако в нашей стране используется всего несколько (Davletov et al., 2014; Pakul, Plisko, 2018). Индексный метод используется и при характеристике засухоустойчивости сортов в молекулярных исследованиях (Smirnova, Pshenichnikova, 2021). Некоторые наиболее распространенные индексы приведены в таблице 1. Первый индекс, средняя продуктивность (MP), равен средней арифметической урожайности в благополучный и стрессовый год. Индекс выносливости (TOL) показывает, насколько снизилась урожайность образца в стрессовый год по сравнению с благополучным. Индекс стабильности урожайности (YSI) показывает, во сколько раз урожайность в стрессовый год меньше урожайности в благополучный. Индекс засухоустойчивости (DI) учитывает, во сколько раз снизилась урожайность в стрессовый год по сравнению с благополучным и во сколько раз урожайность в стрессовый год превышает среднюю по выборке. Индекс толерантности к стрессу (STI) является нормированным произведением урожайностей в стрессовых и благополучных условиях. Таким образом, индексы характеризуют разные аспекты засухоустойчивости образца.

Таблица 1. Индексы засухоустойчивости, использованные в исследовании

Table 1. Drought tolerance indices used in the study

Индекс	Значение индекса у лучших генотипов	Формула	Источник
Средняя продуктивность / Mean Productivity	Высокое	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle, Hamblin, 1981
Индекс выносливости / Stress Tolerance	Низкое	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle, Hamblin, 1981
Индекс стабильности урожайности / Yield Stability Index	Высокое	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bousslama, Schapaugh, 1984
Индекс засухоустойчивости / Drought Resistance Index	Высокое	$DI = \frac{Y_s Y_p}{\bar{Y}_p \bar{Y}_s}$	Lan, 1998
Индекс толерантности к стрессу / Stress Tolerance Index	Высокое	$STI = \frac{Y_p Y_s}{\bar{Y}_p^2}$	Fernandez, 1992

Примечание: Y_p , Y_s – урожайность образца в благоприятных и стрессовых условиях;
 $\bar{Y}_p$, $\bar{Y}_s$ – средняя урожайность изучаемой выборки в благоприятных и стрессовых условиях

Note: Y_p , Y_s – grain yield of each genotype under favorable and stress conditions;
 $\bar{Y}_p$, $\bar{Y}_s$ – mean grain yield of all genotypes under favorable and stress conditions

благоприятным условиям среды, поэтому поиск и разработка эффективных путей повышения устойчивости растений к стрессам является одной из актуальнейших задач селекции (Zauralov, 2000).

Устойчивость генотипа к стрессовым условиям должна сочетаться с высокой урожайностью в благоприятных условиях. Для комплексной оценки засухоустойчивости растений используются индексы, в различной степени сочетающие вклад в оценку сорта факторов урожайности и засухоустойчивости (Zotova, Dzhataev, 2019), в том числе и по сравнению с другими образцами. Эти индексы основаны на сравнении урожайности в благоприятных

Для оценки засухоустойчивости образца часто используется комплексная характеристика образца совокупностью индексов. Эта методика успешно использована применительно к ранжированию наборов сортов мягкой пшеницы (Talebi et al., 2009; Pakul, Plisko, 2018), фасоли (Sharifi et al., 2021), картофеля (Beyene et al., 2019; Al Mahmud et al., 2021), кукурузы (Naghavi et al., 2013), люцерны (Bellague et al., 2016) и других культур.

Цель исследования: выявить потенциально засухоустойчивые генотипы яровой мягкой пшеницы для условий Актюбинской области с помощью комплекса индексов.

Материал, методика и условия проведения исследования

В изучение включены 175 образцов яровой мягкой пшеницы: 156 засухоустойчивых сортов из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и 19 сортов селекции Актюбинской сельскохозяйственной опытной станции (АСХОС). Выборка содержит сорта из контрастных климатических регионов. Представлены образцы из 36 стран (табл. 2), наиболее крупные группы – из России (44 образца), Казахстана (29), Пакистана (11) и Швеции (10).

Для всех сортов рассчитаны индексы засухоустойчивости. Образцы ранжированы по каждому индексу и по урожайности так, что лучший образец имеет ранг 1. По урожайности и всем остальным индексам образцы ранжированы в порядке убывания значений, по индексу TOL – в порядке возрастания, так как лучший образец меньше всего снижает урожайность в засушливый год. Рассчитан суммарный балл рангов образца по всем индексам. Выбраны 20 лучших образцов, имеющих наименьший суммарный балл.

Исследованы корреляции индексов друг с другом и с урожайностью по Спирмену (Zaitsev, 1973; Bennani et al., 2017).

Таблица 2. Происхождение изученных образцов яровой мягкой пшеницы

Table 2. Origin of the studied spring bread wheat accessions

Страна	Число образцов	Страна	Число образцов
Австралия	6	Монголия	1
Австрия	1	Оман	2
Алжир	3	Пакистан	11
Аргентина	3	Перу	1
Афганистан	5	Польша	1
Бразилия	3	Россия	44
Венгрия	1	Сирия	1
Германия	2	США	3
Индия	7	Таджикистан	6
Ирак	1	Туркменистан	6
Казахстан	29	Турция	4
Канада	3	Узбекистан	4
Кения	2	Франция	1
Китай	1	Чехословакия до 1992 г.	2
Кыргызстан	2	Чили	2
Ливан	1	Швеция	10
Марокко	1	Эфиопия	1
Мексика	3	ЮАР	1
Всего	175		

Экспериментальная часть работы проведена в зоне недостаточного увлажнения на опытном поле ТОО «Актюбинская СХОС» в 2017–2019 гг. Посев семян осуществлялся ручной сеялкой СР-1М на делянке 1 м². Стандартный сорт 'Актобе 39' (к-64392) располагали через 20 номеров. Сорт 'Актобе 39' засухоустойчивый, допущен к возделыванию в Актюбинской области с 2008 г. В течение всей вегетации посевы поддерживались в чистом от сорняков состоянии. Фенологические наблюдения и лабораторные исследования проводили согласно методическим указаниям ВИР (Merezhko, 1999).

По данным метеопункта Актюбинской СХОС, средняя температура за май – август была выше нормы во все годы исследования: 20,5°C в 2017, 20,2°C в 2018 и 21,1°C в 2019 г., при норме 19,3°C. Суммы осадков за май – август были ниже нормы во все годы исследования и составили 84,7, 77,8 и 60,4 мм по годам соответственно, при норме 110 мм. ГТК был ниже среднееголетнего: 0,337, 0,313 и 0,233 в 2017, 2018 и 2019 г. соответственно, при норме 0,463 (рисунок, а, б, в).

Важным фактором сезона 2017 г стало накопление достаточного количества почвенной влаги за осенне-

зимне-весенний период (рисунок, г). В 2018 г. накопленных запасов почвенной влаги за осенне-зимний период было явно недостаточно, чтобы рассчитывать на удовлетворительный урожай всех образцов пшеницы. Особый вред засуха нанесла в ответственный период формирования параметров колоса, что привело к высокой череззернице (30–50%); при этом длительность ярко выраженной комбинированной засухи составила около 50 дней (с III декады июня по I декаду августа). В осенние и зимние месяцы 2019 г. недобор осадков был отмечен в каждом месяце, при этом часто суточное количество выпавших осадков в виде снега не превышало 1–3 мм, что при частых и сильных ветрах (бураны, низовые метели) способствовало его значительному сносу с полей Актюбинской СХОС. В целом за вегетационный период 2019 г. все образцы и сорта яровой мягкой пшеницы при невысоких запасах почвенной влаги и длительном отсутствии эффективных атмосферных

осадков испытали воздействие длительной комбинированной весенне-летней засухи. Фактически воздействие засухи на растения пшеницы началось с фазы начала кущения и продолжалось до начала июля, когда выпали первые эффективные осадки (17 мм) и у растений пшеницы смогла сформироваться вторичная корневая система. Дальнейшее развитие растений пшеницы проходило при высоких значениях среднесуточной температуры, особенно в периоды с 5 по 27 июля и с 16 по 25 августа. Комплекс таких неблагоприятных абиотических факторов способствовал формированию у изучаемого сорта невысоких значений продуктивной кустистости, озерненности колоса (при череззернице 30–50%) и массы 1000 зерен.

Таким образом, наименее благоприятные условия вегетации – самая высокая температура, наименьшая сумма осадков и ГТК – были в 2019 г., наиболее благоприятные – в 2017 г.

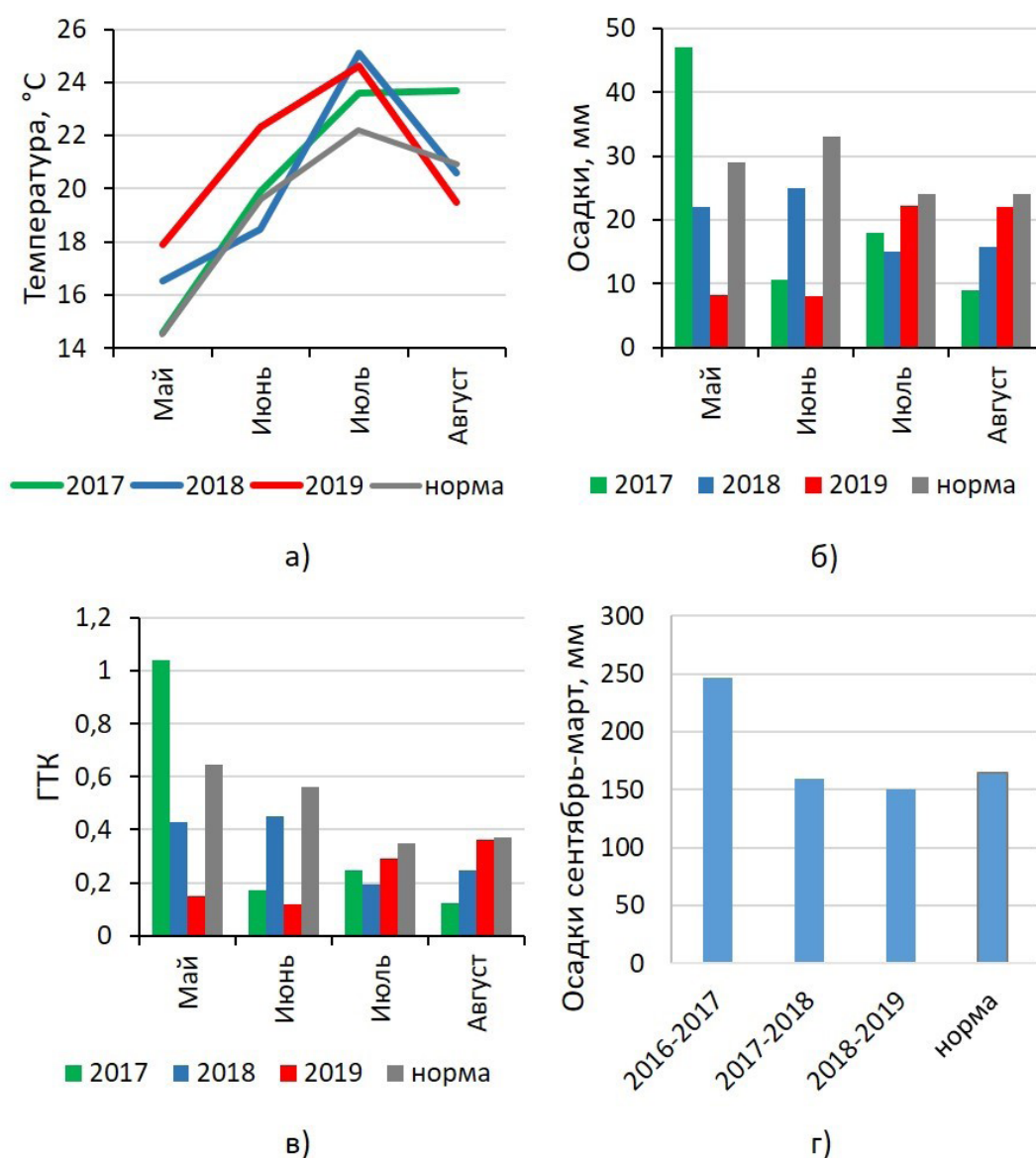


Рисунок. Условия тепловлагообеспеченности вегетационного периода пшеницы в годы исследования: а) средняя месячная температура; б) месячная сумма осадков периода вегетации; в) ГТК; г) зимние осадки

Figure. Conditions of heat and moisture supply during the growing season of wheat in the years of study: а) mean monthly temperature; б) monthly amount of precipitation during the growing season; в) HTC; г) winter precipitation

Результаты и обсуждение

Изученная выборка 175 сортов характеризовалась значительным разнообразием. Средняя за 3 года продолжительность вегетации у образцов выборки варьировала от 72 до 88 сут, урожайность – от 21,2 до 145,4 г/м², масса 1000 зерен – от 14,7 до 38,3 г.

Недостаток влаги в почве в засушливые 2018 и 2019 годы привел к тому, что высота растений уменьшилась на 26 и 34% соответственно по сравнению с 2017 г.

Период формирования колоса также совпал с воздействием засухи, что отразилось на уменьшении длины колоса в 2019 г. в сравнении с 2017 г. на 21%, а в 2018 г. – на 11%.

Уменьшение числа колосков в колосе наблюдалось в 2019 г. по сравнению с 2017 г. (разница – 29,5%) и на 20% по сравнению с 2018 г. Причина – недостаток влаги в период формирования колоса.

Уменьшение массы 1000 зерен наблюдалось в 2019 г. по сравнению с 2017 г. (21,0%) и 2018 г. (4,2%).

Наиболее благоприятные условия для формирования урожайности пшеницы были в 2017 г., когда урожайность составила по 175 образцам 79,4 г/м², по 135 образцам с данными по обоим годам – 78,4 г/м². Урожайность этого года взята как урожайность в благоприятных условиях (Y_p). Наименьшая средняя урожайность была в 2019 г. (по 175 образцам – 48,7 г/м², по 135 – 50,1 г/м²), она использована в качестве показателя урожайности в стрессовых условиях (Y_s). Для 135 образцов, у которых в 2017 и в 2019 г. зарегистрирована урожайность, рассчитаны 5 индексов.

Исследована корреляция индексов друг с другом (табл. 3). Индексы характеризуют засухоустойчивость с разных сторон, о чем свидетельствует разная степень корреляции между ними. Наиболее сильно с суммарным баллом коррелирует урожайность в неблагоприятный год. По каждому индексу построен рейтинг и выделены 5 лучших сортов (табл. 4).

В условиях, когда благоприятные годы встречаются достаточно часто, интересны сорта, имеющие высокую урожайность и в благоприятный год. Индексы, учитывающие величину урожайности в благоприятный год – MP, STI. В списки лидеров по этим показателям вошли образцы 'Степная 1413', 'Целинная Юбилейная', 'Омская 19', 'Целинная 90'. Эти генотипы отзывчивы на благоприятные условия внешней среды и могут быть использованы в селекционном процессе для создания сортов полунинтенсивного типа (Pakul, Plisko, 2018).

При наличии благоприятных лет, но с преобладанием засушливых, становится важным больший вклад неблагоприятных условий. По абсолютному и относительному снижению урожайности в неблагоприятный год (индексы TOL, YSI, DI) выделились одни и те же образцы, увеличившие в неблагоприятный год урожайность, возможно, менее чувствительные к недостатку влаги в начале развития. Это сорта 'Drabant', 'Pari 73', 'Лютеценс 158', 'Целинная 21', образец к-65879 из Афганистана. Эти образцы могут быть использованы как исходный материал для создания сортов с засухоустойчивостью.

При необходимости учета и благоприятных, и неблагоприятных лет может быть использован суммарный рейтинг по всем рассчитанным индексам, включая рейтинг урожайности в благоприятный и неблагоприятный год, как это сделано в перечисленных выше работах (Talebi et al., 2009; Naghavi et al., 2013; Bellague et al., 2016; Beyene et al., 2019; Sharifi et al., 2021; Al Mahmud et al., 2021). Суммарный балл у образцов варьировал от 117 до 856. Двадцать лучших образцов, имеющих минимальный суммарный балл, представлены в таблице 5. В их число вошли образцы с высокой урожайностью в стрессовый год, ранги от 1 до 24. Из 20 образцов шесть – селекции Актюбинской сельскохозяйственной станции, в том числе стандартный сорт 'Актобе 39' (см. табл. 5).

Таким образом, предлагаемая система индексов позволяет совместить оценки разных аспектов засухоустойчивости.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции индексов засухоустойчивости и урожайности в благополучный 2017 (Y_{2017}) и стрессовый 2019 (Y_{2019}) год

Table 3. Correlation coefficients of drought tolerance indices and yield in the favorable year of 2017 (Y_{2017}) and the stressful one of 2019 (Y_{2019})

Индекс	Y_{2017}	MP	TOL	YSI	DI	STI	Суммарный балл
Y_{2019}	0,37*	0,76*	-0,34*	0,62*	0,89*	0,85*	-0,99*
Y_{2017}		0,87*	0,69*	-0,43*	-0,03	0,78*	-0,38*
MP			0,30	0,02	0,43	0,97*	-0,77*
TOL				-0,92	-0,69	0,16	0,35*
YSI					0,89	0,17	-0,63*
DI						0,55*	-0,90*
STI							-0,85*

* – отмечены значимые на 5-процентном уровне коэффициенты

* – marks coefficients significant at the 5% level

Таблица 4. Лучшие сорта яровой мягкой пшеницы, выделившиеся по каждому из индексов на Актюбинской сельскохозяйственной станции в 2017–2019 гг.**Table 4.** The best spring bread wheat cultivars identified for each of the indices at Aktobe Agricultural Experimental Station in 2017–2019

Номер по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Y_{2019}^*	Y_{2017}	Индекс
Средняя урожайность за благоприятный и стрессовый год ($MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$), г/м²					
67135	Степная 1413	Казахстан, АСХОС	95,8	153,3	124,6
57728	Целинная Юбилейная	Казахстан	87,8	154,6	121,2
58322	Омская 19	Россия, Омская обл.	73,9	164	119,0
55756	Саратовская 55	Россия, Саратовская обл.	71,2	165,3	118,3
61192	Целинная 90	Казахстан	88	147,5	117,8
На сколько г/м² снизилась урожайность в стрессовый год ($MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$)					
65879	–	Афганистан	105	42	–63,0
58214	Pari 73	Пакистан	83,4	26,6	–56,8
50846	Drabant	Швеция	70,2	20,6	–49,6
53307	Лютесценс 158	Россия, Самарская обл.	97,6	55,3	–42,3
54045	Целинная 21	Казахстан	91,6	52,6	–39,0
Во сколько раз снизилась урожайность в стрессовый год ($YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$)					
50846	Drabant	Швеция	70,2	20,6	3,4
58214	Pari 73	Пакистан	83,4	26,6	3,1
65879	–	Афганистан	105	42	2,5
53307	Лютесценс 158	Россия, Самарская обл.	97,6	55,3	1,8
54045	Целинная 21	Казахстан	91,6	52,6	1,7
Снижение урожайности в стрессовый год относительно средней по выборке и относительно благоприятного года ($DI = \frac{Y_s \bar{Y}_s}{Y_p \bar{Y}_p}$)					
65879	–	Афганистан	105	42	5,2
58214	Pari 73	Пакистан	83,4	26,6	5,2
50846	Drabant	Швеция	70,2	20,6	4,8
53307	Лютесценс 158	Россия, Самарская обл.	97,6	55,3	3,4
54045	Целинная 21	Казахстан	91,6	52,6	3,2
Нормированное произведение урожайностей в стрессовых и благополучных условиях ($STI = \frac{Y_p Y_s}{\bar{Y}_p \bar{Y}_s}$)					
67135	Степная 1413	Казахстан, АСХОС	95,8	153,3	2,4
65824	Степная 50	Казахстан, АСХОС	111,5	122,6	2,2
57728	Целинная Юбилейная	Казахстан	87,8	154,6	2,2
61192	Целинная 90	Казахстан	88	147,5	2,1
58322	Омская 19	Россия, Омская обл.	73,9	164	2,0

Примечание; * – Y_{2017} , Y_{2019} – урожайность в благоприятный 2017 и стрессовый 2019 г. В формулах: Y_p , Y_s – средняя урожайность изучаемой выборки в благоприятных и стрессовых условиях; $\bar{Y}_p$, $\bar{Y}_s$ – средняя урожайность изучаемой выборки в благоприятных и стрессовых условиях

Note: * – Y_{2017} , Y_{2019} – grain yield in the favorable 2017 and the stressful 2019. In formulas: Y_p , Y_s – grain yield of each genotype under favorable and stress conditions; $\bar{Y}_p$, $\bar{Y}_s$ – mean grain yield of all genotypes under favorable and stress conditions

Таблица 5. Индексы засухоустойчивости и ранги 20 сортов яровой мягкой пшеницы с наименьшим суммарным рангом
Table 5. Drought resistance indices and ranks of 20 spring bread wheat cultivars with the lowest total rank

Номер по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Показатель	Y ₂₀₁₉	Y ₂₀₁₇	MP	TOL	YSI	DI	STI	Суммарный балл
65824	Степная 50	Казахстан, АСХОС	значение	111,5	122,6	117,1	11,1	0,9	2,0	2,2	117
			ранг	1	17	7	46	31	13	2	
59370	Казахстанская Ран-неспелая	Казахстан	значение	100,7	86,0	93,4	-14,7	1,2	2,4	1,4	124
			ранг	5	48	20	11	16	8	16	
62213	Актобе 91	Казахстан, АСХОС	значение	101,0	100,6	100,8	-0,4	1,0	2,0	1,7	124
			ранг	4	33	13	25	25	14	10	
67130	Степная 53	Казахстан, АСХОС	значение	105,8	78,6	92,2	-27,2	1,3	2,8	1,4	127
			ранг	2	60	23	7	11	7	17	
52311	WW 16737	Швеция	значение	98,7	106,0	102,4	7,3	0,9	1,8	1,7	131
			ранг	6	27	12	33	29	16	8	
52741	Лютесценс 1579/-72-8	Россия, Новосибирская обл.	значение	97,3	83,3	90,3	-14,0	1,2	2,3	1,3	143
			ранг	9	49	25	13	17	9	21	
40630	-	Узбекистан	значение	97,4	66,6	82,0	-30,8	1,5	2,8	1,1	162
			ранг	8	74	33	6	8	6	27	
45436	NP 876	Индия	значение	89,6	72,6	81,1	-17,0	1,2	2,2	1,1	172
			ранг	13	66	34	10	13	10	26	
65250	Ульяновская 100	Россия, Ульяновская обл.	значение	89,1	100,0	94,6	10,9	0,9	1,6	1,5	177
			ранг	14	34	18	45	33	19	14	
48978	Карабалыкская 26	Казахстан	значение	94,5	117,3	105,9	22,8	0,8	1,5	1,8	179
			ранг	11	19	9	66	46	21	7	
64705	Актюбинка	Казахстан, АСХОС	значение	88,2	100,0	94,1	11,8	0,9	1,6	1,4	187
			ранг	15	35	19	49	34	20	15	

Таблица 5. Окончание
Table 5. The end

Номер по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Показатель	Y ₂₀₁₉	Y ₂₀₁₇	MP	TOL	YSI	DI	STI	Суммарный балл
53307	Лютесценс 158	Россия, Самарская обл.	значение	97,6	55,3	76,5	-42,3	1,8	3,4	0,9	203
			ранг	7	100	42	4	4	4	42	
66015	Алтайская Степная	Россия, Алтайский край	значение	79,3	86,6	83,0	7,3	0,9	1,5	1,1	209
			ранг	21	46	30	34	30	23	25	
57716	Комсомольская 18	Казахстан	значение	81,2	71,3	76,3	-9,9	1,1	1,8	0,9	223
			ранг	19	70	45	16	19	15	39	
67135	Степная 1413	Казахстан, АСХОС	значение	95,8	153,3	124,6	57,5	0,6	1,2	2,4	224
			ранг	10	8	1	110	67	27	1	
65879	-	Афганистан	значение	105,0	42,0	73,5	-63,0	2,5	5,2	0,7	227
			ранг	3	116	47	1	3	1	56	
54045	Целинная 21	Казахстан	значение	91,6	52,6	72,1	-39,0	1,7	3,2	0,8	228
			ранг	12	103	51	5	5	5	47	
64392	Актобе 39	Казахстан, АСХОС	значение	79,9	117,3	98,6	37,4	0,7	1,1	1,5	244
			ранг	20	20	15	85	60	33	11	
52325	WW 17239	Швеция	значение	73,0	73,3	73,2	0,3	1,0	1,5	0,9	254
			ранг	24	65	48	26	26	22	43	
61192	Целинная 90	Казахстан	значение	88,0	147,5	117,8	59,5	0,6	1,0	2,1	257
			ранг	16	9	5	114	74	35	4	

Заключение

Для оценки засухоустойчивости образцов использована практикуемая в странах с засушливым климатом комплексная оценка системой индексов. Эти индексы основаны на сравнении урожайности в благоприятных и стрессовых условиях. Используемые индексы учитывают следующие характеристики: индекс МР – среднюю урожайность в благополучный и стрессовый год, TOL – насколько снизилась урожайность в стрессовый год по сравнению с благополучным, а YSI – во сколько раз урожайность в стрессовый год меньше урожайности в благополучный; DI учитывает, во сколько раз снизилась урожайность в стрессовый год по сравнению с благополучным и во сколько раз урожайность в стрессовый год превышает среднюю по выборке; STI является нормированным произведением урожайностей в стрессовых и благополучных условиях.

Выделены 20 сортов с лучшими суммарными баллами, в число которых вошли 11 образцов казахской селекции, в том числе стандартный сорт, а также перспективные образцы из других стран. Сорта, выделенные по совокупности признаков, перспективны в плане снижения рисков возделывания и получения оптимального урожая за ряд лет.

Предлагаемая система индексов позволяет совместить оценки разных аспектов засухоустойчивости.

References / Литература

Al Mahmud A., Alam M.J., Kundu B.C., Skalicky M., Rahman M.M., Rahaman E.H.M.S. et al. Selection of suitable potato genotypes for late-sown heat stress conditions based on field performance and stress tolerance indices. *Sustainability*. 2021;13(5):2770. DOI: 10.3390/su13052770

Bellague D., M'Hammedi-Bouzina M., Abdelguerfi A. Measuring the performance of perennial alfalfa with drought tolerance indices. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2016;76(3):273-284. DOI: 10.4067/S0718-58392016000300003

Bennani S., Nsarellah N., Jlibene M., Tadesse W., Birouk A., Ouabbou H. Efficiency of drought tolerance indices under different stress severities for bread wheat selection. *Australian Journal of Crop Science*. 2017;11(04):395-405. DOI: 10.21475/ajcs.17.11.04.pne272

Beyene Z.K., Mekbib F., Abebe T., Asfaw A. Drought resistance indices for screening of potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*. 2019;7(8):1118-1124. DOI: 10.24925/turjaf.v7i8.1118-1124.2226

Bouslama M., Schapaugh Jr. W.T. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984;24(5):933-937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x

Davletov F.A., Gaynullina K.P., Ashiev A.R., Novikova L.Yu. Study of genetic diversity of collection material of pea (*Pisum sativum* L.) in conditions of Bashkortostan Republic. *Grain Economy of Russia*. 2014;(4):44-52. [in Russian] (Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Ашиев А.Р., Новикова Л.Ю. Изучение генетического разнообразия коллекционного материала гороха посевного (*Pisum sativum* L.) в условиях республики Башкортостан. *Зерновое хозяйство России*. 2014;(4):44-52).

Fernandez G.C.J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: C.G. Kuo (ed.), *Proceedings of the*

International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Taiwan: AVRDC; 1992. p.257-270.

Kazakhstan's Second National Communication to the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Astana: Ministry of Environment Protection; 2009. Available from: <https://unfccc.int/resource/docs/natc/kaznc2e.pdf> [accessed Mar. 31, 2022].

Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. 1998;7:85-87.

Merezhko A.F. (ed.). Replenishment, preservation *in vivo* and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: 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, эгилопса и тритикале: Методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).

Naghavi M.R., Pour-Aboughadareh A., Marouf K. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. *Notulae Scientia Biologicae*. 2013;5(3):388-393. DOI: 10.15835/nsb.5.3.9049

Pakul V.N., Plisko L.G. Drought-resistance of varieties of spring soft wheat. *International Research Journal*. 2018;12-2(78):49-52. [in Russian] (Пакуль В.Н., Плиско Л.Г. Засухоустойчивость сортов мягкой пшеницы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018;12-2(78):49-52). DOI: 10.23670/IRJ.2018.78.12.046

Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 1981;21(6):943-946. DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x

Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M. Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*. 2021;1(4):176-179.

Smirnova O.G., Pshenichnikova T.A. The relationship between the genetic status of the *Vrn-1* locus and the size of the root system in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(8):805-811. DOI: 10.18699/VJ21.093

Talebi R., Fayaz F., Naji A.M. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and Applied Plant Physiology*. 2009;35(1-2):64-74.

Zaitsev G.N. Methodology of biometric calculations. Mathematical statistics in experimental botany (Metodika biometricheskikh raschetov. Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1973. [in Russian] (Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1973).

Zauralov O.A. Strategy of adaptation of higher plants to unfavorable environmental conditions (Strategiya adaptatsii vysshikh rasteniy k neblagopriyatnym usloviyam sredy). *Agricultural Biology*. 2000;35(5):39-44. [in Russian] (Зайралов О.А. Стратегия адаптации высших растений к неблагоприятным условиям среды. *Сельскохозяйственная биология*. 2000;35(5):39-44).

Zotova L.P., Dzhataev S.A. Assessment of collective samples of spring soft wheat for droughtability in the conditions of North Kazakhstan. *Bulletin of Science of the S. Seifull*

lin Kazakh Agrotechnical University. 2019;1(100):35-46.
[in Russian] [Зотова Л.П., Джатаев С.А. Оценка коллек-
ционных образцов яровой мягкой пшеницы на засу-

хоустойчивость в условиях Северного Казахстана.
*Вестник науки Казахского агротехнического универси-
тета им. С. Сейфуллина. 2019;1(100):35-46).*

Информация об авторах

Жанар Турумевна Калыбекова, старший преподаватель, Баишев Университет, 030000 Республика Казахстан, Актобе, ул. Бр. Жубановых, 302а, zhanarkalybekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2606-2966>

Владимир Игоревич Цыганков, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом, ТОО «Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция», 030014 Республика Казахстан, Актобе, ж/м. К. Нокина, ул. Мира, 1, zigan60@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3625-3888>

Евгений Валерьевич Зуев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.zuev@vir.nv.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Любовь Юрьевна Новикова, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

Information about the authors

Zhanar T. Kalybekova, Senior Lecturer, Baishev University, 302A Zhubanov Brothers St., Aktobe 030000, Kazakhstan, zhanarkalybekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2606-2966>

Vladimir I. Tsygankov, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Department, Aktobe Agricultural Experimental Station, 1 Mira St., K. Nokina, Aktobe 030014, Kazakhstan, zigan60@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3625-3888>

Evgeny V. Zuev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.zuev@vir.nv.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Lyubov Yu. Novikova, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.07.2022; одобрена после рецензирования 01.08.2022; принята к публикации 06.09.2022.
The article was submitted on 07.07.2022; approved after reviewing on 01.08.2022; accepted for publication on 06.09.2022.