

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ВОЛГО-ВЯТСКОМ РЕГИОНЕ

И.Ю. ЗАЙЦЕВА, И.Н. ЩЕННИКОВА

(Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого –  
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока)

*В настоящее время вследствие меняющихся почвенно-климатических условий наблюдаются резкие колебания сбора зерна ячменя по годам. В связи с этим остро стоит проблема подбора нового исходного материала для создания сортов, способных противостоять действию абиотических и биотических стрессов. Изучение мирового генофонда ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона позволяет выделить адаптивные формы с комплексом или отдельными признаками и свойствами, которые отвечают современным задачам селекции. Таким образом, целью исследований является выделение источников для селекции ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона РФ на основе оценки коллекционных образцов различного эколого-географического происхождения по урожайности и комплексу селекционно-ценных признаков. Экспериментальная работа проводилась в 2019–2021 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Объектом исследований являлись 26 образцов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения из коллекции ФГБНУ ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (23 образца) и ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Изучение коллекции проводилось в соответствии с Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса (2012) и Международным классификатором СЭВ рода *Hordeum* L. (1983). Оценку образцов к пыльной головне давали на основании шкалы В.И. Кривеченко, А.П. Хохловой (2008), к листовым болезням – на основании шкалы О.С. Афанасенко (2005). Засухоустойчивость ярового ячменя изучали по лабораторной методике ВИР (1988). Оценку сортов к алюмокислому стрессу проводили согласно методике лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур (2003) и рекомендациям Е.М. Лисицына (2018). В результате исследований выделены источники хозяйственно-ценных признаков: урожайности – 1; сочетающие высокую урожайность с высокими показателями некоторых элементов продуктивности – 15; с наименьшим периодом от всходов до созревания – 3; устойчивости к полеганию – 19; устойчивости в естественных условиях (к возбудителю пыльной головни – 1, полосатой пятнистости – 7); устойчивости на стадии проростков к осмотическому стрессу – 5, к алюмокислому стрессу – 14.*

**Ключевые слова:** урожайность, элементы продуктивности, устойчивость к полеганию, пыльная головня, пятнистости, засухоустойчивость, кислотоустойчивость.

### Введение

Волго-Вятский регион является зоной с неблагоприятными почвенно-климатическими условиями. Вследствие наличия абиотических и биотических стрессов и меняющихся условий вегетации наблюдаются резкие колебания сбора зерна ячменя по годам. В связи с этим остро стоит проблема подбора нового исходного материала для создания сортов, способных обеспечить высокую урожайность и противостоять действию стрессовых факторов внешней среды.

Выбор наиболее перспективных родительских форм для скрещиваний из имеющегося разнообразия генетических ресурсов сельскохозяйственных растений является

одним из наиболее ответственных и трудных моментов в селекционном процессе, так как успех комбинационной селекции в значительной степени зависит от удачного подбора родительских форм для гибридизации [18, 19]. Необходимым условием для получения ценного гибридного материала является вовлечение в скрещивание коллекционных образцов различного эколого-географического происхождения. Сорты с широкой генетической гетерогенностью, вовлеченные в селекционный процесс, позволяют получить гибридный материал, обладающий большим спектром различных качественных показателей [22]. Поэтому в качестве исходного материала для создания сортов различных морфобиотипов ячменя используется мировой генофонд. Он является отправной точкой всех селекционных программ и определяет их успех [9].

Изучение мирового генофонда ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона позволяет выделить адаптивные формы с комплексом или отдельными признаками и свойствами, которые отвечают современным задачам селекции, с целью их дальнейшего использования в качестве родительских компонентов при скрещивании.

**Цель исследований:** выделить источники для селекции ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона РФ на основе оценки коллекционных образцов различного эколого-географического происхождения по урожайности и комплексу селекционно-ценных признаков.

### Материал и методы исследований

Экспериментальная работа проводилась в 2019–2021 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Объектом исследований являлись 26 образцов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения из коллекции ФГБНУ ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (23 образца) и ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (3 образца).

Изучение коллекции проводилось в соответствии с Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса [16] и Международным классификатором СЭВ рода *Hordeum* L. [15] на делянках площадью 2,7 м<sup>2</sup>, повторность – 3-кратная. В качестве стандарта использовали сорт Белгородский 100.

**Устойчивость к болезням.** Оценка образцов при искусственной инокуляции производили шприц-методом в фазу желто-зеленых пыльников. Характеристику генотипа по устойчивости в естественных условиях к пыльной головне (*Ustilago nuda* (Jens) Rostr.) давали на основании шкалы В.И. Кривеченко, А.П. Хохловой [8], по устойчивости к листовым болезням – по шкале О.С. Афанасенко [2].

**Засухоустойчивость.** Засухоустойчивость ярового ячменя изучали по лабораторной методике ВИР [5].

**Алюмоустойчивость.** Оценка сортов к эдафическому стрессу проводили согласно методике лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур [10]. Для определения уровня потенциальной алюмоустойчивости использовали ИДК (индекс длины корней) как соотношение средней длины корней при высокой концентрации стрессового фактора к средней длине корней при низкой концентрации, выраженное в процентах. В дополнение к ИДК использовали показатели: RSR (отношение сухой массы корней к сухой массе проростков); относительная RSR (отношение RSR варианта с повышенным содержанием ионов алюминия к RSR контрольного варианта) – в соответствии с рекомендациями Е.М. Лисицына [11].

Для оценки уровня влагообеспеченности использовали гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова.

Статистическую обработку данных выполняли методами дисперсионного, вариационного, корреляционного и регрессионного анализа по методике Б.А. Доспехова [6].

Математический анализ материала осуществляли с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel и пакета селекционно-генетических программ «AGROS», версия 2.07.

Метеорологические условия в годы проведения исследований значительно различались по температурному режиму и обеспеченности посевов влагой. 2019 г. с температурой воздуха в пределах климатической нормы и дефицитом осадков характеризовался как умеренно-влажный (ГТК = 1,37). В 2020 г. вегетация растений началась на 3–17 дней раньше средних многолетних сроков, в течение лета было сухо с незначительными осадками (ГТК = 1,56). В 2021 г. преобладала теплая и жаркая сухая, лишь с периодически выпадающими локальными дождями, погода (ГТК = 1,23). Засушливые условия 2021 г., сложившиеся в начальные фазы развития растений, отрицательно сказались на урожайности коллекционных образцов.

Таким образом, различающиеся погодные условия в годы исследований позволили всесторонне изучить коллекционный материал.

### Результаты и их обсуждение

Урожайность – это интегральный показатель, зависящий от совокупности признаков и свойств растений и напрямую связанный с абиотическими факторами внешней среды, которые выражаются как климатическими, так и почвенными условиями, поэтому селекция на урожайность является одной из самых сложных задач [12].

Урожайность ячменя складывается из различных структурных показателей: продуктивной кустистости, длины колоса, количества колосков зерен в колосе, продуктивности главного колоса и растения в целом, массы 1000 зерен. Каждый из этих признаков в отдельности и их сочетание вносят определенный вклад в формирование продуктивности растения [14]. Наиболее благоприятные погодные условия для роста и развития растений ячменя сложились в 2020 г. Это способствовало проявлению потенциальных возможностей генотипов при формировании элементов структуры продуктивности и получению высокой урожайности (рис. 1).

У изученных образцов не удалось выявить ни один параметр, который бы в течение всех трех лет исследований был стабильно связан с урожайностью. Так, в 2019 и 2021 гг. более продуктивными были высокостебельные образцы, урожайность достоверно коррелировала с высотой растений ( $r = 0,37$  и  $0,38$  соответственно), в 2020 г. наблюдали достоверную связь с кустистостью общей ( $r = 0,50$ ) и продуктивной ( $r = 0,53$ ), длиной колоса ( $r = 0,40$ ) и массой зерна с растения ( $r = 0,39$ ).

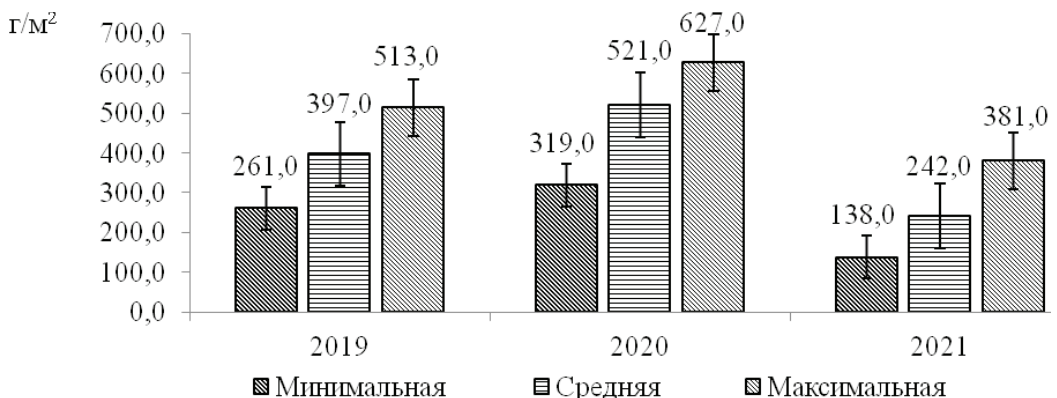


Рис. 1. Урожайность коллекционных образцов

Таким образом, определяющим в выборе образцов для дальнейшей селекционной работы остается оценка по продуктивности в разные по условиям вегетации годы.

В среднем за годы изучения урожайность коллекционных образцов составляла  $387 \pm 9 \text{ г/м}^2$ , показатели на уровне стандартного сорта Белгородский 100 ( $453 \text{ г/м}^2$ ) были отмечены у 20 образцов. Выделялись генотипы Калькюль ( $465 \text{ г/м}^2$ ) и Буян ( $500 \text{ г/м}^2$ ), превысившие стандарт на 12 и  $47 \text{ г/м}^2$  соответственно.

Наряду с образцами, отличающимися высокой урожайностью, селекционную ценность имеют генотипы, характеризующиеся высокими показателями по отдельным элементам структуры продуктивности. В результате многолетних исследований отмечены образцы, выделившиеся по массе зерна с колоса и растения. Достоверным превышением стандарта по продуктивности колоса отличались образцы Буян, Липень, растения – CDC Mc Gwire, по массе зерна с колоса и растения – Калькюль и С-105. Остальные образцы по продуктивности колоса и растения находились на уровне стандарта (табл. 1). Стандартный сорт Белгородский 100 характеризуется крупным, хорошо выполненным зерном и показателем «Масса 1000 зерен» до 48,5 г. Среди изучаемого набора не выделены образцы, достоверно превышающие стандарт по данному показателю, но определенный интерес представляют генотипы, имеющие массу 1000 зерен на уровне стандарта.

Таблица 1

**Коллекционные образцы, выделившиеся по элементам продуктивности растений, 2019–2021 гг.**

Образец / Sample	Номер каталога** / Catalog number**	Масса зерна, г / Mass of grain, g		Масса 1000 зерен, г/ 1000-grain mass, g	Урожайность, г/м <sup>2</sup> / Yield capacity, g/m <sup>2</sup>
		с колоса / per ear	с растения / per plant		
Белгородский 100, стандарт	я-201	0,82	1,37	47,8	453
Beag	к-31049	0,94	1,74	42,2	369
CDC Mc Gwire	к-31108	0,89	1,87*	37,6	321
Калькюль	к-31170	1,01*	2,16*	46,8	465
Докучаевский 10	к-31197	0,83	1,27	48,4	449
Буян	к-31198	1,10*	1,80	46,2	500
Оленёк	к-31199	0,98*	1,54	44,3	441
С-105	к-31286	1,32*	1,90*	42,9	313
Липень	к-31171	1,14*	1,44	42,7	394
999–93	я-6	0,68	0,92	39,8	435
Форсаж	к-31376	0,80	1,39	45,4	405
Форвард	я-389	0,84	1,22	43,3	417
НСР <sub>05</sub>		0,16	0,47	3,6	101

\*Достоверное превышение над стандартом при  $P \geq 0,95$ .

\*\*к – каталог ВИР; я – каталог ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Установлено, что в отдельные годы урожайность ячменя в значительной мере зависела от способности растений куститься, а также от степени развития параметров колоса. В исследованиях выделился образец Калькюль, достоверно превышающий стандарт по общей и продуктивной кустистости (табл. 2). Длинным, хорошо озерненным колосом за все годы изучения отличались Bear, CDC Mc Gwire, Калькюль, Mauritia и др. По плотности колоса выделялся 999–93. Еще 5 образцов достоверно превысили стандарт по данному показателю.

Таблица 2

**Коллекционные образцы, выделившиеся по одному или нескольким элементам структуры урожайности, 2019–2021 гг.**

Образец / Sample	Номер каталога** / Catalog number**	Кустистость, шт/раст / tilling capacity, psc/plant		Колос / Ear			
		общая / total	продуктивная / productive	длина, см / length, cm	плот- ность / the den- sity	количество, шт / number, psc.	
						колосков / spikes	зерен / grains
Белгородский 100, стандарт	я-201	2,2	2,0	6,0	12,6	17,9	16,6
Bear	к-31049	2,6	2,1	9,0*	11,8	24,4*	22,5*
CDC Mc Gwire	к-31108	2,8	2,5	8,4*	13,6*	25,7*	23,4*
Эвергрин	к-31169	2,5	2,2	7,1*	11,9	20,1	17,4
Калькюль	к –31170	3,0*	2,7*	7,6*	12,7	22,2*	20,3*
Mauritia	к-31190	1,8	1,6	6,9*	13,1	20,6*	18,6*
Issota	к-31193	2,3	1,9	7,7*	11,9	20,6*	18,8*
2033E	к-31191	2,0	1,7	6,9*	13,6*	21,8*	19,8*
Юкатан	к-31097	1,9	1,6	8,0*	13,0	23,4*	21,3*
Irbe (PR-3528)	к-31143	2,2	2,0	7,7*	13,2*	24,4*	22,9*
Буян	к-31198	2,1	1,9	8,0*	13,8*	25,1*	23,0*
Оленёк	к-31199	2,2	1,9	7,9*	13,0	23,5*	23,1*
С-105	к-31286	1,9	1,7	5,4	12,0	43,3*	31,7*
Липень	к-31171	1,5	1,4	5,6	11,2	41,8*	27,3*
Форвард	я-389	2,0	1,7	6,2	13,2*	19,8	18,8*
999–93	я-6	1,8	1,6	5,8	14,1*	18,8	16,8
121–13	я-1	1,6	1,4	7,3*	11,7	20,4*	18,8*
НСР <sub>05</sub>		0,6	0,5	0,7	0,5	2,2	1,9

\*Достоверное превышение над стандартом при  $P \geq 0,95$ .

\*\*к – каталог ВИР; я – каталог ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Оптимальная продолжительность вегетационного периода генотипов ячменя способствует более полному использованию природных ресурсов конкретной почвенно-климатической зоны и в определенной мере помогает избегать негативного действия неблагоприятных факторов среды [13]. С продолжительностью вегетационного периода связано множество свойств, которые определяют размер и качество урожая, восприимчивость к поражению болезнями и вредителям [17].

По результатам исследования все образцы были отнесены к одной группе – средне-спелые. Их вегетационный период в среднем составлял от 73 до 77 (CV = 1,72%) дней. Наименьшим периодом от всходов до созревания, равным 73 дням, среди изученных генотипов отличались Медикум 11, Медикум 125 и Форсаж. Более длительным вегетационным периодом, составлявшим 77 дней, характеризовались образцы Эвергрин, Калькюль, 2033Е.

Для дальнейшего использования изучаемых коллекционных образцов в селекционных программах по созданию сортов различных групп спелости изучение вегетационного периода образцов проводили с учетом продолжительности межфазных периодов. Погодные условия внесли существенные коррективы в их продолжительность. Значительные различия по продолжительности межфазных периодов «Всходы-кущение» и «Кущение-выход в трубку» наблюдали в 2021 г. Амплитуда изменчивости составляла 12 и 10 дня соответственно (табл. 4).

В селекции на сокращение продолжительности вегетационного периода определенную перспективу имеют образцы с минимальными в опытах межфазными периодами: «Всходы-кущение» (Медикум 125), «Кущение-выход в трубку» (Issota, Медикум 125, Докучаевский 10 и 121–13), «Выход в трубку- колошение» (Докучаевский 10, С-105 и Липень), «Колошение-созревание» (Bear и CDC Mc Gwire). Для создания позднеспелых сортов выделены источники с более продолжительными периодами: «Всходы-кущение» (Issota, Respect С-105), «Кущение-выход в трубку» (2033Е), «Выход в трубку-колошение» (CDC Mc Gwire и Омский голозёрный 1), «Колошение-созревание» (Калькюль, Медикум 176 и Липень).

Таблица 3

### Продолжительность межфазных периодов у коллекционных образцов

Параметры / Parameters	Год / Year	Межфазный период, дни / The interphase period, days			
		всходы-кущение / seedlings-tillering	кущение-выход в трубку / tillering-stem elongation	выход в трубку-колошение / stem elongation-earring	колошение-созревание / earing-maturity
Min-max	2019	17–19	16–19	6–14	29–37
	2020	9–12	11–20	12–19	26–34
	2021	12–24	6–16	9–17	28–34
Среднее	2019	19	16	11	33
	2020	10	15	16	31
	2021	19	10	12	31
Амплитуда изменчивости	2019	2	3	8	8
	2020	3	9	7	8
	2021	12	10	8	6

Склонность к полеганию у зерновых культур ограничивает потенциал продуктивности. Полегание растений приводит к заметному изменению обменных процессов в растениях, к усиленному развитию грибковых заболеваний, понижению качества зерна и затрудняет уборку урожая [7].

В годы исследований наблюдали значительное варьирование устойчивости к полеганию у изученных образцов: от 5,0 до 9,0 балла. Различающиеся по условиям вегетации годы изучения способствовали более точной оценке коллекционных образцов. Провокационные условия сложились в 2020 г., когда низкой устойчивостью к полеганию характеризовались 50% генотипов, а средний балл устойчивости составлял 7,5. Полеганию части образцов в тот год способствовали ливневые дожди, сопровождавшиеся сильным ветром, а временами – и выпадением града. Наиболее благоприятным стал 2021 г., когда все генотипы обладали высокой устойчивостью к полеганию: от 8,0 до 9,0 балла (рис. 2).

Высокой устойчивостью к полеганию характеризовались 20 образцов, среди которых устойчивость к полеганию, равная 9,0 балла за все годы исследований, была выявлена у образцов Issota и Форсаж. Образцы Bear, Калькюль, Respect, Fitzgoу (к-31174), 2033E, Юкатан, Irbe (PR-3528), Докучаевский 10, Липень, 999–93, Форсаж, Форвард, 121–13 и Омский голозёрный 1 сочетают высокую урожайность с устойчивостью к полеганию и рядом селекционно-ценных признаков.

Защита растений от болезней является гарантом получения стабильно высоких урожаев ячменя, так как болезни нередко приводят к снижению продуктивности посевов на 10–20% и выше, а иногда и к их гибели, ухудшению качества зерна и посевных свойств семян [20].

Оценку коллекционных образцов по устойчивости к пыльной головне проводили в условиях естественного инфекционного фона и при искусственном заражении в полевых условиях. В результате оценки на естественном инфекционном фоне выявлено, что уровень естественной инфекционной нагрузки патогена был достаточно слабым, о чем косвенным образом свидетельствует максимальное в опыте поражение образца-индикатора – от 3,8 до 10,1% во все годы исследований. В этих условиях большинство изученных коллекционных образцов характеризовалось высокой устойчивостью к пыльной головне, образец Эвергрин не поражался патогеном за все годы изучения.

Исследование сортов на инфекционном фоне при искусственном внесении инфекции в цветок показало, что в изучаемом наборе генотипов не было иммунных к *U. nuda* сортов. Практически все генотипы являлись сильно восприимчивыми к патогену (поражение – 100% растений). Слабая восприимчивость отмечалась у образца Медикум 125 (22,2%).

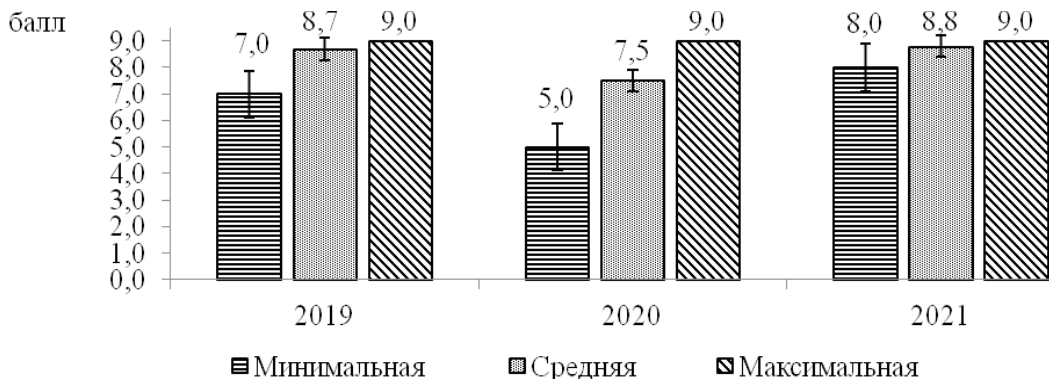


Рис. 2. Устойчивость к полеганию коллекционных образцов

На основании оценки коллекционных образцов в естественных условиях установлено, что степень поражения генотипов сетчатой пятнистостью в годы изучения варьировала от 5,0 до 44,0%. Наибольшее поражение образцов отмечалось в 2021 г. при максимальном поражении 44,0%. Большинство образцов имели среднюю устойчивость к *Drechslera teres*. Восприимчивостью к патогену характеризовались 2 образца: Эвергрин и Irbe (PR-3528), степень поражения листового аппарата которых составляла 33,0 и 44,0% соответственно. Менее других сетчатой пятнистостью поражались Бадьорий (к-31094) (13%), Медикум 11 (13,4%) и 121–13 (14,0%).

Степень поражения темно-бурой пятнистостью по годам изменялась от 8,0 до 27,5%. Наиболее провокационным для развития болезни являлся 2021 г., когда средний процент поражения растений составил 17,2%, а наибольший достигал 27,5% (Липень). Большинство образцов обладало средней устойчивостью к *Drechslera Sorokiana*. Наименьший процент поражения темно-бурой пятнистостью отмечался у образцов Омский голозерный 1 (14,5%), Беар (15,0%), Буян (15,0%), Форвард (15,0%).

Степень поражения полосатой пятнистостью в годы проведения исследований варьировала от 0 до 10,0%. Наибольшее развитие болезни отмечалось в 2020 г., когда максимальная степень поражения составляла 10,0%. Изученные генотипы обладали высокой устойчивостью или иммунитетом к *Drechslera graminea*. За годы изучения не поражались полосатой пятнистостью генотипы Эвергрин, Калькюль, Mauritia, Юкатан, Irbe (PR-3528), Докучаевский 10 и Форвард.

Потенциальная возможность сорта дать реальный урожай во многом определяется уровнем устойчивости сорта к стрессовым экологическим факторам окружающей среды [3]. Абиотические стрессы нарушают происходящие в растениях физиологические процессы, что ведет к ухудшению качества зерна (семян) и снижению урожайности зерновых культур более чем на 50% [1, 11].

Волго-Вятский регион считается зоной достаточного увлажнения, но в то же время для него характерно неравномерное выпадение осадков в течение вегетационного периода. Отклонения от среднегодовой нормы достигают 3–5-кратной величины. Засухи, совпадающие с критическими фазами в развитии растений, особенно участились в последние годы [21].

Высокоустойчивыми (процент проросших семян – 81–100%) к осмотическому стрессу на ранних этапах органогенеза являлись образцы 999–93, Форвард, 121–13, Омский голозерный 1, Калькюль, Оленёк, Липень, Беар, CDC MC Gwire, Эвергрин, 2033E, Медикум 11, Irbe (PR-3528).

Кроме всхожести, для оценки уровня устойчивости сорта к стрессовому фактору был использован индекс RSR. Показатель RSR варьировал от снижения на 19,8% у образца Беар до увеличения на 273,0% у образца Медикум 125 (опыт относительно контроля). Большинство изученных образцов характеризовалось высокой относительной RSR, при этом они различались по показателю «Отклонение RSR».

Толерантностью к засухе характеризовались сорта Irbe (PR-3528), Медикум 11, 121–13 и С-105, сочетавшие высокие показатели лабораторной всхожести в условиях осмотического стресса и относительной RSR (табл. 5). Кроме того, все эти образцы обладали наименьшим отклонением RSR.

Наименьшее отклонение RSR имел образец 121–13 (8,1%), что характеризует его как более устойчивый к засухе по сравнению с остальными.

На кислых дерново-подзолистых почвах, которые занимают около 80% пахотных земель европейского Северо-Востока, одной из основных фитоэкологических проблем является эдафический стресс, обусловленный кислым почвенным фоном с высоким содержанием подвижных ионов алюминия на фоне низкого естественного плодородия почв [4, 23].



**Коллекционные образцы с наименьшим отклонением RSR**

Образец / Sample	Номер каталога*/ Catalog number*	Всхожесть, %/ Germination, %		Отклонение RSR, % / Deviation in RSR, %
		контроль / control	опыт/ test	
Bear	к-31049	87,8	78,9	19,8
Медикум 11	к-31138	53,3	78,9	34,0
Irbe (PR-3528)	к-31143	84,4	82,2	30,8
C-105	к-31286	83,3	63,3	17,7
121–13	я-1	66,7	58,9	8,1

\*к – каталог ВИР; я – каталог ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Исследованные образцы различались по устойчивости к повышенному содержанию ионов алюминия. Показатель ИДК изменялся от 71,6 (999–93) до 110,9% (2033E). По показателю ИДК все изучаемые генотипы являлись устойчивыми. Кроме того, у образцов 2033E (110,9%), Медикум 11 (105,3%), Медикум 176 (100,3%), Докучаевский 10 (107,1%), Форвард (100,4%) и 121–13 (104,2%) был отмечен стимулирующий эффект алюминия на рост корневой системы (ИДК>100%).

Показатель относительного соотношения RSR изменялся от снижения на 26,4% (Калькюль) до увеличения на 10,3% (Respect) при оценке устойчивости сортов к повышенному содержанию ионов алюминия.

Среди изучаемых сортов по показателю RSR можно выделить образцы Калькюль (100,5%), Mauritia (101,0%), Issota (101,3%), Respect (110,3%), 2033E (109,4%), Медикум 11 (107,6%), Докучаевский 10 (106,5%).

Поскольку отдельные генотипы используют различные механизмы устойчивости в разной степени, то логичнее использовать сразу несколько параметров для оценки уровня устойчивости сорта к стрессовому воздействию. С другой стороны, оценить их вклад в интегральную устойчивость по абсолютным значениям является несколько затруднительным, поэтому согласно Методике лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур, разработанной (Lisitsyn, 2003), нами для принятия решения использовались относительные уровни развития того или иного признака.

Самыми устойчивыми к повышенному содержанию ионов алюминия являются сорта Медикум 176 и Форвард, суммарный индекс устойчивости которых составляет 2,0 и 1,0% соответственно.

Таким образом, в качестве исходного материала для создания сортов, устойчивых к алюмоокислному стрессу (по показателям ИДК и RSR), рекомендуется использовать коллекционные образцы Bear, Калькюль, Mauritia, Issota, Respect, Юкатан, 2033E, Медикум 11, Медикум 125, Медикум 176, Irbe (PR-3528), Докучаевский 10, Форвард и 121–13.

**Коллекционные образцы, устойчивые к алюмокислоту стрессу**

Образец / Sample	Номер каталога* / catalog number*	ИДК, %/ RLI, %	Отклонение ИДК, % / Deviation in RLI, %	Отклонение RSR, % / Deviation in RSR, %	Суммарный индекс устойчивости / Total stability index
Bear	к-31049	99,1	0,9	5,8	6,7
Калькюль	к-31170	83,1	16,9	0,5	17,5
Mauritia	к-31190	89,1	10,9	1,0	11,9
Issota	к-31193	94,0	6,0	1,3	7,3
Respect	к-31186	95,6	4,4	10,3	14,7
Юкатан	к-31097	85,5	14,5	4,7	19,2
2033E	к-31191	110,9	10,9	9,4	20,3
Медикум 11	к-31138	105,3	5,3	7,6	12,9
Медикум 125	к-31139	92,6	7,4	4,5	11,9
Медикум 176	к-31140	100,3	0,3	1,7	2,0
Irbe (PR-3528)	к-31143	98,8	1,2	16,6	17,8
Докучаевский 10	к-31197	107,1	7,1	6,5	13,6
Форвард	я-389	100,4	0,4	0,6	1,0
121–13	я-1	104,2	4,2	6,1	10,3

\*к – каталог ВИР; я – каталог ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

**Выводы**

В результате проведенных исследований для условий Волго-Вятского региона выделены источники:

- Урожайности – Докучаевский 10.
- Сочетающие высокую урожайность с высокими показателями некоторых элементов продуктивности: общая и продуктивная кустистость, длина и озерненность колоса, масса зерна с колоса и растения – Калькюль; длина колоса – Respect, Медикум 11, Медикум 176 и Омский голозёрный 1; длина и озерненность колоса – Bear, Юкатан, Оленёк и 121–13; длина, плотность и озерненность колоса – Irbe (PR-3528) и 2033E; длина и озерненность колоса и масса зерна с главного колоса – Буян; плотность колоса – Fitzroy, 999–93; плотность и озерненность колоса – Форвард; озерненность колоса и масса зерна с главного колоса – Липень.
- С наименьшим периодом от всходов до созревания (73 дня) – Медикум 11, Медикум 125, Форсаж.
- Устойчивости к полеганию образцы: Калькюль, Respect, Fitzroy, 2033E, Юкатан, Irbe (PR-3528), Докучаевский 10, Липень, 999–93, Форсаж, Форвард, 121–13,

Омский голозёрный 1, CDC Mc Gwire, Эвергрин, Mauritia, Issota, Бадьорий и Медикум 125.

• Устойчивости в естественных условиях: к возбудителю пыльной головни – Эвергрин; к полосатой пятнистости – Эвергрин, Калькюль, Mauritia, Юкатан, Irbe (PR-3528), Докучаевский 10 и Форвард.

• Устойчивости к осмотическому стрессу на стадии проростков: Bear, Медикум 11, Irbe (PR-3528), 121–13 и C-105.

• Устойчивости к алюмокислому стрессу: Bear, Калькюль, Mauritia, Issota, Respect, Юкатан, 2033E, Медикум 11, Медикум 125, Медикум 176, Irbe (PR-3528), Докучаевский 10, Форвард и 121–13.

Выделенные коллекционные образцы будут использоваться для дальнейшей селекционной работы в качестве родительских форм при скрещивании.

### Библиографический список

1. Анисимова Н.Н., Ионова Е.В. Элементы структуры урожая сортов ярового ячменя и их вклад в формирование высокой продуктивности растений // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С. 40–43.

2. Афанасенко О.С. Устойчивость ячменя к гемибиотрофным патогенам // Идентифицированный генофонд растений и селекция. – СПб.: Государственный научный центр Российской Федерации «Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова» (ГНЦ РФ ВИР), 2005. – С. 592–615.

3. Баталова Г.А. Овес в Волго-Вятском регионе: М. – Киров: ООО «Орма», 2013. – 288 с.

4. Волкова Л.В., Тулякова М.В. Влияние длительного эдафического стресса на характеристики проростков следующего поколения гибридов яровой пшеницы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – № 22 (4). – С. 466–476.

5. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство / Под ред. Г.В. Удовенко. – Л.: ВИР, 1988. – 227 с.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: М. – М.: Колос, 1985. – 416 с.

7. Ковригина Л.Н., Заушинцева А.В. Источники устойчивости ярового ячменя к полеганию // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1. – С. 57–62.

8. Кривченко В.И., Хохлова А.П. Головные болезни зерновых культур. Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: Методическое пособие. – М.: Типография Россельхозакадемии, 2008. – С. 32–85.

9. Ланочкина М.А., Блохин В.И. Оценка мирового генофонда ячменя // Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур. – 2015. – С. 96–106.

10. Лисицын Е.М. Методика лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур // Доклады РАСХН. – 2003. – № 3. – С. 5–7.

11. Лисицын Е.М. Физиологические параметры корневых систем в селекции зерновых культур на абиотическую устойчивость // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2018. – Т. 4, № 3. – С. 7–44.

12. Ляпкало Л.А., Хронюк В.Б. Изучение коллекционного материала ярового ячменя для селекционных целей // Современная техника и технологии. – 2016. – № 6. – С. 55–60.

13. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Возможности создания сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) с широкой изменчивостью параметров вегетационного периода // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Т. 19, № 2. – С. 176–184.

14. Махмудова К.Х., Богданова Е.Д., Кирикович С.С., Левитес Е.В. Оценка стабильности признаков, индуцированных тритоном X-100 у мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 16, № 1. – С. 193–201.
15. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum* L. / Сост. Я. Лекеш, И. Береш, А. Форал, И. Одигнал, Ф. Ружичка, М. Бобек, А. Трофимовская, М. Лукьянова, В. Корнейчук, Н. Ильина, Н. Ярош. – Ленинград: ВИР, 1983. – 50 с.
16. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса / Под ред. д-ра биол. наук И.Г. Лоскутова. – СПб.: ООО «Копи-Р», 2012. – 64 с.
17. Наумкин Д.В. Влияние погодных условий и генотипа ячменя ярового на продолжительность вегетационного периода в условиях ЦЧР // Экологизация сельскохозяйственного производства: Сборник Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – Орёл: Изд-во Орловского ГАУ, 2021. – С. 154–160.
18. Павлова Н.А., Муругова Г.А., Клыков А.Г. Использование двурядных и многорядных форм ярового ячменя в гибридизации в условиях Приморского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5. – С. 126–130.
19. Тимошенкова Т.А. Доноры устойчивости к болезням ячменя и твердой пшеницы для селекции в степной зоне Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. – 2017. – № 4 (100). – С. 234–239.
20. Фатуллаев П.У. Изучение болезни ячменя в условиях Нахчыванской автономной республики Азербайджана // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – № 52–3. – С. 63–68.
21. Щенникова И.Н., Кокина Л.П. Приоритетные направления и некоторые результаты селекции ярового ячменя в Волго-Вятском регионе // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 2–2. – С. 214–219.
22. Щенникова И.Н., Шешегова Т.К., Кокина Л.П., Зайцева И.Ю., Ковалёва О.Н. Биоресурсы ячменя ярового для селекции новых коммерческих сортов в условиях Волго-Вятского региона: Методическое руководство / Под ред. акад. РАН Г.А. Баталовой. – Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2022. – 28 с. – URL: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2022/Биоресурсы-ячменя-2022.pdf>.
23. Яковлева О.В. Фитотоксичность ионов алюминия // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. – Т. 179, № 3. – С. 315–331.

## GENETIC RESOURCES FOR PRIORITY CONCEPTS OF SPRING BARLEY BREEDING IN THE VOLGA-VYATKA REGION

I.YU. ZAYTSEVA, I.N. SHCHENNIKOVA

(Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky)

*At present, the yield of barley varies greatly from year to year. This is due to changes in soil and climatic conditions. In this regard, the problem of selecting new source material for the creation of varieties capable of resisting the action of abiotic and biotic stresses is acute. The study of the global gene pool of spring barley under the conditions of the Volga-Vyatka region helps to identify adaptive forms with a complex or individual traits and properties that meet modern breeding objectives. Thus, the aim of the research is to identify sources for spring barley breeding under the conditions of the Volga-Vyatka region of the Russian Federation based on the evaluation of collection samples of different ecological and geographical origin for yield and a complex of valuable breeding traits. The experimental work was carried out in 2019–2021 at FARC North-East. The research object was 26 samples of spring barley of different ecological and geographical*

origin from the collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov (23 samples) and FARC North-East. The collection was studied according to the Methodological Guidelines for the Study and Preservation of the World Collection of Barley and Oats (2012) and the International Comecon List of Descriptors for the genus *Hordeum* L. (subgen. *Hordeum*) (1983). The samples were evaluated for dusty smut on the basis of the scale of V.I. Krivechnko, A.P. Khokhlova (2008) and for leaf diseases according to the scale of O.S. Afanasenko (2005). Drought resistance of spring barley was studied by the laboratory method of VIR (1988). The evaluation of varieties against alumina stress was carried out according to the methodology of laboratory evaluation of aluminum resistance of grain crops (2003) and the recommendations of E.M. Lisitsyn (2018). As a result of the conducted research, the sources of economically valuable traits were identified: yield capacity – 1; combination of high yield capacity with high indicators of some elements of productivity – 15; with the shortest period from germination to maturity – 3; resistance to lodging – 19; resistance in vivo: to the causative agent of dusty smut – 1; stripe disease – 7; resistance to osmotic stress at the seedling stage – 5 and to alumina stress – 14.

**Key words:** yield, productivity elements, lodging resistance, dusty smut, spotting, drought resistance, acid resistance.

## References

1. Anisimova N.N., Ionova E.V. Elements of the Yield Structure of Spring Barley Varieties and Their Contribution to The Formation of High Plant Productivity. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2016; 5: 40–43. (In Rus.)
2. Afanasenko O.S. Barley Resistance to Hemibiotrophic Pathogens. Identifitsirovanniy genofond rasteniy i selektsiya. Saint Petersburg; 2005: 592–615. (In Rus.)
3. Batalova G.A. Oats in the Volga-Vyatka Region. Kirov: OOO “Orma”, 2013: 288. (In Rus.)
4. Volkova L.V., Tulyakova M.V. Effect of Long-Term Edaphic Stress on the Characteristics of Seedlings of the Next Generation of Spring Wheat Hybrids. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2021; 22 (4): 466–476. (In Rus.)
5. Diagnosis of Plant Resistance to Stress: Methodological Guide. Ed. by Udovenko G.V. Leningrad: VIR, 1988: 277. (In Rus.)
6. Dospekhov B.A. Methodology of Field Experiment. Moscow: Kolos, 1985: 416. (In Rus.)
7. Kovrigina L.N., Zaushintsena A.V. Sources of Summer Barley Resistance to Lodging. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2010; 1: 57–62. (In Rus.)
8. Krivchenko V.I., Khokhlova A.P. Smut Diseases of Grain Crops. Study of genetic Resources of Grain Crops for Resistance to Harmful Organisms. Study Guide]. Moscow: Tip. Rossel’khozakademii, 2008: 32–85. (In Rus.)
9. Lanochkina M.A., Blokhin V.I. Evaluation of the Global Barley Gene Pool. *Sovremennye tekhnologii vyrashchivaniya sel’skokhozyaystvennykh kul’tur*. 2015: 96–106. (In Rus.)
10. Lisitsyn E.M. Methods for Laboratory Evaluation of Alum Stability in Grain Crops. *Doklady Rossiyskoy akademii sel’skokhozyaystvennykh nauk*. 2003; 3: 5–7. (In Rus.)
11. Lisitsyn E.M. Physiological Parameters of Root Systems in the Selection of Grain Crops for Abiotic Resistance. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta Seriya “Sel’skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki”*. 2018; 4; 3: 7–44. (In Rus.)
12. Lyapkalo L.A., Khronyuk V.B. Study of Collection Material Spring Barley for Breeding Purposes. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii*. 2016; 6: 55–60. (In Rus.)
13. Mal’chikov P.N., Myasnikova M.G. Approaches to the Development of Durum Wheat Cultivars (*Triticum Durum* Desf.) with Wide Variability of the Growing Season. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2015; 19; 2: 176–184. (In Rus.)
14. Makhmudova K.Kh., Bogdanova E.D., Kirikovich S.S., Levites E.V. Evaluation of the Stability of Traits Induced by Triton X-100 in Common Wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2014; 16; 1: 193–201. (In Rus.)

15. *Lekesh J., Baresh I., Foral A., Odignal V., Ruschichka F., Bobek M et al.* International Comecon List of Descriptors for the Genus *Hordeum* L. (Subgen. *Hordeum*). Leninograd: VIR, 1983: 50. (In Rus.)
16. Methodological Guidelines for the Study and Preservation of the World Collection of Barley and Oats. Ed. by DSc (Bio) I.G. Loskutov. St. Petersburg, 2012: 64. (In Rus.)
17. *Naumkin D.V.* Effect of Weather Conditions and Genotype of Spring Barley on the Duration of the Growing Season in the Central Chernozem Region. (Ekologizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: Sbornik Vserossiyskoy (Natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, molodykh uchenykh i spetsialistov. Orel, 2021: 154–160. (In Rus.)
18. *Pavlova N.A., Murugova G.A., Klykov A.G.* Use of the Double-Row and the Multi-Row Spring Barley Forms for Hybridization under the Primorsky Krai Conditions. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; 5: 126–130. (In Rus.)
19. *Timoshenkova T.A.* Donors of Resistance to Diseases of Barley and Hard Wheat for Selection in the Steppe Zone of Orenburg Cis-Urals. Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2017; 4(100): 234–239. (In Rus.)
20. *Fatullaev P.U.* Study of Barley Disease under the Conditions of the Nakhchivan Autonomous Republic of Azerbaijan. Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2019; 52–3: 63–68. (In Rus.)
21. *Shchennikova I.N., Kokina L.P.* Priority Directions and Some Results of Spring Barley Breeding in Volga-Vyatka Region. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2018; 20; 2–2: 214–219. (In Rus.)
22. *Shchennikova I.N., Sheshegova T.K., Kokina L.P., Zaytseva I.Yu., Kovaleva O.N.* Bioresources of Spring Barley for Breeding New Commercial Varieties under the Conditions of the Volga-Vyatka Region. Methodological Guide. Ed. by Academician of the Russian Academy of Sciences G.A. Batalova. Kirov, 2022: 28. (In Rus.)
23. *Yakovleva O.V.* Phytotoxicity of Aluminum Ions. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2018; 179; 3: 315–331. (In Rus.)

**Зайцева Ирина Юрьевна**, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: irina-zajiceva30@rambler.ru; тел. (раб.): (332) 33–10–26; тел. (моб.): (900) 528–38–96; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

**Щенникова Ирина Николаевна**, д-р с.-х. наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: i.schennikova@mail.ru; тел. (раб.): (332) 33–10–26; тел. (моб.): (912) 737–63–44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

**Irina Yu. Zaytseva**, Junior Research Associate, Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky (166a, Lenina Str., Kirov, 610007, Russian Federation; phones: (332) 33–10–26, (900) 528–38–96; E-mail: irina-zajiceva30@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>)

**Irina N. Schennikova**, DSc (Ag), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky (166a, Lenina Str., Kirov, 610007, Russian Federation; phones: (332) 33–10–26, (912) 737–63–44; E-mail: i.schennikova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>)