

Урожайность и адаптивность сортов гороха в условиях подтайги Северного Зауралья

В. А. Сапега¹✉, Г. Ш. Турсумбекова²

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

✉E-mail: sapegavalerii@rambler.ru

Аннотация. Цель исследования – сравнительная характеристика урожайности гороха в производстве и госсортоиспытании Тюменской области, а также комплексная оценка его сортов по урожайности и параметрам адаптивности в условиях подтайги области. **Методы.** Исследования проводились на основе статистических данных урожайности гороха в производстве и госсортоиспытании Тюменской области за 2017–2021 гг., а также данных результатов госсортоиспытания допущенных к использованию сортов за 2019–2021 гг. в условиях подтайги (Нижне-Тавдинский и Аромашевский ГСУ). Вычислены коэффициент индекса условий среды (I_j), стрессоустойчивости ($Y_2 - Y_1$), изменчивости урожайности (v , %), пластичности (b_i), стабильности (S_i^2) и общей адаптивной способности (ОАС). **Результаты.** Лучшим по средней урожайности и средней урожайности в контрастных условиях был сорт Багу (30,5 и 33,0 ц/га соответственно), а по реализации потенциала урожайности – сорт Кумир (74,7%). Стрессоустойчивость низкая у всех сортов: от –19,7 (Ямал) до –27,3 (Томас), а изменчивость урожайности – значительная: от 30,5 % (Багу) до 42,7 % (Агроинтел). Сильная отзывчивость на изменение условий отмечена у сорта Саламанка ($b_i = 1,13$), что позволяет отнести его к интенсивным. Лучшими по стабильности были сорта Ямал ($S_i^2 = 3,30$) и Саламанка ($S_i^2 = 4,36$). Наибольшей величиной общей адаптивной способности характеризовались сорта Багу (ОАС = 3,3) и Саламанка (ОАС = 2,5). По сумме рангов показателей параметров урожайности и адаптивности лучшими признаны сорта Багу (сумма рангов 19), Саламанка (сумма рангов 24), Ямал (сумма рангов 31) и Томас (сумма рангов 33). **Научная новизна.** Выявлен урожайный и адаптивный потенциал допущенных к использованию сортов гороха по результатам их испытания в 6 средах с применением ряда методических подходов. **Практическая значимость.** Ранжирование сортов по параметрам урожайности и адаптивности позволило выделить лучшие сорта по комплексу признаков и свойств в условиях подтайги Тюменской области.

Ключевые слова: горох, урожайность, сорт, стрессоустойчивость, изменчивость урожайности, отзывчивость, стабильность, общая адаптивная способность, ранг сорта.

Для цитирования: Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность и адаптивность сортов гороха в условиях подтайги Северного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2023. № 08 (237). С. 24–36. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-24-36.

Дата поступления статьи: 05.02.2023, **дата рецензирования:** 20.03.2023, **дата принятия:** 03.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Горох является одной из основных зернобобовых культур России. Его доля в общей площади посева зернобобовых составляет около 80 %. По данным на 2018 г. площадь посева гороха в стране составила 1434,7 тыс. га [1, с. 28]. Ценность гороха в первую очередь обусловлена высоким содержанием белка в семенах, который сбалансирован по аминокислотному составу. Важнейшее направление использования гороха – продовольственное и кормовое. Кроме этого, благодаря симбиотической азотфиксации горох способствует улучшению пло-

дородия почвы, что сокращает использование минеральных удобрений [2, с. 37; 3, с. 62; 4, с. 46].

В условиях интенсификации земледелия сорт становится одним из решающих факторов повышения урожайности зерновых и зернобобовых культур. Вклад сорта в достигнутый уровень урожайности, по данным ряда исследований, достигает 40–50 % [5, с. 21; 6, с. 40; 7, с. 12].

Селекция современных сортов гороха интенсивного типа включает два основных этапа. Первый этап был связан с переводом селекции гороха на неосыпаемость семян, что связано с геном *def*

(development funiculus), обуславливающим срастание семяножки зерна со створкой боба. На втором этапе решалась задача повышения технологичности сорта путем создания форм, не склонных к полеганию, на основе использования безлисточковости – мутации af (afilia). Благодаря сцеплению усов между собой такие сорта позволяют получить практически неполегающий стеблестой [8, с. 41].

Формирование того или иного уровня урожайности в различных природно-климатических условиях обусловлено механизмом генотип-средового взаимодействия. Данное взаимодействие выражается в смене рангов продуктивности в наборе сортов при их испытании в разные годы в одном пункте природно-климатической зоны или в один год, но в разных пунктах [9, с. 151; 10; 11, р. 1242; 12, с. 913]. В связи с этим актуальным является использование в производстве сортов, способных формировать высокую экономически значимую урожайность в варьирующих условиях выращивания [13, с. 32; 14, р. 83].

Одна из важнейших задач селекции – повышение адаптивного потенциала сортов, что особо важно в условиях Западной Сибири. Создание и внедрение в производство таких сортов, сочетающих повышенную продуктивность с устойчивостью к комплексу стрессовых факторов, обеспечит наиболее полную реализацию их генетического потенциала и в конечном счете рост и стабильность урожайности [15, с. 501; 16, с. 939; 17, с. 49; 18, с. 82]. В решении данной проблемы важная роль отводится комплексной оценке селекционного материала по параметрам экологической пластичности и экологической устойчивости с использованием ряда известных методических подходов как в научно-исследовательских центрах, так и в госсортоиспытании [19, с. 15; 20, с. 35; 21, с. 267; 22, с. 53].

В Тюменской области площадь посева гороха в среднем за 2017–2021 гг. составила 33,9 тыс. га (5,1 % от общей площади посева зерновых и зернобобовых культур).

Сортоиспытание гороха проводится в трех природно-климатических зонах: подтайге (II зона, Нижне-Тавдинский и Аромашевский ГСУ), северной лесостепи (III зона, Ялуторовский, Омутинский и Ишимский ГСУ) и южной лесостепи (IV зона, Бердюжский ГСУ). За период с 2017 по 2021 гг. было испытано 35 сортов гороха и допущено к использованию только 3 сорта, что составило 8,6 % от испытанных. Все это указывает на имеющиеся трудности отбора сортов в условиях региона, которые удовлетворяли бы производство по комплексу ценных признаков и свойств и в первую очередь урожайности, ее стабильности, продолжительности вегетационного периода, технологичности и др.

На 2021 год было допущено к использованию по Тюменской области 8 сортов гороха, из них 5 сортов

отечественной селекции (Ямальский, Агроинтел, Ямал, Кумир и Томас) и 3 сорта иностранной селекции (Саламанка, Багу и Остинато) [23, с. 6].

Цель исследования – оценка урожайности гороха в производстве и госсортоиспытании Тюменской области, а также допущенных к использованию сортов по урожайности и адаптивности в условиях зоны подтайги Тюменской области.

Методология и методы исследования (Methods)

Материалом исследования служили статистические данные по урожайности сельскохозяйственных культур в Тюменской области за 2017–2021 гг., а также результаты испытания сортов гороха за 2019–2021 гг. на Нижне-Тавдинском и Аромашевском ГСУ, расположенных в зоне подтайги Тюменской области [23, с. 57].

Изучались 7 допущенных к использованию сортов гороха неосыпающегося (def) безлисточкового (af) морфотипа (Ямальский, Агроинтел, Ямал, Кумир, Саламанка, Томас и Багу).

Предшественником в 2019 г. на двух сортоучастках был пар, а в 2020 г. на Нижне-Тавдинском ГСУ – ячмень, на Аромашевском ГСУ – яровая пшеница. В 2021 г. предшественником на Нижне-Тавдинском ГСУ был пар, а на Аромашевском ГСУ – яровая пшеница.

Срок посева сортов гороха – вторая декада мая, норма высева – 1,2 млн всхожих семян на 1 га. Учетная площадь делянки – 25 м², повторность четырехкратная, размещение сортов в опыте – рандомизированное. Агротехника в опыте – общепринятая при возделывании зернобобовых культур в зоне подтайги Тюменской области.

Изменчивость урожайности гороха в производстве и госсортоиспытании, а также урожайность его сортов определяли по методике Б. А. Доспехова [24, с. 162]. Реализацию потенциала урожайности сортов гороха определяли по методике Э. Д. Неттевича [25, с. 5], а их стрессоустойчивость и среднюю урожайность в контрастных условиях – по уравнениям А. А. Rossielle, J. Hemblin [26]. Экологическую пластичность сортов гороха (коэффициент линейной регрессии, среднее квадратическое отклонение от линии регрессии) определяли по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell [27], а их общую адаптивную способность – по методике А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой [28, с. 81].

Результаты (Results)

При оценке урожайности гороха в госсортоиспытании нами бралась урожайность всех допущенных к использованию сортов при их испытании на всех сортоучастках области в данном году, по сумме урожая определялась средняя урожайность. Как видно из представленных данных, средняя урожайность гороха за 2017–2021 гг. в производстве и госсортоиспытании характеризовалась равной величиной (соответственно 21,3 и 21,7 ц/га) (таблица 1).

Таблица 1

Урожайность гороха в производстве и госсортоиспытании Тюменской области

Агротехнологии

Год	Производство (хозяйства всех категорий)	Госсортоиспытание				
		ц/га	± к производству	Максимальная урожайность		
				ц/га	Сорт	Природно-климатическая зона, ГСУ
2017	26,4	24,1	-2,3	44,0	Саламанка	Подтайга, Аромашевский ГСУ
2018	20,3	24,1	3,8	46,7	Саламанка	Северная лесостепь, Ишимский ГСУ
2019	24,9	27,4	2,5	46,6	Ямал	Северная лесостепь, Ишимский ГСУ
2020	20,8	18,2	-2,6	37,7	Саламанка	Подтайга, Нижне-Тавдинский ГСУ
2021	13,9	15,2	1,3	26,9	Остинато	Северная лесостепь, Ишимский ГСУ
Средняя урожайность, ц/га	21,3	21,7	0,4	–	–	–
Изменчивость урожайности, %	23,0	23,0	±0	–	–	–

Table 1

Pea yield in the production and state variety testing of the Tyumen region

Year	Production (farms of all categories)	State variety testing				
		c/ga	± to production	Maximum yield		
				c/ga	Variety	Natural and climatic zone, STP
2017	26.4	24.1	-2.3	44.0	Salamanka	Subtaiga, Aromashevskiy STP
2018	20.3	24.1	3.8	46.7	Salamanka	Northern forest-steppe, Ishimskiy STP
2019	24.9	27.4	2.5	46.6	Yamal	Northern forest-steppe, Ishimskiy STP
2020	20.8	18.2	-2.6	37.7	Salamanka	Subtaiga, Nyzhne-Tavdinskiy STP
2021	13.9	15.2	1.3	26.9	Ostinato	Northern forest-steppe, Ishimskiy STP
Average yield, c/ga	21.3	21.7	0.4	–	–	–
Yield variability, %	23.0	23.0	±0	–	–	–

Максимальный ее уровень в производстве отмечен в 2017 г. (26,4 ц/га), а в госсортоиспытании – в 2019 г. (27,4 ц/га). Только в течение трех лет из пяти урожайность гороха в госсортоиспытании была больше урожайности в производстве. Это указывает на то, что не во все годы испытания сортов на госсортоучастках складываются благоприятные условия, способствующие максимальной реализации их генетического потенциала, что в конечном счете сказывается на величине формирования урожайности.

Изменчивость урожайности гороха в среднем за 2017–2021 гг. как в производстве, так и госсортоиспытании была значительной (23,0 %).

Нами выявлен значительный потенциал урожайности отдельных сортов гороха в госсортоис-

пытании в пределах отдельных лет исследования. Это указывает на возможность повышения урожайности данной культуры в производстве при правильном выборе сорта исходя из его урожайного и адаптивного потенциала, а также природно-климатической зоны и уровня агротехнологий. Так, в условиях 2018 г. на Ишимском ГСУ (северная лесостепь) урожайность допущенного к использованию сорта Саламанка составила 46,7 ц/га, а сорта Ямал в 2019 г. на том же ГСУ – 46,6 ц/га (таблица 1).

Условия в годы испытания сортов гороха, исходя из величины индекса (I_j), характеризовались значительной контрастностью. Наиболее благоприятный их характер для роста и развития сортов сложился в 2019 г. на Нижне-Тавдинском ГСУ ($I_j = 11,5$), а наиболее худшими они были в 2021 г. на том же сортоучастке ($I_j = -12,6$) (таблица 2).

Индекс условий среды и ранги сортов гороха по урожайности

Сорт Ранг	Год допуска к использованию	Урожайность, ц/га					
		Нижне-Тавдинский ГСУ			Аромашевский ГСУ		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021
Ямальский	2004	37,7	35,3	14,8	13,0	22,0	21,9
ранг		1	2	6	3	4	5
Агроинтел	2005	36,5	33,7	10,0	19,1	21,8	19,2
ранг		1	2	6	5	3	4
Ямал	2007	35,7	35,8	16,1	28,6	22,8	19,8
ранг		2	1	6	3	4	5
Кумир	2015	32,6	34,0	12,3	33,6	21,9	17,8
ранг		3	1	6	2	4	5
Саламанка	2016	42,0	37,7	15,7	36,4	22,2	24,2
ранг		1	2	6	3	5	4
Томас	2017	40,6	34,6	13,3	36,0	23,2	26,4
ранг		1	3	6	2	5	4
Багу	2020	46,0	33,1	20,0	33,8	23,7	26,6
ранг		1	3	6	2	5	4
НСР ₀₅	–	2,0	2,5	1,1	1,3	1,4	1,4
Среднесортная урожайность, ц/га	–	38,7	34,9	14,6	30,1	22,5	22,3
Индекс условий среды (<i>I</i>)	–	11,5	7,7	–12,6	2,9	–4,7	–4,9

Table 2

Index of environmental conditions and rank of pea varieties by yield

Yield Rank	Year of admission to use	Yield, c/ga					
		Nyzhne-Tavdinskiy STP			Aromashevskiy STP		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021
Yamal'skiy	2004	37.7	35.3	14.8	13.0	22.0	21.9
rank		1	2	6	3	4	5
Agrointel	2005	36.5	33.7	10.0	19.1	21.8	19.2
rank		1	2	6	5	3	4
Yamal	2007	35.7	35.8	16.1	28.6	22.8	19.8
rank		2	1	6	3	4	5
Kumir	2015	32.6	34.0	12.3	33.6	21.9	17.8
rank		3	1	6	2	4	5
Salamanka	2016	42.0	37.7	15.7	36.4	22.2	24.2
rank		1	2	6	3	5	4
Tomas	2017	40.6	34.6	13.3	36.0	23.2	26.4
rank		1	3	6	2	5	4
Bagu	2020	46.0	33.1	20.0	33.8	23.7	26.6
rank		1	3	6	2	5	4
LSD ₀₅	–	2.0	2.5	1.1	1.3	1.4	1.4
Average variety yield, c/ga	–	38.7	34.9	14.6	30.1	22.5	22.3
Index of environmental conditions (<i>I</i>)	–	11.5	7.7	–12.6	2.9	–4.7	–4.9

Значительная вариабельность условий среды в годы испытания отразилась на величине урожайности как отдельных сортов, так и среднесортной их урожайности. Так, урожайность сорта Агроинтел

варьировала от 10,0 ц/га в 2021 г. на Нижне-Тавдинском ГСУ (индекс условий – 12,6) до 36,5 ц/га на том же сортоучастке в 2019 г. (индекс условий – 11,5).

Нами выявлено значительное генотип-средовое взаимодействие у всех сортов гороха в условиях зоны подтайги, которое привело к смене их рангов по величине урожайности по годам их испытания в двух пунктах (ГСУ) (таблица 2). Это отрицательно сказалось на стабильности урожайности и указывает на недостаточный уровень адаптивности сортов, а также на значительную долю вклада в общую дисперсию урожайности компонента взаимодействия «генотип – среда», что необходимо учитывать при выборе сортов в производстве исходя из условий природно-климатических зон. Только два сорта (Томас и Багу) из семи имели одинаковые ранги по величине урожайности в шести средах, что указывает

на сходный тип реакции генотипов на комплекс условий среды в данных средах.

Наибольшей средней урожайностью за 2019–2021 гг. в шести средах (3 года × 2 ГСУ) характеризовался сорт Багу (30,5 ц/га), а наименьшая ее величина отмечена у сорта Агроинтел (23,4 ц/га) (таблица 3).

Во временной динамике допуска сортов к использованию выявлено повышение средней урожайности только у сортов Ямал, Саламанка, Томас и Багу. Так, средняя урожайность сорта Багу (допущен к использованию в 2020 г.) была выше на 4,7 ц/га по сравнению с сортом Ямальский (допущен к использованию в 2004 г.).

Таблица 3
Средняя урожайность сортов гороха и реализация ее потенциала, 2019–2021 гг. (3 года × 2 ГСУ = 6 сред)

Сорт	Год допуска к использованию	Средняя урожайность			Реализация потенциала урожайности, %
		ц/га	Ранг	%*	
Ямальский	2004	25,8	5	100,0	68,4
Агроинтел	2005	23,4	7	90,7	64,1
Ямал	2007	26,5	4	102,7	74,0
Кумир	2015	25,4	6	98,4	74,7
Саламанка	2016	29,7	2	115,1	70,7
Томас	2017	29,0	3	112,4	71,4
Багу	2020	30,5	1	118,2	66,3

* К сорту Ямальский.

Table 3
Average yield of pea varieties and realizing of yield potential, 2019–2021 (3 year × 2 STP = 6 environments)

Variety	Year of admission to use	Average yield			Realizing of yield potential, %
		c/ga	Rank	%*	
Yamal'skiy	2004	25.8	5	100.0	68.4
Agrointel	2005	23.4	7	90.7	64.1
Yamal	2007	26.5	4	102.7	74.0
Kumir	2015	25.4	6	98.4	74.7
Salamanka	2016	29.7	2	115.1	70.7
Tomas	2017	29.0	3	112.4	71.4
Bagu	2020	30.5	1	118.2	66.3

* To variety Yamal'skiy.

Таблица 4
Урожайность, стрессоустойчивость и экологическая пластичность сортов гороха, 2019–2021 гг. (3 года × 2 ГСУ = 6 сред)

Сорт	Год допуска к использованию	Параметры урожайности и адаптивности*							
		Y_2	Y_1	$Y_2 - Y_1$	$Y_1 + Y_2/2$	$v, \%$	b_i	S_i^2	ОАС
Ямальский	2004	14,8	37,7	-22,9	26,2	34,1	0,93	9,58	-1,4
Агроинтел	2005	10,0	36,5	-26,5	23,2	42,7	1,02	18,16	-3,8
Ямал	2007	16,1	35,8	-19,7	26,0	31,3	0,89	3,30	-0,7
Кумир	2015	12,3	34,0	-21,7	23,2	36,6	0,96	13,86	-1,8
Саламанка	2016	15,7	42,0	-26,3	28,8	35,0	1,13	4,36	2,5
Томас	2017	13,3	40,6	-27,3	27,0	34,5	1,07	8,68	1,8
Багу	2020	20,0	46,0	-26,0	33,0	30,5	0,96	13,01	3,3

Примечание. Y_2 – минимальная урожайность, ц/га; Y_1 – максимальная урожайность, ц/га; $Y_2 - Y_1$ – стрессоустойчивость; S_i^2 – стабильность; $Y_1 + Y_2/2$ – средняя урожайность в контрастных условиях, ц/га; v – изменчивость урожайности, %; b_i – пластичность; ОАС – общая адаптивная способность.

Table 4

Yield, stress resistance and ecological plasticity of pea varieties, 2019–2021
(3 years × 2 STP = 6 environments)

Variety	Year of admission to use	Yield and adaptability parameters*							
		Y_2	Y_1	$Y_2 - Y_1$	$Y_1 + Y_2/2$	v , %	b_i	S_i^2	GAA
Yamal'skiy	2004	14.8	37.7	-22.9	26.2	34.1	0.93	9.58	-1.4
Agrointel	2005	10.0	36.5	-26.5	23.2	42.7	1.02	18.16	-3.8
Yamal	2007	16.1	35.8	-19.7	26.0	31.3	0.89	3.30	-0.7
Kumir	2015	12.3	34.0	-21.7	23.2	36.6	0.96	13.86	-1.8
Salamanka	2016	15.7	42.0	-26.3	28.8	35.0	1.13	4.36	2.5
Tomas	2017	13.3	40.6	-27.3	27.0	34.5	1.07	8.68	1.8
Bagu	2020	20.0	46.0	-26.0	33.0	30.5	0.96	13.01	3.3

Note. Y_2 – minimum yield, c/ga; Y_1 – maximum yield, c/ga; $Y_2 - Y_1$ – stress tolerance; $Y_1 + Y_2/2$ – average yield in contrasting conditions, c/ga; v – yield variability, %; b_i – plasticity; S_i^2 – stability; GAA – general adaptive ability.

Реализация потенциала урожайности низкая у всех сортов и не превышает 75 %. Лучшим по этому показателю был сорт Кумир (74,7 %), а наиболее низкое его значение отмечено у сорта Агроинтел (64,1 %). Главной причиной низкой реализации генетического потенциала изученных сортов является недостаточная их экологическая устойчивость, что приводит к резкому снижению урожайности в неблагоприятных условиях.

Максимальная урожайность в условиях подтайги Тюменской области за период 2019–2021 гг. в шести средах отмечена у сортов, допущенных к использованию в последние годы: Саламанка, Томас и Багу (42,0, 40,6 и 46,0 ц/га соответственно) (таблица 4).

Наименьшей урожайностью за тот же период характеризовались сорта Агроинтел (10,0 ц/га) и Кумир (12,3 ц/га).

Стрессоустойчивость как один из важнейших показателей адаптивности низкая у всех сортов, особенно у тех, которые характеризовались наибольшей средней и максимальной урожайностью. Это указывает на снижение адаптивности сортов по мере повышения их интенсивности, что согласуется с заключениями других исследователей, изучавших проблему урожайности и экологической устойчивости сортов [25, с. 4; 29, с. 32; 30, с. 587]. Наибольшая стрессоустойчивость отмечена у сортов Ямал (-19,7) и Кумир (-21,7), которые соответственно характеризовались наименьшим размахом урожайности между минимальной и максимальной ее величиной (таблица 4). Сорта Агроинтел и Томас характеризовались наиболее низким показателем стрессоустойчивости (соответственно -26,5 и -27,3), что привело к резкому снижению их урожайности в жестких условиях среды в 2021 г.

Компенсаторскую способность сорта отражает его средняя урожайность в контрастных (стрессовых и нестрессовых) условиях. Наибольшая ее величина отмечена у сортов Саламанка (28,8 ц/га) и Багу (33,0 ц/га), у которых выявлена и наибольшая максимальная и средняя урожайность, но в то же

время и низкая стрессоустойчивость, что еще раз указывает на снижение адаптивности сортов по мере повышения их интенсивности (таблица 4).

Изменчивость урожайности значительная у всех сортов гороха и характеризуется величиной от 30,5 % (Багу) до 42,7 % (Агроинтел) (таблица 4). При сравнении вариабельности урожайности сортов в динамике ее повышения от самого низкого к высокому уровню нами не выявлено одновременного снижения их средней урожайности и стрессоустойчивости, что указывает на независимость формирования данных параметров при генотип-средовом взаимодействии.

Согласно методике S. A.Eberhart, W. A.Russell [27], оценку экологической пластичности сортов проводят на основе расчета двух параметров: коэффициента линейной регрессии (b_i) и среднеквадратического отклонения от линии регрессии (S_i^2). Первый характеризует их отзывчивость на изменение условий выращивания, а второй – стабильность. На основе проведенных исследований сильная отзывчивость на изменение условий отмечена у сорта Саламанка ($b_i = 1,13$), что позволяет отнести его к интенсивным (таблица 4). Данный сорт можно рекомендовать в производстве для хозяйств, где поддерживается высокий уровень агрофона, а также для выращивания в природно-климатических зонах, которые отличаются сравнительно благоприятным комплексом абиотических факторов. В то же время недостатками этого сорта являются низкий уровень стрессоустойчивости и значительная вариабельность урожайности. Это указывает на то, что не следует стремиться к созданию и внедрению в производство сортов с высоким уровнем отзывчивости на изменение условий, выражаемой коэффициентом регрессии, т. к. это приводит к повышению их чувствительности как к благоприятным, так и неблагоприятным факторам среды. Большинство сортов (Ямальский, Агроинтел, Кумир, Томас, Багу) с коэффициентом регрессии, равным или близким единице, отнесены к группе пластичных.

Данные сорта адаптированы к разнообразным условиям. Изменение их урожайности полностью соответствует изменению условий выращивания. На высоком агрофоне они будут формировать высокую урожайность, а на низком – незначительно ее снижать. Слабой отзывчивостью на изменение условий характеризовался сорт Ямал ($b_i = 0,89$). Исходя из сравнительно высокой его стрессоустойчивости, относительно низкой вариабельности урожайности и высокой стабильности (на что будет указано далее) данный сорт будет более эффективен при возделывании в условиях недостаточно высокого уровня агрофона, а также в природно-климатических зонах или эконишах в пределах зон с жестким характером комплекса абиотических факторов среды.

Показатель стабильности значительно варьировал в зависимости от сорта и характеризовался низкой величиной. Лучшими по данному параметру были сорта Ямал ($S_i^2 = 3,30$) и Саламанка ($S_i^2 = 4,36$) (таблица 4). Такие сравнительно высокие по сравнению с другими сортами показатели уровня стабильности указывают на наличие специфической реакции этих сортов в конкретных условиях среды. Наиболее низкая стабильность отмечена у сортов Агроинтел ($S_i^2 = 18,16$), Кумир ($S_i^2 = 13,86$) и Багу ($S_i^2 = 13,01$), как следствие, в первую очередь низкой их стрессоустойчивости. Сорта Ямальский и Томас занимали промежуточное положение по величине стабильности (соответственно $S_i^2 = 9,58$ и $S_i^2 = 8,68$).

Наиболее ценными для использования в производственных условиях на основе оценки параметров экологической пластичности будут те сорта, которые характеризуются сильной отзывчивостью на улучшение условий и высокой стабильностью. Такие сорта способны формировать одновременно высокую и стабильную урожайность. По результатам наших исследований, исходя из лучших показателей экологической пластичности к таким сортам отнесены Саламанка ($b_i = 1,13$, $S_i^2 = 4,36$) и Томас ($b_i = 1,07$, $S_i^2 = 8,68$).

Показатель общей адаптивной способности (ОАС) характеризует среднее значение признака в различных условиях окружающей среды. Сорта с высоким значением показателя ОАС обеспечивают максимальное проявление признака (в частности урожайности) во всей совокупности сред. По данным наших исследований, наибольший показатель общей адаптивной способности отмечен у сортов Багу (ОАС = 3,3) и Саламанка (ОАС = 2,5) (таблица 4). Средняя урожайность данных сортов в шести средах была выше средней урожайности по опыту. Необходимо отметить, что более ценным сортом из выделившихся по величине ОАС является Багу, т. к. высокое значение его общей адаптивной способности сочетается с более низкой по сравнению с сортом Саламанка вариабельностью урожайности.

Объективную оценку адаптивного потенциала сортов можно получить при использовании не одного-двух, а целого ряда методических подходов. При этом необходимо проводить ранжирование сортов по комплексу изученных параметров урожайности и адаптивности и на его основе выделять лучшие сорта, опираясь на величину суммы рангов. При такой оценке первый ранг считается самым высоким. На основе ранжирования изученных нами сортов по комплексу показателей урожайности и адаптивности в шести средах лучшими в условиях подтайги Северного Зауралья признаны сорта Багу (сумма рангов 19), Саламанка (сумма рангов 24), Ямал (сумма рангов 31) и Томас (сумма рангов 33) (таблица 5).

Необходимо отметить, что ценность выделившихся сортов определялась вкладом различных параметров, изученных в ходе исследования. Так, сумма рангов сорта Багу формировалась в основном за счет высокого потенциала урожайности, сравнительно низкой ее изменчивости и высокого значения общей адаптивной способности; сорта Саламанка – за счет высокого потенциала урожайности, отзывчивости на изменение условий и общей адаптивной способности; сорта Ямал – за счет сравнительно низкой стрессоустойчивости и изменчивости урожайности, а также высокой стабильности; сорта Томас – за счет высокого потенциала урожайности, отзывчивости на изменение условий и стабильности.

Как видно из представленных данных, величина рангов параметров урожайности и адаптивности сортов не совпадает по их величине, что указывает на различные генетические системы контроля данных параметров при генотип-средовом взаимодействии, как основы формирования продуктивности сортов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. В среднем за 2017–2021 гг. урожайность гороха в производстве и госсортоиспытании, а также ее изменчивость характеризовались равной величиной.

2. За период с 2017 по 2021 гг. в госсортоиспытании отмечен значительный потенциал урожайности у ряда сортов: от 26,9 ц/га (2021 г., Остинато) до 46,7 ц/га (2018 г., Саламанка).

3. При оценке сортов за 2019–2021 гг. в шести средах (3 года \times 2 ГСУ = 6 сред) выявлено значительное генотип-средовое взаимодействие, следствием которого явилась смена рангов сортов по урожайности вдоль вектора смены лим-факторов.

4. Наибольшей средней урожайностью за 2019–2021 гг. в шести средах, а также средней урожайностью в контрастных условиях характеризовался сорт Багу (соответственно 30,5 и 33,0 ц/га).

5. Реализация потенциала урожайности низкая у всех сортов и не превышала 75 %.

Таблица 5
 Ранги сортов гороха по величине параметров урожайности и адаптивности, 2019–2021 гг.
 (3 года × 2 ГСУ = 6 сред)

Сорт	Год допуска к использованию	Параметры урожайности и адаптивности*									Сумма рангов
		Y_2	Y_1	$\bar{\delta}$	$Y_2 - Y_1$	$Y_2 + Y_1/2$	$v, \%$	b_i	S_i^2	ОАС	
Ямальский	2004	4	4	5	3	4	3	5	4	5	37
Агроинтел	2005	7	5	7	6	6	7	3	7	7	55
Ямал	2007	2	6	4	1	5	2	6	1	4	31
Кумир	2015	6	7	6	2	6	6	4	6	6	49
Саламанка	2016	3	2	2	5	2	5	1	2	2	24
Томас	2017	5	3	3	7	3	4	2	3	3	33
Багу	2020	1	1	1	4	1	1	4	5	1	19

Примечание. Y_2 – минимальная урожайность, ц/га; Y_1 – максимальная урожайность, ц/га; $Y_2 - Y_1$ – стрессоустойчивость; S_i^2 – стабильность; $Y_1 + Y_2/2$ – средняя урожайность в контрастных условиях, ц/га; v – изменчивость урожайности, %; b_i – пластичность; ОАС – общая адаптивная способность.

Table 5
 Ranks of pea varieties by yield and adaptability parameters, 2019–2021
 (3 years × 2 STP = 6 environments)

Variety	Year of admission to use	Yield and adaptability parameters*									Sum of ranks
		Y_2	Y_1	$\bar{\delta}$	$Y_2 - Y_1$	$Y_2 + Y_1/2$	$v, \%$	b_i	S_i^2	GAA	
<i>Yamal'skiy</i>	2004	4	4	5	3	4	3	5	4	5	37
<i>Agrointel</i>	2005	7	5	7	6	6	7	3	7	7	55
<i>Yamal</i>	2007	2	6	4	1	5	2	6	1	4	31
<i>Kumir</i>	2015	6	7	6	2	6	6	4	6	6	49
<i>Salamanka</i>	2016	3	2	2	5	2	5	1	2	2	24
<i>Tomas</i>	2017	5	3	3	7	3	4	2	3	3	33
<i>Bagu</i>	2020	1	1	1	4	1	1	4	5	1	19

Note. Y_2 – minimum yield, c/ga; Y_1 – maximum yield, c/ga; $Y_2 - Y_1$ – stress tolerance; $Y_1 + Y_2/2$ – average yield in contrasting conditions, c/ga; v – yield variability, %; b_i – plasticity; S_i^2 – stability; GAA – general adaptive ability.

6. Все сорта характеризовались низкой стрессоустойчивостью и значительной изменчивостью урожайности. Лучшими по стрессоустойчивости были сорта Ямал (–19,7) и Кумир (–21,7), а по изменчивости урожайности – Багу (30,5 %) и Ямал (31,3 %).

7. Сильная отзывчивость на изменение условий отмечена у сорта Саламанка ($b_i = 1,13$), а слабая – у сорта Ямал ($b_i = 0,89$). Все остальные сорта с коэффициентом регрессии, равным или близким единице, отнесены к пластичным.

8. Показатель стабильности у большинства сортов характеризовался низкой величиной. Лучши-

ми по стабильности были сорта Ямал ($S_i^2 = 3,30$) и Саламанка ($S_i^2 = 4,36$).

9. Наибольшая величина показателя общей адаптивной способности выявлена у сортов Багу (ОАС = 3,3) и Саламанка (ОАС = 2,5).

10. По сумме рангов величины параметров урожайности и адаптивности лучшими в условиях природно-климатической зоны подтайги Тюменской области признаны сорта Багу (сумма рангов 19), Саламанка (сумма рангов 24), Ямал (сумма рангов 31) и Томас (сумма рангов 33).

Библиографический список

1. Темиров К. С. Сравнительная оценка селекционных линий гороха различного морфотипа // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 2. С. 28–35. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-5-4.
2. Шукис С. К., Шукис Е. Р., Дробышев А. П. Биологическая особенность сортов и линий гороха посевного и их реакция на сроки посева в условиях Алтайского края // Вестник Алтайского ГАУ. 2021. № 9 (203). С. 36–43. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-203-36-43.
3. Давлетов Ф. А., Нигматуллина Г. М., Гайнуллина К. П., Плешков А. В., Сафин Ф. Ф. Новый сорт зернового гороха Памяти Попова // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2 (68). С. 61–65. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-61-65.

4. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Чегунова А. В., Скулова М. В. Оценка урожайности зерна новых линий гороха посевного и определение параметров их адаптивности // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 4 (76). С. 45–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-45-49.
5. Фадеева И. Д., Тагиров М. Ш., Газизов И. Н. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность новых сортов озимой пшеницы // *Земледелие*. 2019. № 3. С. 21–23. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10305.
6. Новохатин В. В. Научное обоснование первичного и элитного семеноводства зерновых культур // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. № 32 (9). С. 40–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-109.
7. Dragavtsev V. A. Solutions of technologic problems of breeding yield increasing, which issue from the Theory of eco-genetik organization of quantitativ characters // *East European Scientific Journal*. 2019. No. 2 (42). Pp. 11–26.
8. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Чегунова А. В. Кластерный анализ коллекционного материала гороха с генами усатого типа листа (af) и неосыпаемости семян (def) // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 2 (74). С. 40–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44.
9. Драгавцев В. А., Драгавцева И. А., Ефимова И. Л., Кузнецова А. П., Моренец А. С. К экспериментальному подтверждению гипотезы об эколого-генетической природе феномена «взаимодействие генотип – среда» у древесных растений // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 1. С. 151–156. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.151 rus.
10. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Interaction of genotype-environment, yield and adaptive potential of oat varieties in conditions of subtaiga of the Northern Trans-Urals // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 1045. Article number 012077. DOI: 10.1088/1755-1315/1045/1/012077.
11. Pereira H. S., Alvares R. C., Silva F. C., de Faria L. C., Melo L. C. Genetic environmental and genotype environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality // *Semina: Ciências Agrárias*. 2017. Vol. 38 (3). Pp. 1241–1250. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n3p1241.
12. Новохатин В. В., Драгавцев В. А., Леонова Т. А., Шеломенцева Т. В. Создание сорта мягкой яровой пшеницы Гренада с помощью инновационных технологий селекции на основе теории эколого-генетической организации количественных признаков // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 5. С. 905–919. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.905 rus.
13. Воложанина Е. Н., Баталова Г. А. Урожайность и адаптивные свойства сортов пленчатого овса в Волго-Вятском регионе // *Вестник Алтайского ГАУ*. 2019. № 3 (173). С. 31–36.
14. Admas S., Tesfaye K. Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in North Shewa, Ethiopia. *Acta Universitatis Sapientiae // Agriculture and Environment*. 2017. Vol. 9 (1). Pp. 82–94. DOI: 10.1515/ausae-2017-0008.
15. Хлесткина Е. К., Журавлева Е. В., Пшеничникова Т. А., Усенко Н. И., Морозова Е. В., Осипова С. В., Пермякова М. Д., Афонников Д. А., Отмахова Ю. С. Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием условий внешней среды: современные возможности улучшения качества зерна и хлебопекарной продукции (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. № 3. С. 501–514. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.501rus.
16. Мальчиков П. Н., Розова М. А., Моргун А. И., Мясникова М. Г., Зеленский Ю. И. Величина и стабильность урожайности современного селекционного материала яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Dest.) из России и Казахстана // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. № 8. С. 939–950. DOI: 10.18699/vj18436.
17. Сапега В. А., Митриковский А. Я. Оценка урожайного и адаптивного потенциала сортов гороха в условиях южной лесостепи Северного Зауралья // *Вестник Казанского ГАУ*. 2020. № 2 (58). С. 49–52. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-49-52.
18. Новохатин В. В., Шеломенцева Т. В., Драгавцев В. А. Новый комплексный подход к изучению динамики повышения адаптивности и гомеостатичности у сортов мягкой яровой пшеницы (на примере длительной истории селекции в Северном Зауралье) // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. № 1. С. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.81 rus.
19. Левакова О. В. Селекционная работа по созданию адаптированных к Нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 1 (73). С. 14–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-14-19.
20. Николаев П. Н., Юсова О. А., Поползухин П. В., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Адаптивный потенциал сортов ярового ячменя селекции Омского аграрного научного центра // *Земледелие*. 2019. № 1. С. 35–38. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10110.
21. Чешкова А. Ф., Степочкин П. И., Алейников А. Ф., Гребенникова И. Г., Пономаренко В. И. Сравнение статистических методов оценки стабильности урожайности озимой пшеницы // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020. Т. 24. № 3. С. 267–275. DOI: 10.18699/vj20.619.

22. Рекашус Э. С. Современные методы оценки продуктивности и стабильности селекционных достижений (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 52–60. DOI: 10.53859/02352451-2022-36-4-52.
23. Выдрин В. В., Федорук Т. К. Сортовое районирование сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания по Тюменской области за 2021 год. Тюмень: Тюменский издательский дом, 2021. 95 с.
24. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Альянс, 2014. 351 с.
25. Неттевич Э. Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в центральном регионе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства // Доклады РАСХН. 2001. № 3. С. 3–6.
26. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // Crop Science. 1981. Vol. 21. No. 6. Pp. 27–29.
27. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6. No. 1. Pp. 36–40.
28. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхнолѳія, 1997. 372 с.
29. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. 2016. № 2 (44). С. 31–36.
30. Шаманин В. П., Потоцкая И. В., Шепелев С. С., Пожерукова В. Е., Моргунов А. И. Морфометрические параметры корневой системы и продуктивность растений у синтетических линий яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири в связи с засухоустойчивостью // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 3. С. 587–597. DOI: 10.15389/agrobiol.2018.3.587rus.

Об авторах:

Валерий Антонович Сапега¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры техносферной безопасности, ORCID 0000-0001-6268-3896, AuthorID 701424; +7 961 208-16-10, sapegavalerii@rambler.ru

Галина Шалкарловна Турсумбекова², доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общей биологии, ORCID 0000-0003-4677-5277, AuthorID 455761; +7 961 209-82-93, galina_tursumbekoba@rambler.ru

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

Productivity and adaptability of pea varieties in the subtaiga of the Northern Trans-Urals

V. A. Sapega¹✉, G. Sh. Tursumbekova²

¹ Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia

² Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

✉E-mail: sapegavalerii@rambler.ru

Abstract. The purpose of the study is a comparative characteristic of the yield of peas in the production and state variety testing of the Tyumen region, as well as a comprehensive assessment of pea varieties by yield and adaptability parameters in the conditions of a subtaiga of the region. **Methods.** The studies were carried out on the basis of statistical data of the pea yield in the production and state variety testing of the Tyumen region for 2017–2021, as well as data on the results of state variety testing of the varieties admitted to use for 2019–2021 under the conditions of a subtaiga (Nizhne-Tavdinskiy and Aromashevskiy STP). Coefficient of index of environmental conditions (I_j), stress tolerance ($Y_2 - Y_1$), yield variability (v , %), plasticity (b_i), stability (S_i^2) and general adaptive ability (GAA) were calculated. **Results.** The variety Bagu (30.5 and 33.0 c/ha, respectively) was the best in terms of average yield and average yield in contrast conditions, and in terms of realizing the yield potential the variety Kumir was the best (74.7 %). Stress tolerance is low in all varieties, from –19.7 (Yamal) to –27.3 (Tomas), and yield variability is significant, from 30.5 % (Bagu) to 42.7 % (Agrointel). Strong responsiveness to changes in conditions was noted in the variety Salamanca ($b_i = 1.13$), which makes it possible to attribute it to intensive. The varieties Yamal ($S_i^2 = 3.30$) and Salamanka ($S_i^2 = 4.36$) were the best stability. The varieties Bagu (GAA = 3.3) and Salamanka (GAA = 2.5) were the largest general adaptive ability. The varieties Bagu (sum of ranks 19), Salamanca (sum of ranks 24), Yamal (sum of ranks 31) and Thomas (sum of ranks 33) were recognized as the best by the sum of the ranks of the parameters of yield and adaptability. **Scientific novelty.** The yield and adaptive

potential of admitted to use of pea varieties was revealed based on the results of their testing in 6 environments using a number of methodological approaches. **Practical significance.** The ranking of varieties according to the parameters of yield and adaptability made it possible to identify the best varieties according to the complex of signs and properties in the conditions of the subtaiga of the Tyumen region.

Keywords: peas, yield, variety, stress tolerance, yield variability, responsiveness, stability, general adaptive ability, rank of variety.

For citation: Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Urozhaynost' i adaptivnost' sortov gorokha v usloviyakh podtaygi Severnogo Zaural'ya [Productivity and adaptability of pea varieties in the subtaiga of the Northern Trans-Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 08 (237). Pp. 24–36. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-24-36. (In Russian.)

Date of paper submission: 05.02.2023, **date of review:** 20.03.2023, **date of acceptance:** 03.04.2023.

References

1. Temirov K. S. Sravnitel'naya otsenka selektsionnykh liniy gorokha razlichnogo morfotipa [Comparative assessment of selection lines of peas of different morphotype] // Siberian Herald of Agricultural Science. 2019. Vol. 49. No. 2. Pp. 28–35. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-5-4. (In Russian.)
2. Shukis S. K., Shukis E. R., Drobyshev A. P. Biologicheskaya osobennost' sortov i liniy gorokha posevnogo i ikh reaktsiya na sroki poseva v usloviyakh Altayskogo kraya [Biological feature of varieties and lines of sowing peas and their reaction to the timing of sowing in the conditions of the Altai Territory] // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021. No. 9 (203). Pp. 36–43. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-203-36-43. (In Russian.)
3. Davletov F. A., Nigmatullina G. M., Gaynullina K. P., Pleshkov A. V., Safin F. F. Novyy sort zernovogo gorokha Pamyati Popova [A new variety of grain peas in memory of Popov] // Grain Economy of Russia. 2020. No. 2 (68). Pp. 61–65. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-61-65. (In Russian.)
4. Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Chegunova A. V., Skulova M. V. Otsenka urozhaynosti zerna novykh liniy gorokha posevnogo i opredeleniye parametrov ikh adaptivnosti [Assessment of grain yield of new seed pea lines and determination of their adaptability parameters] // Grain Economy of Russia. 2021. No. 4 (76). Pp. 45–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-45-49. (In Russian.)
5. Fadeeva I. D., Tagirov M. Sh., Gazizov I. N. Vliyaniye srokov poseva i norm vyseva na urozhaynost' novykh sortov ozimoy pshenitsy [Effect of sowing timing and sowing rates on yields of new winter wheat varieties] // Zemledelie. 2019. No. 3. Pp. 21–23. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10305. (In Russian.)
6. Novokhatin V. V. Nauchnoye obosnovanie pervichnogo i elitnogo semenovodstva zernovykh kul'tur [Scientific justification of primary and elite seed production of grain crops] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2018. No. 32 (9). Pp. 40–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-109. (In Russian.)
7. Dragavtsev V. A. Solutions of technologic problems of breeding yield increasing, which issue from the Theory of eco-genetik organization of quantitativ characters // East European Scientific Journal. 2019. No. 2 (42). Pp. 11–26.
8. Ashiev A.R., Khabibullin K. N., Skulova M. V., Chegunova A. V. Klasternyy analiz kollektsionnogo materiala gorokha s genami usatogo tipa lista (af) i neosypayemosti semyan (def) [Cluster analysis of pea collector material with moustached leaf type genes (af) and seed impoverishment (def)] // Grain Economy of Russia. 2021. No. 2 (74). Pp. 40–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44. (In Russian.)
9. Dragavtsev V. A., Dragavtseva I. A., Efimova I. L., Kuznetsova A. P., Morenets A. S. K eksperimental'nomu podtverzheniyu gipotezy ob ekologogeneticheskoy prirode fenomena "vzaimodeystviye "genotip – sreda" u drevesnykh rasteniy [To experimental confirmation of the hypothesis about the ecological and genetic nature of the phenomenon "genotype-medium interaction" in woody plants] // Agricultural biology. 2018. Vol. 53. No. 1. Pp. 151–156. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.151 rus. (In Russian.)
10. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Interaction of genotype-environment, yield and adaptive potential of oat varieties in conditions of subtaiga of the Northern Trans-Urals // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2022. Vol. 1045. Article number 012077. DOI: 10.1088/1755-1315/1045/1/012077.
11. Pereira H. S., Alvares R. C., Silva F. C., de Faria L. C., Melo L. C. Genetic environmental and genotype environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality // Semina: Ciencias Agrarias. 2017. Vol. 38 (3). Pp. 1241–1250. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n3p1241.
12. Novokhatin V. V., Dragavtsev V. A., Leonova T. A., Shelomentseva T. V. Sozdanie sorta myagkoy yarovoy pshenitsy Grenada s pomoshch'yu innovatsionnykh tekhnologiy selektsii na osnove teorii ekologo-geneticheskoy organizatsii kolichestvennykh priznakov [Creation of a variety of soft spring wheat Grenada with the help of

innovative breeding technologies based on the theory of ecological and genetic organization of quantitative signs] // *Agricultural biology*. 2019. Vol. 54. No. 5. Pp. 905–919. DOI: 10.15389/agrobiol.2019.5.905 rus. (In Russian.)

13. Vologzhanina E. N., Batalova G. A. Urozhaynost' i adaptivnyye svoystva sortov plenchatogo ovsa v Volgo-Vyatskom regione [Yield and adaptive properties of film oats in the Volga-Vyatka region] // *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019. No. 3 (173). Pp. 31–36. (In Russian.)

14. Admas S., Tesfaye K. Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in North Shewa, Ethiopia. *Acta Universitatis Sapientiae // Agriculture and Environment*. 2017. Vol. 9 (1). Pp. 82–94. DOI: 10.1515/ausae-2017-0008.

15. Khlestkina E. K., Zhuravleva E. V., Pshenichnikova T. A., Usenko N. I., Morozova E. V., Osipova S. V., Permyakova M. D., Afonnikov D. A., Otmakhova Yu. S. Realizatsiya geneticheskogo potentsiala sortov myagkoy pshenitsy pod vliyaniyem usloviy vneshney sredy: sovremennyye vozmozhnosti uluchsheniya kachestva zerna i khlebopekarnoy produktsii (obzor) [Realizing the genetic potential of soft wheat varieties under the influence of environmental conditions: current opportunities to improve the quality of grain and bakery products (overview)] // *Agricultural biology*. 2017. Vol. 52. No. 3. Pp. 501–514. DOI: 10.15389/agrobiol.2017.3.501rus. (In Russian.)

16. Mal'chikov. P. N., Rozova M. A., Morgunov A. I., Myasnikova M. G., Zelenskiy Yu. I. Velichina i stabil'nost' urozhaynosti sovremennogo selektsionnogo materiala yarovoy tverдой pshenitsy (*Triticum durum* Dest.) iz Rossii i Kazakhstana [The size and stability of the yield of modern breeding material of spring hard wheat (*Triticum durum* Dest.) from Russia and Kazakhstan] // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018. Vol. 22. No. 8. Pp. 939–950. DOI: 10.18699/vj18436. (In Russian.)

17. Sapega V. A., Mitrikovskiy A. Ya. Otsenka urozhaynogo i adaptivnogo potentsiala sortov gorokha v usloviyakh yuzhnoy lesostepi Severnogo Zaural'ya [Assessment of the yield and adaptive potential of pea varieties in the conditions of the southern forest-steppe of the Northern Trans-Urals] // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2020. No. 2 (58). Pp. 49–52. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-49-52. (In Russian.)

18. Novokhatin V. V., Shelomentseva T. V., Dragavtsev V. A. Novyy kompleksnyy podkhod k izucheniyu dinamiki povysheniya adaptivnosti i gomeostatichnosti u sortov myagkoy yarovoy pshenitsy (na primere dlitel'noy istorii selektsii v Severnom Zaural'ye) [A new comprehensive approach to studying the dynamics of increasing adaptability and homeostaticity in soft spring wheat varieties (using the example of a long history of breeding in the Northern Trans-Urals)] // *Agricultural biology*. 2022. Vol. 57. No. 1. Pp. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiol.2022.1.81 rus. (In Russian.)

19. Levakova O. V. Seleksionnaya rabota po sozdaniyu adaptirovannykh k Nechernozemnoy zone RF sortov yarovogo yachmenya i perspektivy razvitiya dannoy kul'tury v Ryazanskoy oblasti [Selection work on the creation of varieties of spring barley adapted to the Non-Black Earth Zone of the Russian Federation and prospects for the development of this culture in the Ryazan Region] // *Grain Economy of Russia*. 2021. No. 1 (73). Pp. 14–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-14-19. (In Russian.)

20. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Popolzuhin P. V., Anis'kov N. I., Safonova I. V. Adaptivnyy potentsial sortov yarovogo yachmenya selektsii Omskogo agrarnogo nauchnogo tsentra [Adaptive potential of varieties of spring barley breeding of the Omsk Agricultural Scientific Center] // *Zemledelie*. 2019. No. 1. Pp. 35–38. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10110. (In Russian.)

21. Cheshkova A. F., Stepochkin P. I., Aleynikov A. F., Grebennikova I. G., Ponomarenko V. I. Sravnenie statisticheskikh metodov otsenki stabil'nosti urozhaynosti ozimoy pshenitsy [Comparison of statistical methods for assessing winter wheat yield stability] // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. Vol. 24. No. 3. Pp. 267–275. DOI: 10.18699/vj20.619. (In Russian.)

22. Rekasus E. S. Sovremennyye metody otsenki produktivnosti i stabil'nosti selektsionnykh dostizheniy (obzor) [Current methods of evaluation of productivity and stability of selection achievements (overview)] // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022. Vol. 36. No. 4. Pp. 52–60. DOI: 10.53859/02352451-2022-36-4-52. (In Russian.)

23. Vydrin V. V., Fedoruk T. K. Sortovoye rayonirovaniye sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i rezul'taty sortoispytaniya po Tyumenskoy oblasti za 2021 god [Varietal zoning of crops and results of variety testing in the Tyumen region for 2021]. Tyumen: Tyumenskiy izdatel'skiy dom, 2021. 95 p. (In Russian.)

24. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experience methodology (with the basics of statistical processing of study results)]. Moscow: Al'yans, 2014. 351 p. (In Russian.)

25. Nettevich E. D. Potentsial urozhaynosti rekomendovannykh dlya vozdeleyvaniya v tsentral'nom regione RF sortov yarovoy pshenitsy i yachmenya i yego realizatsiya v usloviyakh proizvodstva [The yield potential of spring wheat and barley varieties recommended for cultivation in the central region of the Russian Federation and its implementation in production conditions] // *Doklady RASHN*. 2001. No. 3. Pp. 3–6. (In Russian.)

26. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // Crop Science. 1981. Vol. 21. No. 6. Pp. 27–29.
27. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6. No. 1. Pp. 36–40.
28. Kil'chevskiy A. V., Khotylyova L. V. Ekologicheskaya selektsiya rasteniy [Ecological plant breeding]. Minsk: Tekhnologiya, 1997. 372 p. (In Russian.)
29. Goncharenko A. A. Ekologicheskaya ustoychivost' sortov zernovykh kul'tur i zadachi selektsii [Environmental sustainability of grain Crop varieties and selection objectives] // Grain Economy of Russia. 2016. No. 2 (44). Pp. 31–36. (In Russian.)
30. Shamanin V. P., Pototskaya I. V., Shepelev S. S., Pozherukova V. E., Morgunov A. I. Morfometricheskie parametry kornevoy sistemy i produktivnost' rasteniy u sinteticheskikh liniy yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Zapadnoy Sibiri v svyazi s zasukhoustoychivost'yu [Morphometric parameters of the root system and productivity of plants in synthetic lines of spring soft wheat in Western Siberia due to drought resistance] // Agricultural biology. 2018. Vol. 53. No. 3. Pp. 587–597. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.587rus. (In Russian.)

Authors' information:

Valeriy A. Sapega¹, doctor of agricultural sciences, professor of the department of technosphere safety, ORCID 0000-0001-6268-3896, AuthorID 701424; +7 961 208-16-10, sapegavalerii@rambler.ru

Galina Sh. Tursumbekova², doctor of agricultural sciences, professor of the department of general biology, ORCID 0000-0003-4677-5277, AuthorID 455761; +7 961 209-82-93, galina_tursumbekoba@rambler.ru

¹ Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia

² Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia