

## Генетическое разнообразие мягкой яровой пшеницы по устойчивости к ранней засухе

О.С. Амунова, Л.Н. Тиунова

*Мягкая яровая пшеница имеет широкий спектр генотипического разнообразия по реакции на водный дефицит в ювенильную фазу развития. В лабораторных условиях исследованы 59 коллекционных образцов. В контролльном варианте использована дистиллированная вода, в опыте – раствор сахарозы (9 атм.). Наиболее информативным критерием определения уровня потенциальной засухоустойчивости является относительный показатель числа зародышевых корней. По данному критерию 16,9% образцов из исследованного набора оценены как высокоустойчивые, еще 50,8% – устойчивые к ранней засухе. Слабая устойчивость характерна только для 5,1% генотипов. Высоким уровнем интегральной засухоустойчивости обладают образцы АНК-4 (Россия, Новосибирская обл.), Ветлужанка (Россия, Красноярский край), Вишневанка (Украина), Э-737 (Казахстан), Cahuide (Перу), Klein Vencedor (Аргентина), Musket (Великобритания), NOS Norko (Германия), Та 3332 (Финляндия). Кластерный анализ разделит всю совокупность сортобразцов на 5 групп, имеющих разное сочетание параметров всхожести, числа зародышевых корней и мощности их развития, а также развития ростков как в контроле, так и в условиях физиологической засухи. Авторы считают возможным с целью повышения уровня потенциальной засухоустойчивости использовать в скрещивании сорта из отдаленных кластеров.*

**Ключевые слова:** мягкая яровая пшеница, устойчивость, ранняя засуха, кластерный анализ, генетическое разнообразие

В последние годы усилия многих отечественных и зарубежных исследователей направлены на изучение природы засухоустойчивости растений пшеницы (*Triticum aestivum L.*) [1, 2]. Засуха – самый сложный и разрушительный абиотический стрессор, сопровождающий всю историю земледелия. Ущерб от нее превышает ущерб от любого другого стрессора [3]. Климат Волго-Вятского региона характеризуется резкостью сезонных переходов, а весна отличается неустойчивым температурным режимом [4]. Для яровой пшеницы особенно необходима высокая влагообеспеченность в период активной вегетации, проходящей обычно в мае-июне, но именно эти месяцы часто бывают засушливыми. Например, по данным Кировского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (<http://pogoda43.ru/статьи/климат.html>), за последние двенадцать лет (2005-2016 гг.) сильный недостаток влаги отмечался в мае 2012, 2014...2016 гг., июне 2007, 2016 гг. Недостаточное увлажнение было отмечено в мае 2009, 2010 гг., июне 2013, 2016 гг.

Ранневесенняя засуха отрицательно влияет на всходы, кущение и укоренение яровой пшеницы. При этом заметно снижается продуктивность растений [5]. Ослабить влияние ранней засухи на развитие проростков пшеницы можно либо специальными агротехническими приемами, либо возделыванием адаптивных сортов, противостоящих данному эдафическому фактору. Критическим параметром успешного создания устойчивых сортов является изначальное генетическое разнообразие растительных популяций по изучаемому показателю [6], что требует знаний и использования фи-

зиологических механизмов, обеспечивающих устойчивость растений к стрессовым факторам внешней среды [7]. Исследование генетического разнообразия пшеницы может дать существенную информацию относительно ее потенциала в селекционных целях [8].

**Цель работы** – выделение высокоустойчивых к ранней засухе сортов и линий мягкой яровой пшеницы мировой коллекции ВИР для дальнейшего использования в селекционной работе.

**Материал и методы.** Объектом исследования являлись 59 образцов мягкой яровой пшеницы (табл. 1) различного эколого-географического происхождения из числа новых поступлений в мировую коллекцию ВИР. Четверть исследованных генотипов является результатом отечественной селекции, остальные – созданы за рубежом.

Прямая оценка признака в полевых условиях требует многолетних исследований, поэтому для ускорения селекционного процесса часто используют косвенную оценку различными лабораторными физиологическими методами на семенах и проростках. В условиях ранневесенней засухи, характерной для Кировской области, развитие зародышевых корней определяет закладку и рост узловых корней и растения в целом. Таким образом, зародышевые корни являются информативным признаком при определении потенциальной засухоустойчивости пшеницы.

Лабораторная оценка проведена по показателям всхожести семян, количеству [9, 10], массе и длине корней и ростков [11, 12] в отсутствие и при наличии стрессового воздействия. В качестве контрольного варианта

использована дистиллированная вода, в качестве стрессового (имитация почвенной засухи) – водный раствор сахарозы, имеющий концентрацию 74,45 г/л (что соответствует осмотическому давлению 9 атм.). Оба варианта (опыт и контроль) заложены в трехкратной повторности по 30 семян каждая. По окончании опыта (7 суток) проведен подсчет числа проросших семян, числа зародышевых корешков каждого проростка и их сухой массы. Уровень засухоустойчивости оценивался по критериям: относительной всхожести семян, относительному числу зародышевых корней, относительному накоплению проростками сухой массы (масса ростков и корней оценивалась отдельно).

**Таблица 1**  
**Список исследованных образцов мягкой яровой пшеницы**

<i>Код*</i>	<i>Сорт, линия</i>	<i>Страна происхождения</i>	<i>Код</i>	<i>Сорт, линия</i>	<i>Страна происхождения</i>
C-1	Симбирцит	Россия	C-31	Crim	США
C-2	Эритроспермум 2945	Россия	C-32	CB 163-1	Канада
C-3	Алтайская 81	Россия	C-33	Kitt	США
C-4	Воронежская 8	Россия	C-34	Musket	Англия
C-5	АНК-4	Россия	C-35	И-485788	США
C-6	к – 58019	Колумбия	C-36	Noroeste 66	Мексика
C-7	Лютесценс 3869/a8314	Россия	C-37	к – 47841	Мексика
C-8	Cahuide	Перу	C-38	Hybrid (МГ-12)	Мексика
C-9	Лютесценс 121	Россия	C-39	И-469103	Мексика
C-10	Ветлужанка	Россия	C-40	Ульяновка 13	Россия
C-11	Ta 3332	Финляндия	C-41	Мутант Л-3-24	Эстония
C-12	Hja 22141	Финляндия	C-42	Jaral F 66	Мексика
C-13	Klein Vencedor	Аргентина	C-43	Харьковская 10	Украина
C-14	Taava	Финляндия	C-44	Jahuara F 77	Мексика
C-15	Waverly	США	C-45	к – 47719	Мексика
C-16	Баженка	Россия	C-46	Радуга	Россия
C-17	Б-1592	Россия	C-47	Ульяновская 100	Россия
C-18	Димитровка 5-14 ИЗР	Болгария	C-48	Экада 97	Россия
C-19	№ 480	Россия	C-49	Вишиванка	Украина
C-20	Димитровка 5-2 ИЗР	Болгария	C-50	Тайна	Украина
C-21	Schenk	Германия	C-51	Мелодия	Россия
C-22	Aurore	Франция	C-52	Э – 737	Казахстан
C-23	WW 17310	Швеция	C-53	Bombona	Польша
C-24	NOS Norko	Германия	C-54	Pin Chun 11	КНР
C-25	WW 17272	Швеция	C-55	Кворум	Украина
C-26	Peak 72	США	C-56	Ишимская 92	Казахстан
C-27	Pompe	Швеция	C-57	Карабалыкская 91	Казахстан
C-28	Lee	США	C-58	Josselin	Франция
C-29	Varvete 11691	Швеция	C-59	Мажор	Украина
C-30	Adams	США			

\* - кодовое обозначение сортообразцов соответствует их обозначению на дендрограмме кластерного анализа.

По уровню засухоустойчивости генотипы условно распределены на группы согласно [9]: высокоустойчивые (депрессия признака относительно контроля до 20%); устойчивые (20..39%); среднеустойчивые (40..59%); слабоустойчивые (60...79%); неустойчивые (более 80%).

На основе полученных 8 параметров, характеризующих развитие проростков пшеницы (число проростков, число зародышевых корней, масса корней и ростков в опыте и контроле), построена дендрограмма кластерного анализа по методу Варда (Ward's method) с использованием программы Statistica version 10 (StatSoft).

**Результаты и их обсуждение.** Метод, использованный для оценки уровня засухоустойчивости [9], подразумевает анализ двух различных реакций растений: первый – по числу проросших семян – отражает способность растения поглощать влагу из раствора с высоким осмотическим давлением, т.е. запускать ростовые процессы. Это преимущественно физический процесс, который в большей степени определяется запасами питательных веществ зерновки. По этому показателю практически все исследованные генотипы могут быть отнесены в группу потенциально устойчивых. Следует отметить, что в литературе встречаются указания на высокую информативность данного показателя при оценке уровня засухоустойчивости, например, для сортов твердой пшеницы [13]. Однако в наших исследованиях дифференцирующая способность данного метода была очень низкой.

Таблица 2

**Группировка сортообразцов мягкой яровой пшеницы по относительному числу зародышевых корней проростка**

Группа устойчивости	Сорт, линия
I высокоустойчивые	АНК-4, Ветлужанка, Вишванка, Мутант Л-3-24, Э-737, Cahuide, Klein Vencedor, Musket, NOS Norko, Ta 3332
II устойчивые	Баженка, Воронежская 8, Димитровка 5-2 ИЗР, Ишимская 92, И-469103, Карабалыкская 91, Кворум, Лютесценс 121, Мелодия, Симбирцит, Тайна, Ульяновская 100, Харьковская 10, Экада, Эритроспермум 2945, № 480, Bombona, СВ 163-1, Crim, Hja 22141, Hybrid (МГ-12), Jahuara F-77, Josselin, Kitt, Lee, Noroeste 66, Pin Chun 11, Taava, WW 17310, к-47481
III среднеустойчивые	Алтайская 81, Б-1592, Димитровка 5-14 ИЗР, И-485788, Лютесценс 3869/a8314, Ульяновка 13, Adams, Aurore, Jaral F66, Pompe, Schenk, Varvete 11691, Waverly, WW 17272, к-47719, к-58019
IV слабоустойчивые	Мажор, Радуга, Peak 72

Использование для оценки уровня устойчивости к стрессору только какого-либо одного показателя не может в полной мере отразить общую реакцию растения [6]. Поэтому для интегральной оценки потенциальной засухоустойчивости пшеницы во внимание был принят характер развития целого растения в отсутствие и при наличии стрессового воздействия.

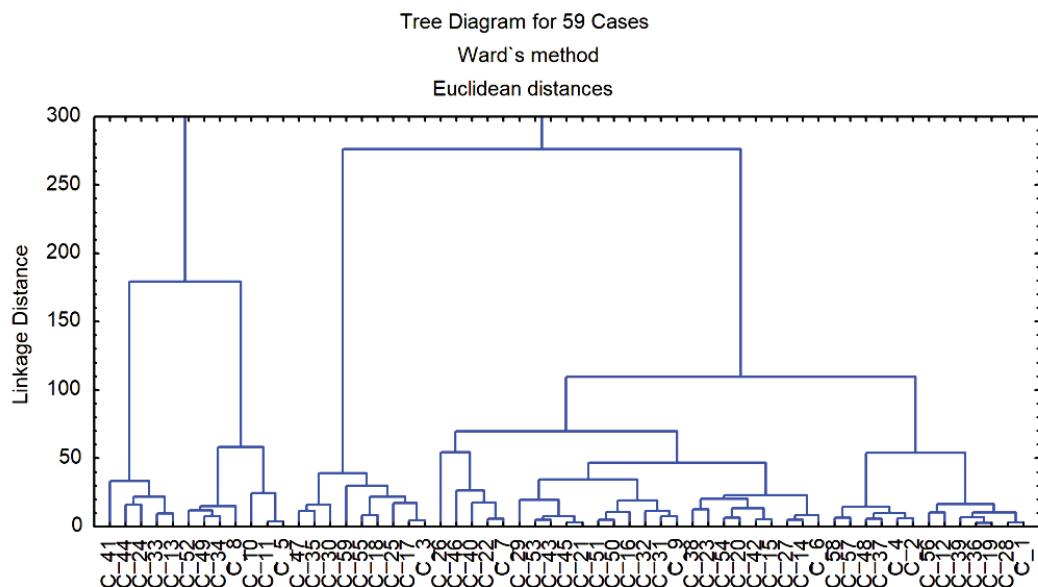
Для кластерного анализа использовали показатели всхожести семян, числа зародышевых корней, накопления сухой массы корнями и ростками пшеницы. Результатом анализа стала дендрограмма, которая разделила весь набор образцов на 5 кластеров (рис.) по линии linkage distance = 100.

В первый кластер вошли 5 сортообразцов – все зарубежной селекции, причем представляющие достаточно удаленные друг от друга

Другой критерий – накопление проростками массы – в большей степени отражает физиологическую сторону прорастания и характеризует способность растений к осуществлению метаболических реакций в условиях действия стрессора. По этому критерию большинство исследованных генотипов (75%) показали слабую степень устойчивости к ранней засухе, только 4 сорта отнесены к группе среднеустойчивых: Klein Vencedor, Jahuara F-77, NOS Norko и Kitt. Выявлено 11 неустойчивых сортообразцов: Лютесценс 3869/a8314, Радуга, Ульяновка 13 и Ульяновская 100, Карабалыкская 91, Мажор, Димитровка 5-2 ИЗР, Aurore, Josselin, Adams и И-485788.

Наибольшая дифференциация коллекционных образцов пшеницы выявлена по относительному числу зародышевых корней, определяемому отношением показателя в опыте к показателю в контроле (табл. 2).

страны (Великобритания, Аргентина, Германия, Мексика, Эстония). Сорта отечественной селекции обнаружены во 2...5 кластерах, но наибольшее их количество (38,5%) отмечено в пятом кластере. Всего в пятый кластер вошли 13 образцов. Кроме российских, здесь представлены сорта из Казахстана, Мексики, США, Финляндии и Франции. Второй кластер объединил 7 сортообразцов. Два отечественных сорта, представленные в данном кластере, созданы в азиатской части России. В третий кластер вошли 9 генотипов. Он на треть представлен образцами из России. Четвертый кластер – самый обширный – включил 25 сортообразцов. В него вошли, преимущественно, сорта из стран Европы и Северной Америки. Отечественные сорта, вошедшие в этот кластер, представляют, в основном, европейскую часть России.



**Рис. Дендрограмма распределения сортов и линий мягкой яровой пшеницы по реакции проростков на водный дефицит (кодировка сортов - С-1...С-59 – см. табл. 1)**

Аналогично ситуации с устойчивостью к другому типу эдафического стресса – алюмотоксичности почв [14], место выведения сорта мягкой яровой пшеницы не оказало систематического влияния на интегральную характеристику его потенциальной засухоустойчивости – сортообразцы одного региона происхождения обнаружены в разных кластерах. Так, сорта, созданные в США, вошли в первый (Kitt), третий (Adams, И-485788), четвертый (Crim, Waverly) и пятый (Lee) кластеры. Сорта украинской селекции разместились во втором (Вишиванка), третьем (Кворум, Мажор), четвертом (Тайна, Харьковская 10) кластерах; мексиканской селекции – в первом (Jahuara F 77), четвертом (Hybrid MG-12, Jaral F 66, к-47719) и пятом кластерах (Noroeste 66, И-469103, к-47841). То же можно сказать о сортах и линиях отечественной селек-

ции. Образцы из Красноярского края, например, вошли во второй (Ветлужанка), третий (Б-1592) и пятый (№ 480) кластеры.

Усредненные данные по параметрам развития проростков пшеницы каждого из кластеров приведены в таблице 3. Согласно данным таблицы 3, осмотический стресс в наименьшей степени повлиял на показатель всхожести семян, в наибольшей – на массу ростков. Сортообразцы, попавшие в первый кластер, сохранили всхожесть семян на уровне контроля. Незначительное снижение параметра (4,2%) отмечено у сортов и линий пятого кластера. У образцов второго и четвертого кластеров снижение всхожести семян в опытном растворе составило 9,7...11,3%. Наименьшую устойчивость по данному критерию показали сорта третьего кластера – всхожесть семян снизилась на 37,7%.

**Таблица 3  
Средние ростовые параметры образцов мягкой яровой пшеницы, принадлежащих разным кластерам (в пересчете на одно растение)**

Кластер	Всхожесть, %	Число зародышевых корней, шт.	Масса корня, мг	Масса ростка, мг	Интегральный показатель
1	80,22±5,69	4,55±0,14	4,83±0,29	6,83±0,47	0,64
	68,22±7,12	3,57±0,16	1,55±0,18	4,17±0,44	
2	99,52±0,33	4,15±0,30	5,81±0,15	7,27±0,29	0,61
	89,84±3,25	3,87±0,30	2,34±0,19	1,53±0,12	
3	91,48±3,84	4,62±0,14	6,01±0,28	7,67±0,34	0,39
	56,98±3,69	2,47±0,15	1,37±0,10	1,23±0,16	
4	94,80±1,21	4,66±0,09	6,23±0,15	6,84±0,24	0,49
	84,07±1,19	2,78±0,08	1,72±0,06	1,31±0,08	
5	98,03±0,49	4,79±0,09	6,22±0,27	7,52±0,40	0,55
	93,93±0,71	3,37±0,07	2,13±0,12	1,48±0,11	

Примечание. Верхняя строка – контроль, нижняя строка – 74,45 г/л сахарозы

Сортообразцы первого кластера проявили наименьшую реакцию на стрессор, в основном, благодаря хорошо развитым росткам. Однако они имели меньшую силу роста корня по сравнению с образцами второго кластера. Относительные показатели роста корней (число и масса) сортов второго кластера свидетельствуют об их преимуществах по сравнению с образцами других кластеров – степень депрессии признаков в стрессовых условиях наименьшая. Наибольшая депрессия параметров развития проростков под действием раствора сахара отмечена у сортов и линий пшеницы третьего кластера: число зародышевых корней снизилось на 46,5%, вес корней – на 84,0%, вес ростков – на 77,2%.

Все генотипы, попавшие в третий кластер, устойчивы к ранней засухе только по какому-либо одному критерию. Генотипы первого кластера, за исключением Мутанта Л-3-24 (Эстония), устойчивы к ранней засухе по всем трем критериям оценки. Коэффициенты парных корреляций между номером кластера и уровнем потенциальной засухоустойчивости, оцененной по трем различным критериям, значимы (при  $p \leq 0,05$ ). Связь средней силы установлена между номером кластера и относительным показателем всхожести семян ( $r = 0,35 \pm 0,12$ ), относительным числом зародышевых корней ( $r = -0,39 \pm 0,12$ ) и относительным накоплением проростком биомассы ( $r = -0,48 \pm 0,12$ ).

**Заключение.** В результате проведенного исследования установлено, что мягкая яровая пшеница имеет широкий спектр генотипического разнообразия по реакции на водный дефицит в ювенильной фазе развития. Уровень устойчивости сортообразцов к данному стрессовому фактору не зависит от региона происхождения. Наиболее высоким уровнем интегральной засухоустойчивости обладают образцы АНК-4 (Россия, Новосибирская обл.), Ветлужанка (Россия, Красноярский край), Вишневанка (Украина), Э-737 (Казахстан), Cahuide (Перу), Klein Vender (Аргентина), Musket (Великобритания), NOS Norko (Германия), Та 3332 (Финляндия).

Дендрограмма, как результат кластерного анализа изученных сортов и линий, объединила в кластеры генотипы, характеризующиеся схожим уровнем физиологических реакций на стресс. Образцы, попавшие в один кластер, не рекомендуется использовать в скрещиваниях, так как при этом изменения уровня устойчивости не произойдет. Наибольший интерес, с точки зрения повышения устойчивости к стрессовым факторам, представляют скрещивания сортов, попавших в отдаленные кластеры. В селекции на засухоустойчивость в качестве отцовских форм лучше

использовать генотипы, обладающие высокой потенциальной устойчивостью (1-2-й кластеры), тогда как материнские формы должны отличаться повышенной урожайностью (3-5-й кластеры).

#### Список литературы

1. Балацкий М.Ю., Войсковой А.И., Кривенко А.А., Зосименко М.В. Засухоустойчивость и солевыносливость селекционных линий озимой мягкой и твердой пшеницы при прорастании семян // Вестник Бурятской ГСХА. 2010. №4 (21). С. 55-60.
2. Варавкин В.А., Таран Н.Ю. Диагностика засухоустойчивости сортов пшеницы разной селекции по осморегуляторным свойствам семян // Scientific Journal «ScienceRise». 2014. Т. 3. №1(3). С. 18-22. doi: 10.15587/2313-8416.2014.27463
3. Крупнов В.А. Генетическая сложность и контекст-специфичность признаков урожая пшеницы в засушливых условиях // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 3. С. 524-534.
4. Переведенцев Ю.П., Френкель М.О., Шаймарданов М.З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. 242 с.
5. Лекции по сельскохозяйственной метеорологии. Под ред. М.С. Кулика, В.В. Синельщикова. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 340 с.
6. Лисицын Е.М., Амунова О.С. Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по алюмоустойчивости // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 3. С. 497-505.
7. Ионова Е.В. Развитие корневой системы пшеницы в условиях засухи // Земледелие. 2010. № 2. С. 12-13.
8. Sofalian O., Chaparzaden N., Dolati M. Genetic diversity in spring wheat landraces from northwest of Iran assessed by ISSR markers // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2009. № 37. P. 252-256.
9. Кожушко Н.Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур // Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Методическое руководство. Л.: ВИР, 1988. С. 10-24.
10. Kumar B. S., Gokulakrishnan J., Sathyyanarayanan G., Prakash M. Impact of osmotic stress on seed germination and seedling growth in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) // International Journal of Tropical Agriculture. 2016. V. 34. № 3. P. 645-652.
11. Koevoets I.T., Venema J.H., Elzenga J.T.M., Testerink C. Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance // Front. Plant Sci. 2016. V. 7 (1335). P. 1-17. doi: 10.3389/fpls.2016.01335
12. Rajendran R.A., Muthiah A.R., Manickam A., Shanmugasundaram P. John Joel A. Indices of drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes at early stages of plant growth // Res. J. Agric. and Biol. Sci. 2011. V. 7. P. 42-46.
13. Бычкова О.В., Хлебова Л.П. Физиологическая оценка засухоустойчивости яровой твердой пшеницы // Acta Biologica Sibirica. 2015. Т. 1 № 1-2. С. 107-116.
14. Лисицын Е.М., Лисицына И.И. Влияние места размножения сорта на его потенциальную алюмоустойчивость // Сельскохозяйственная биология. 2008. № 5. С. 58-64.

ФГБНУ “Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого”, г. Киров, Россия,  
E-mail:niish-sv@mail.ru

**Сведения об авторах:**

Амунова Оксана Сергеевна, мл. научный сотрудник, Тиунова Людмила Николаевна, мл. научный сотрудник  
*Agrarnay nauka Evro-Severo-Vostoka, 2018. Vol. 62, no. 1, pp. 32-37*

**Genetic diversity of soft spring wheat in resistance to early drought** doi: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.32-37  
**O.S. Amunova, L.N. Tiunova**

Soft spring wheat has a wide range of genetic diversity in water deficiency response at juvenile stage of plant development. Fifty-nine collection samples were studied under laboratory conditions. In control variant distilled water was used, in experiment - sucrose solution (9 atm). The relative index of seed roots number is the most information-bearing criterion for estimation of potential drought-resistance level. Based on this criterion 16.9% samples of the studied set are estimated as highly resistant, 50.8% - as resistant ones. Low level of resistance is characteristic for only 5.1% of studied genotypes. The following species were recognized as having high drought-resistance level: ANK-4 (Novosibirsk region, Russia), Vetrushanka (Krasnoyarsk territory, Russia), Vishivanka (Ukraine), E-737 (Kazakhstan), Cahuide (Peru), Klein Vencedor (Argentina), Musket (Great Britain), NOS Norko (Germany), Ta 3332 (Finland). Cluster analysis divided the whole set of variety samples into 5 groups having different combinations of such parameters as seed germination ability, number of seed roots, the intensity of root development and germ growth both under control and in conditions of physiological drought. To raise the level of potential drought resistance it is possible to use genotypes from remote clusters for crossing.

**Keywords:** soft spring wheat, resistance, early drought, cluster analysis, genetic diversity.

**References**

1. Balatskiy M.Yu., Voyskovoy A.I., Krivenko A.A., Zosimenko M.V. *Zasukhoustoychivost' i solevynoslivost' selektsionnykh liniy ozimoy myagkoy i tverdoy pshenitsy pri prorastanii semyan*. [Drought and salt resistance in breeding lines of winter soft and hard wheat at seed germination]. *Vestnik Buryatskoy GSKhA*. 2010. no.4 (21). pp. 55-60.
2. Varavkin V.A., Taran N.Yu. *Diagnostika zasukhoustoychivosti sortov pshenitsy raznoy selektsii po osmoregulyatornym svoystvam semyan*. [Diagnostics of drought resistance in wheat varieties of different origin by osmoregulatory abilities of seeds]. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2014. Vol. 3. no.1(3). pp. 18-22. DOI: 10.15587/2313-8416.2014.27463
3. Krupnov V.A. *Geneticheskaya slozhnost' i kontekst-spetsifichnost' priznakov urozhaya pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh*. [Genetic complexity and context-specificity of wheat yield parameters under drought conditions]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2013. Vol. 17. no. 3. pp. 524-534.
4. Perevedentsev Yu.P., Frenkel' M.O., Shaymar danov M.Z. *Sovremennye izmeneniya klimaticheskikh usloviy i resursov Kirovskoy oblasti*. [Current changes in climatic conditions and resources of Kirov region]. Kazan': Kazan. gos. un-t, 2010. 242 p.
5. *Lektsii po sel'skokhozyaystvennoy meteorologii*. [Lectures on agricultural meteorology]. Pod red. M.S. Kulika, V.V. Sinel'shchikova. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966. 340 p.
6. Lisitsyn E.M., Amunova O.S. *Geneticheskoe raznoobrazie sortov yarovoy myagkoy pshenitsy po alyumoustoychivosti*. [Genetic diversity of spring soft wheat varieties in aluminum resistance]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2014. Vol. 18. no. 3. pp. 497-505.
7. Ionova E.V. *Razvitiye kornevoy sistemy pshenitsy v usloviyakh zasukhi*. [Development of wheat root system under drought conditions]. *Zemledelie*. 2010. no. 2. pp. 12-13.
8. Sofalian O., Chaparzaden N., Dolati M. Genetic diversity in spring wheat landraces from northwest of Iran assessed by ISSR markers. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009. no. 37. pp. 252-256.
9. Kozhushko N.N. *Otsenka zasukhoustoychivosti polevykh kul'tur*. [Estimation of drought resistance in field crops]. *Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam*. Metodicheskoe rukovodstvo. [Diagnostics of plant resistance to stress. Methodical guide]. Leningrad: VIR, 1988. pp. 10-24.
10. Kumar B. S., Gokulakrishnan J., Sathyyanarayanan G., Prakash M. Impact of osmotic stress on seed germination and seedling growth in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *International Journal of Tropical Agriculture*. 2016. Vol. 34. no. 3. pp. 645-652.
11. Koevoets I.T., Venema J.H., Elzenga J.T.M., Testerink C. Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. *Front. Plant Sci.* 2016. Vol. 7 (1335). pp. 1-17. doi: 10.3389/fpls.2016.01335
12. Rajendran R.A., Muthiah A.R., Manickam A., Shanmugasundaram P. John Joel A. Indices of drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes at early stages of plant growth. *Res. J. Agric. and Biol. Sci.* 2011. Vol. 7. pp. 42-46.
13. Bychkova O.V., Khlebova L.P. *Fiziologicheskaya otsenka zasukhoustoychivosti yarovoy tverdoy pshenitsy*. [Physiological estimation of drought resistance in spring hard wheat]. *Acta Biologica Sibirica*. 2015. Vol. 1. no. 1-2. pp. 107-116.
14. Lisitsyn E.M., Lisitsyna I.I. *Vliyanie mesta reproduktsii sorta na ego potentsial'nuyu alyumoustoychivost'*. [Influence of place of origin of a variety on its potential aluminum resistance]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2008. no. 5. pp. 58-64.

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky Kirov, Russia,  
e-mail:niish-sv@mail.ru

Amunova O.S., junior researcher, Tiunova L.N., junior researcher