

Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 220-231.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. Vol. 105, no 4. P. 220-231.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.16:631.559(470.56)
doi:10.33284/2658-3135-105-4-220

Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя по урожайности в условиях Оренбургского региона

Антонина Александровна Новикова¹, Анастасия Алексеевна Емельянова²,
Анастасия Анатольевна Пустовалова³, Ольга Сергеевна Гречишкина⁴,
Татьяна Александровна Мишенина⁵, Максим Викторович Замерзляк⁶

¹²³⁴⁵⁶Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹tony-novikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6947-9262>

²a_a_emelyanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9877-1679>

³a.p.anatolevna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0472-0019>

⁴vip.olga1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4054-3048>

⁵tanya-mishenina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2423-4111>

⁶maksim.zamerzlyak@mail.ru

Аннотация. В статье приведены данные трёхлетнего сортоиспытания ярового ячменя в условиях Оренбургского региона. Изучение проводилось на 10 сортах, в настоящее время или ранее допущенных к возделыванию в Уральском регионе сортового районирования России. Для оценки экологической адаптивности исследуемых сортов были рассчитаны экологическая пластичность (b) и экологическая стабильность (σ_a^2). Результаты расчётов проанализированы и представлены в виде таблиц и графиков. Определены наиболее экологически пластичные и стабильные сорта, показавшие высокую урожайность в изменяющихся условиях выращивания. Сорта Оренбургский 11 и Памяти Чепелева, как показали расчёты, самые пластичные из изученных сортов ярового ячменя. Сорта Анна и Донецкий 8 по результатам испытания были наиболее стабильными сортами. Сорта, обладающие высокой стабильностью, имеют постоянную урожайность на фоне переменных условий среды. В результате полученных данных можно судить об экологической пластичности и стабильности исследованных сортов ярового ячменя. По совокупности коэффициента линейной регрессии и среднеквадратического отклонения пластичной и в то же время стабильной урожайностью в различных климатических условиях обладают сорта Анна и Памяти Чепелева.

Ключевые слова: яровой ячмень, сортоиспытание, урожайность, экологическая стабильность, экологическая пластичность, адаптивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в форме субсидии на создание селекционно-семеноводческого центра, проект № 075-15-2021-563.

Для цитирования: Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя по урожайности в условиях Оренбургского региона / А.А. Новикова, А.А. Емельянова, А.А. Пустовалова, О.С. Гречишкина, Т.А. Мишенина, М.В. Замерзляк // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 220-231. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-220>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley varieties by yield in the conditions of Orenburg region

Antonina A Novikova¹, Anastasia A Emelyanova², Anastasia A Pustovalova³,
Olga S Grechishkina⁴, Tatyana A Mishenina⁵, Maxim V Zamerzlyak⁶

¹²³⁴⁵⁶Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹tony-novikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6947-9262>

²a_a_emelyanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9877-1679>

³a.p.anatolevna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0472-0019>

⁴vip.olga1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4054-3048>

⁵tanya-mishenina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2423-4111>

⁶maksim.zamerzlyak@mail.ru

Abstract. The article presents the data of a three-year variety testing of spring barley in the conditions of Orenburg region. The study was carried out on 10 varieties currently or previously approved for

cultivation in the Ural region of varietal zoning in Russia. Ecological plasticity (b_i) and ecological stability (σ_d^2) were calculated to assess the ecological adaptability of the studied varieties. The results of the calculations are analyzed and presented in the form of tables and graphs. The most environmentally plastic and stable varieties that have shown high yields in changing growing conditions have been identified. Calculations have shown that Orenburgskiy 11 and Pamyati Chepeleva varieties are the most plastic among the studied varieties of spring barley. Anna and Donetskiy 8 varieties were the most stable according to the test results. Varieties with high stability have a constant yield on the background of variable environmental conditions. As a result of the data obtained, it is possible to judge the ecological plasticity and stability of the studied spring barley varieties. Anna and Pamyati Chepeleva varieties have a plastic and at the same time stable yield in various climatic conditions according to the combination of the linear regression coefficient and the standard deviation.

Keywords: spring barley, variety testing, yield, ecological stability, ecological plasticity, adaptability

Acknowledgments: the work was supported by Department of Science and High Education of Russian Federation in the form of a subsidy for the creation of a breeding and seed center, project No. 075-15-2021-563.

For citation: Novikova AA, Emelyanova AA, Pustovalova AA, Grechishkina OS, Mishenina TA, Zamerzlyak MV. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley varieties by yield in the conditions of Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):220-231. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-220>

Введение.

Одной из главных современных проблем агроэкологии является изменение климата (Хмиль И.В. и Чернядьева Н.А., 2021; Gammans M et al., 2017, Elakhdar A et al., 2022). Засушливость и высокие температуры вегетационного периода непосредственно влияют на урожайность сельскохозяйственных культур. Приоритетным направлением в растениеводстве считается повышение урожайности зерновых культур при меньших затратах (Зотиков В.И., 2017; Дубачинская Н.Н. и др., 2020). Оценить стабильность урожайности ярового ячменя на фоне изменяющихся условий среды можно, проводя сортоиспытания. Оценка сортов по их параметрам адаптивности позволяет подобрать актуальные условия для каждого сорта. Почвенно-климатические условия, несомненно, сопряжены с урожайностью и адаптивной способностью растений – зависимость данных параметров описана в работах отечественных и зарубежных авторов (Бишарев А.А. и др., 2018; Shah SAA et al., 2022).

В Российской Федерации ячмень является второй по значимости зерновой культурой после пшеницы. Более 9 млн га на территории РФ ежегодно засеваются ячменём, зерно которого широко используется в кормовых, продовольственных и технических целях (Захарова О.А. и др., 2022). Значительное снижение урожайности ячменя связано с климатическими условиями (Hill CB et al., 2019). Таким образом, стабильная урожайность является важным критерием для выращивания растения на территории Оренбургского региона, характеризующегося очень засушливыми климатическими условиями (Гулянов Ю.А. и др., 2021).

Цель исследования.

Оценка урожайности, экологической пластичности и стабильности ярового ячменя для поиска наиболее адаптивных сортов к условиям Оренбургской области.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Десять сортов ярового ячменя: Натали, Анна, Т-12, Донецкий 8, Нутанс 553, Первоцелинник, Оренбургский Совместный, Миар, Оренбургский 11, Памяти Чепелева.

Характеристика территорий, природно-климатические условия. Почвы пахотных земель экспериментальной базы, расположенной в центральной степной зоне Оренбургской области, представляют собой южные и обыкновенные чернозёмы. Климат региона – резко континентальный с засушливым жарким вегетационным периодом.

Изучение метеорологических данных в Оренбургском районе показало, что за вегетационный период 2018 года средняя температура воздуха составила +21,2 °С, количество осадков –

23 мм, за 2019 год – соответственно +19,55 °С и 27 мм, за 2018 год – +19,9 °С и 20 мм (рис. 1). При этом среднееголетние показатели температуры и количества осадков за вегетационный период составляют +20,2 °С и 39 мм. Согласно расчёту гидротермического коэффициента увлажнения (ГТК), климатические условия 2018 и 2020 годов оказались сухими (0,34 и 0,32 соответственно). В 2019 году ГТК был выше, что характеризовало очень засушливые условия (0,45). Среднееголетнее ГТК имеет значение 0,60 – очень засушливые условия. Таким образом, 2019 год отличился приемлемыми условиями, в то время как 2018 и 2020 годы оказались более неблагоприятными.

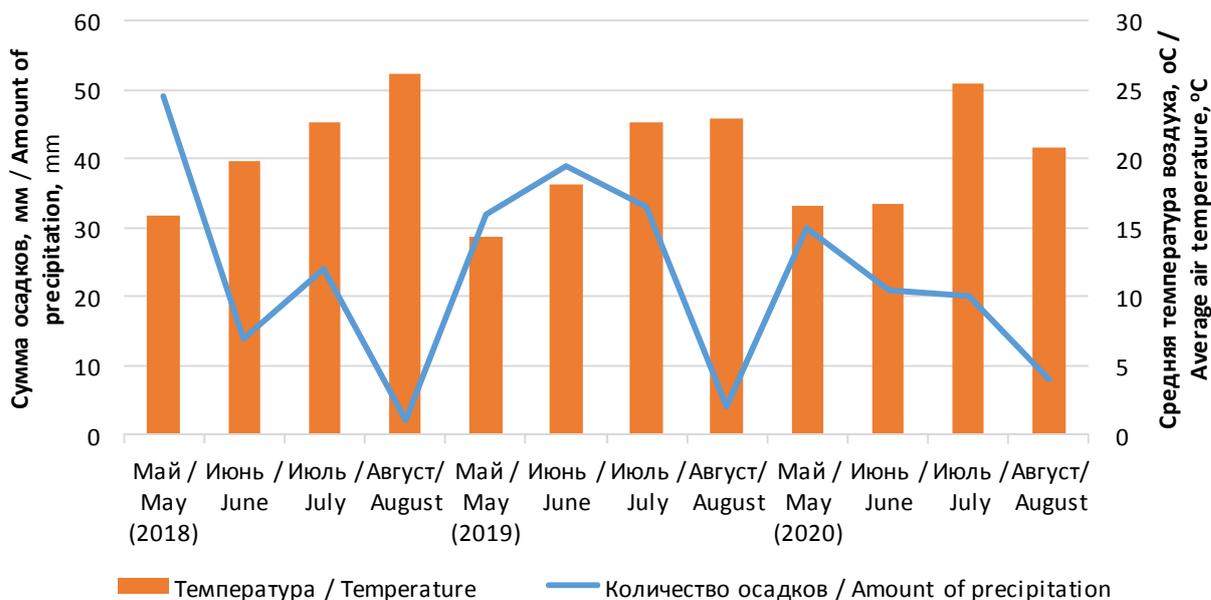


Рис. 1 – Характеристика климатических условий вегетационного периода 2018-2020 гг.
Figure 1 – Characteristics of climatic conditions of the growing season 2018-2020

Схема эксперимента. Изучение сортов проводилось в АМП Чебеньковский Оренбургского района Оренбургской области в 2018-2020 гг. Сорты ярового ячменя выращивались на делянках 16,4 м² в трёхкратной повторности. Посев проводили с нормой высева 4,5 млн всхожих семян на 1 га. Предшественник – чистый пар. Питомники конкурсного испытания закладывали в I декаде мая. В качестве стандарта в сортоиспытании был принят сорт Натали.

Изучение сортов ярового ячменя проводили по методике государственного конкурсного испытания сельскохозяйственных культур. Сорты ярового ячменя: Натали, Анна, Т-12, Первоцелинник, Миар, Оренбургский 11 выведены селекционерами Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН (ФНЦ БСТ РАН) (г. Оренбург) (Зоров А.А. и др., 2021). Сорт ячменя Памяти Чепелева создан в Красноуфимском селекционном центре. Сорт Донецкий 8 выведен на Донецкой областной государственной сельскохозяйственной опытной станции. Нутанс 553 создан на Краснокутской селекционно-опытной станции НИИСХ Юго-Востока. Оренбургский государственный аграрный университет является оригинатором сорта Оренбургский Совместный.

Оборудование и технические средства. Камеральные исследования выполнены в лаборатории селекции ярового ячменя ФНЦ на базе ЦКП БСТ РАН <https://цкп-бст.рф>. При проведении полевых работ использовали трактор МТЗ 80 (Белоруссия), отечественные: культиватор КПС-4, бороны зубовые и кольчатые катки. При посеве использовали сеялку ССФК-7 (Омский Экспериментальный Завод, Россия). Уборка сортов осуществлялась комбайном САМПО-130 (Sampro, Финляндия).

Статистическая обработка. Необходимые статистические расчёты выполнили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США). Использовали методику полевого опыта Б.А. Доспехова (1985) (Филиппов Е.Г. и др., 2021), методику государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Беляков А.М., 2020). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на уровне $P \leq 0,05$. Методика вычисления параметров экологической пластичности (b_i) и стабильности (σ_d^2) основана на методе Эберхарта и Расселла (1966) (Филиппов Е.Г. и др., 2021). Коэффициент линейной регрессии (b_i) отражает экологическую пластичность – реакцию генотипа в ответ на изменения условий выращивания растения (Малокостова Е.И., 2019). Экологическая стабильность тождественна среднеквадратичному отклонению (σ_d^2), что характеризует постоянство сорта в различных условиях среды (Nakala K et al., 2020). Данные средней урожайности по сорту (Y_i) и по году (Y_j) были получены через расчёт средней арифметической. Аналогично определена средняя урожайность по опыту (Y) – частное суммы всех показателей урожайности по сортам и годам испытания и произведения количества сортов и числа лет. Для вычисления экологической пластичности (b_i) и стабильности (σ_d^2) определены индексы условий среды (I_j) для каждого года. Данный параметр может быть положительного либо отрицательного значения. Чем выше этот индекс, тем более благоприятные условия для растений (Reynolds MP et al., 2017). Оценка экологических показателей адаптивности производится при расчёте экологической пластичности и стабильности сорта – его постоянства или изменчивости в ответ на изменяющиеся климатические условия (He T et al., 2022).

Результаты исследования.

По данным сортоиспытания ярового ячменя в условиях Оренбургского региона, средняя урожайность по исследованию составила 2,54 т/га. Зависимость урожайности сорта от климатических условий хорошо просматривается на примере всех испытываемых сортов. Так, урожайность сорта Натали, принятого за стандарт в данном исследовании, варьирует от 1,43 до 3,92 т/га (рис. 2).

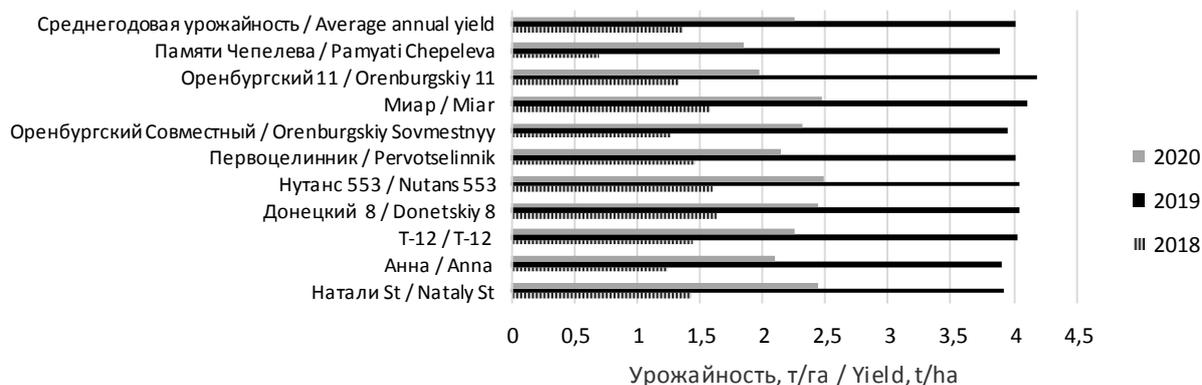


Рис. 2 – Варьирование урожайности сорта в зависимости от климатических условий
Figure 2 – Variation of the variety yield depending on climatic conditions

Стабильность производства зерна ярового ячменя обуславливается адаптивными свойствами сорта. Изменчивость условий выращивания характеризуется совокупностью индексов условий среды (I_j).

Коэффициент линейной регрессии (b_i) отражает экологическую пластичность сорта. Данный параметр характеризует реакцию сорта на улучшение условий выращивания. Значение этого коэффициента прямо пропорционально отзывчивости сорта. Низкое значение коэффициента озна-

чает, что реакция сорта на изменение условий среды слабая. Коэффициент, равный единице, означает полную зависимость урожайности от условий выращивания (табл. 1).

Таблица 1. Показатели сортов ярового ячменя за годы исследований
 Table 1. Indicators of spring barley varieties over the years of research

Сорт / Variety	Средняя урожайность по сорту, т/га / Average variety yield, t/ha			Сумма урожайности по сорту ($\sum Y_i$), т/га / The amount of variety yield ($\sum Y_i$), t/ha	Средняя урожайность по сорту (Y_i), т/га / Average variety yield (Y_i), t/ha	Коэффициент регрессии (b_i) / Regression coefficient (b_i)
	2018 г. / 2018	2019 г. / 2019	2020 г. / 2020			
Натали St / Nataly St	1,43	3,92	2,44	7,79	2,60	0,94
Анна / Anna	1,24	3,90	2,10	7,24	2,41	1,02
T-12 / T-12	1,44	4,03	2,25	7,72	2,57	0,99
Донецкий 8 / Donetskiiy 8	1,63	4,04	2,44	8,11	2,70	0,92
Нутанс 553 / Nutans 553	1,60	4,04	2,49	8,13	2,71	0,93
Первоцелинник / Pervotselinnik	1,46	4,01	2,15	7,62	2,54	0,99
Оренбургский Совместный / Orenburgskiy Sovmestnyy	1,27	3,95	2,32	7,54	2,51	1,01
Миар / Miar	1,59	4,10	2,48	8,17	2,72	0,95
Оренбургский 11 / Orenburgskiy 11	1,34	4,18	1,98	7,5	2,50	1,11
Памяти Чепелева / Pamyati Chepeleva	0,70	3,89	1,85	6,44	2,15	1,21
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,4	0,3	0,5	-	-	-
Сумма урожайности по году ($\sum Y_j$), т/га / The amount of yield per year ($\sum Y_j$), t/ha	13,7	40,06	22,5	76,26	-	-
Средняя урожайность по году (Y_j), т/га / Average yield per year (Y_j), t/ha	1,37	4,01	2,25	-	2,54	-
Индекс среды (I_j) / Environment index (I_j)	-1,17	1,47	-0,29	-	-	-

Согласно расчётам, наиболее высоким индексом условий среды характеризуется 2019 год ($I_j=1,47$). Худшие климатические условия наблюдались в 2018 году ($I_j=-1,17$). Таким образом, в 2019 году среднегодовая урожайность была на уровне 4,01 т/га, а в 2018 – 1,37 т/га.

Как наиболее оптимальные для изменчивых условий среды показали себя сорта Анна ($b_i=1,02$) и Оренбургский Совместный ($b_i=1,01$). Также приблизились к единице коэффициенты b_i сортов T-12 ($b_i=0,99$) и Первоцелинник ($b_i=0,99$). Наиболее пластичными оказались сорта Оренбургский 11 ($b_i=1,11$) и Памяти Чепелева ($b_i=1,21$), чьи реакции на улучшение условий выращивания будут максимально ощутимы.

Однако полная оценка экологической адаптивности возможна лишь в совокупности параметров пластичности и стабильности. Для расчёта среднеквадратического отклонения необходимо вычислить теоретическую урожайность сортов при оптимальных условиях выращивания (табл. 2).

Таблица 2. Теоретическая урожайность сортов ярового ячменя
 Table 2. Theoretical yield of spring barley varieties

Сорт / Variety	Средняя теоретическая урожайность по сорту (x_i), т/га / Average theoretical variety yield (x_i), t/ha		
	2018 г. / 2018	2019 г. / 2019	2020 г. / 2020
Натали St / Nataly St	1,50	3,98	2,33
Анна / Anna	1,22	3,91	2,11
T-12 / T-12	1,41	4,03	2,28
Донецкий 8 / Donetskij 8	1,62	4,05	2,43
Нутанс 553 / Nutans 553	1,62	4,08	2,44
Первоцелинник / Pervocelinnik	1,38	4,00	2,25
Оренбургский Совместный / Orenburgskiy Sovmestnyy	1,33	3,99	2,22
Миар / Miar	1,61	4,12	2,44
Оренбургский 11 / Orenburgskiy 11	1,20	4,13	2,18
Памяти Чепелева / Pamyati Chepeleva	0,73	3,93	1,80

По теоретической урожайности сортов можно сделать вывод, что 2018 год был наиболее оптимальным для выращивания сорта Нутанс 553 ($x_i=1,62$ т/га) и Миар ($x_i=1,61$ т/га). В 2019 году наиболее высокая теоретическая урожайность – у сорта Миар ($x_i=4,12$ т/га) и Оренбургский 11 ($x_i=4,13$ т/га). В 2020 году – у сортов Донецкий 8 ($x_i=2,43$ т/га), Нутанс 553 ($x_i=2,44$ т/га) и Миар ($x_i=2,44$ т/га).

Для расчёта среднеквадратического отклонения также требуются параметры отклонения фактической урожайности от теоретической (табл. 3).

Таблица 3. Отклонение фактической урожайности сортов ярового ячменя от теоретической
 Table 3. Deviation of the actual yield of spring barley varieties from the theoretical one

Сорт / Variety	Отклонение урожайности (σ_{ij}), т/га / Yield deviation (σ_{ij}), t/ha			Среднеквадратическое отклонение (σ_d^2) / Standard deviation (σ_d^2)
	2018 г. / 2018	2019 г. / 2019	2020 г. / 2020	
Натали St / Nataly St	-0,07	-0,06	0,11	0,83
Анна / Anna	0,02	-0,01	-0,01	0,14
T-12 / T-12	0,03	0	-0,03	0,24
Донецкий 8 / Donetskij 8	0,01	-0,01	0,01	0,1
Нутанс 553 / Nutans 553	-0,02	-0,04	0,05	0,39
Первоцелинник / Pervocelinnik	0,08	0,01	-0,10	0,74
Оренбургский Совместный/Orenburgskiy Sovmestnyy	-0,06	-0,04	0,10	0,71
Миар / Miar	-0,02	-0,02	0,04	0,28
Оренбургский 11 / Orenburgskiy 11	0,14	0,05	-0,20	1,44
Памяти Чепелева / Pamyati Chepeleva	-0,03	-0,04	0,05	0,41

Лучшие результаты по стабильности в соответствии с расчётами показали сорта Анна ($\sigma_d^2=0,14$) и Донецкий 8 ($\sigma_d^2=0,1$).

Расчёт коэффициента линейной регрессии и среднеквадратического отклонения дал возможность оценить экологическую пластичность и стабильность сортов ярового ячменя (рис. 3).



Рис. 3 – Коэффициенты линейной регрессии и среднеквадратические отклонения урожайности сортов ярового ячменя

Figure 3 – Linear regression coefficients and standard deviations of yield of spring barley varieties

Наиболее ценными считаются генотипы с сочетанием высокого коэффициента линейной регрессии и стремящимся к нулю среднеквадратичным отклонением. К таким относятся сорта Анна ($b_i=1,02$; $\sigma_d^2=0,14$) и Памяти Чепелева ($b_i=1,21$; $\sigma_d^2=0,41$). Их урожайность стабильна и будет стремиться к максимуму при улучшении условий среды.

Менее ценными, по данным расчётам, будут сорта, сочетающие высокие значения коэффициента линейной регрессии и среднеквадратичного отклонения – Оренбургский Совместный ($b_i=1,01$; $\sigma_d^2=0,71$) и Оренбургский 11 ($b_i=1,11$; $\sigma_d^2=1,44$). Высокая пластичность в ответ на условия среды сочетается с нестабильной урожайностью.

Обсуждение полученных результатов.

Оценка экологической пластичности и стабильности является неотъемлемой частью сортоиспытаний. Благодаря этим данным можно провести эффективную оценку адаптивных свойств сортов и сделать вывод о варьировании урожайности растений в зависимости от почвенно-климатических условий. В разные годы в различных регионах нашей страны проводили сравнительную оценку сортов ярового ячменя по показательным параметрам экологической пластичности и стабильности урожайности к изменениям условий среды (Столпивская Е.В. и др., 2018; Юсова О.А. и Николаев П.Н., 2021; Малокостова Е.И., 2019). Полученные результаты использовались в селекция ярового ячменя для создания скороспелых, засухоустойчивых, стабильно высокоурожайных сортов с хорошими технологическими качествами зерна (Филиппов Е.Г. и др., 2021).

Полученные в наших исследованиях данные позволяют рекомендовать более широкое внедрение в производство и применение в селекции (в качестве родительских форм) адаптированных к условиям возделывания экологически стабильных сортов ячменя для Оренбуржья Анна и Памяти Чепелева.

Заключение.

Согласно расчётам экологической пластичности, самые пластичные из исследованных сортов ярового ячменя – Оренбургский 11 ($b_i=1,11$) и Памяти Чепелева ($b_i=1,21$). Данные показатели свидетельствуют об отзывчивости генотипа на улучшение условий выращивания.

Наиболее стабильными сортами, по результатам испытания, оказались Анна ($\sigma_d^2=0,14$) и Донецкий 8 ($\sigma_d^2=0,1$). У этих сортов изменение урожайности более всего соответствовало линейной зависимости от индексов условий выращивания.

По совокупности коэффициента линейной регрессии и среднеквадратического отклонения следует сделать вывод, что пластичной и в тоже время стабильной урожайностью в различных климатических условиях будут обладать сорта Анна ($b_i=1,02$; $\sigma_d^2=0,14$) и Памяти Чепелева ($b_i=1,21$; $\sigma_d^2=0,41$).

Список источников

1. Беляков А.М. Система сортоиспытания как фактор обеспечения роста продуктивности сельскохозяйственных культур // Научно-агрономический журнал. 2020. № 1(108). С. 31-34. [Belyakov AM. Variety testing system as a factor of ensuring the growth of crop productivity. Scientific Agronomic Journal. 2020;1(108):31-34. (In Russ.)]. doi: 10.34736/FNC.2020.108.1.006.31-34
2. Влияние агрометеорологических условий на урожай зерна ярового ячменя в условиях Среднего Поволжья / А.А. Бишарев, С.Н. Шевченко, Е.В. Мадякин и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2(4). С. 667-670. [Bisharev AA, Shevchenko SN, Madyakin EV, et al. The influence of agrometeorological conditions on grain yield of spring barley in the conditions of Middle Volga Region. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;20(2-4):667-670. (In Russ.)].
3. Влияние агроэкологических факторов на продуктивность сортов зерновых яровых культур и эффективность их использования в семеноводстве степной зоны Предуралья / Н.Н. Дубачинская, Н.Н. Дубачинская, Н.И. Тишков и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 84. С. 147-153. [Dubachinskaya NN, Dubachinskaya NN, Tishkov NI, et al. Influence of agroecological factors on the productivity of grain crop varieties and efficiency of their use in seed production of the steppe zone of Preduralye. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020;84:147-153. (In Russ.)]. doi: 10.21515/1999-1703-84-147-153
4. Гулянов Ю.А., Поляков Д.Г., Грошева О.А. Современные вызовы устойчивому землепользованию и урожайный потенциал полевых культур в земледелии степной и лесостепной зоны России // Вопросы степеведения. 2021. № 3. С. 105-118. [Gulyanov YuA, Polyakov DG, Grosheva OA. Modern challenges to sustainable land use and the yield potential of field crops in agriculture of the steppe and forest-steppe zones of Russia. Problems of Steppe Science. 2021;3:105-118. (In Russ.)]. doi: 10.24412/2712-8628-2021-3-105-118
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospikhov BA. Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). 5-e izd., dop. i pererab. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p. (In Russ)].
6. Зотиков В.И. Роль генетических ресурсов в повышении продуктивности и экологической устойчивости растениеводства // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 2(22). С. 4-8. [Zotikov VI. The role of genetic resources in improving the productivity and environmental sustainability of crop production. Zernobobovye i krupanye kul'tury (Legumes and Groat Crops). 2017;2(22):4-8. (In Russ.)].
7. Малокостова Е.И. Результаты изучения экологической адаптивности и стабильности сортов яровой твердой пшеницы в условиях юго-востока ЦЧЗ // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4(48). С. 66-69. [Malokostova EI. Results of research of ecological adaptivity and stability of spring hard wheat in the conditions of the south-east of the central black soil zone. Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019;4(48):66-69. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2019-4-66-69
8. Оценка селекционного материала ярового ячменя по параметрам экологической пластичности / Е.В. Столпивская, Л.А. Кукушкина, Ю.Н. Землянкина, В.В. Вуколов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2(4). С. 692-695. [Stolpivskaya

EV, Kukushkina LA, Zemlyankina YuN, Vukolov VV. Assessment of breeding material of spring barley by parameters of ecological plasticity. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;20(2-4):692-695. (*In Russ.*).

9. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя / Е.Г. Филиппов, Р.Н. Брагин, А.А. Донцова, Д.П. Донцов // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 172-179. [Filippov EG, Bragin RN, Dontsova AA, Dontsov DP. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021; 3(27):172-179. (*In Russ.*). doi: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179

10. Селекция ярового ячменя в Оренбуржье / А.А. Зоров, Н.И. Тишков, Д.Н. Тишков, Т.А. Тимошенкова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6(92). С. 65-73. [Zorov AA, Tishkov NI, Tishkov DN, Tymoshenkova TA. Selection of spring barley in the Orenburg region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;6(92):65-73. (*In Russ.*). doi: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-65-73

11. Статистические исследования производства ячменя в Рязанской области и прогноз урожайности культуры / О.А. Захарова, О.В. Черкасов, К.Н. Евсенкин и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2022. Т. 14. № 1. С. 19-26. [Zakharova OA, Cherkasov OV, Evsenkin KN, et al. Statistical studies of barley production in Ryazan region and the forecast of crop yield. *Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2022;14(1):19-26. (*In Russ.*). doi: 10.36508/RSATU.2022.85.8.5.002

12. Хмилёв И.В. и Чернядьева Н.А. Борьба с изменением климата как одна из целей устойчивого развития: международно-правовой анализ // Океанский менеджмент. 2021. № 3(12). С. 15-19. [Hmil' IV, Chernjad'eva NA. Combating climate change as a sustainable development goal: international legal analysis. *Ocean Management*. 2021;3(12):15-19. (*In Russ.*).

13. Юсова О.А., Николаев П.Н. Эффективность применения различных методик для расчета пластичности и стабильности сортов на примере ярового ячменя // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1(53). С. 98-104. [Yusova OA, Nikolaev PN. Efficiency of application of various methods for plasticity and stability calculation of varieties on the example of spring barley. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;1(53):98-104. (*In Russ.*). doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-98-104

14. Elakhdar A, Solanki S, Kubo T, Abed A, Elakhdar I, Khedr R, Hamwiah A, Capochichi LJA, Abdelsattar M, Franckowiak JD, Qualset CO. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;201:104965. doi: 10.1016/j.envexpbot.2022.104965

15. Gammans M, Mérel P, Ortiz-Bobea A. Negative impacts of climate change on cereal yields: statistical evidence from France. *Environmental Research Letters*. 2017;12:054007. doi: 10.1088/1748-9326/aa6b0c

16. Hakala K, Jauhiainen L, Rajala A, Jalli M, Kujala M, Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. *Field Crops Research*. 2020;259:107956. doi: 10.1016/j.fcr.2020.107956

17. He T, Angessa T, Hill CB, Zhang X-Q, Telfer P, Westcott S, Li C. Genetic solutions through breeding counteract climate change and secure barley production in Australia. *Crop Design*. 2022;1(1):100001. doi: 10.1016/j.cropd.2021.12.001

18. Hill CB, Angessa TT, McFawn LA, Wong D, Tibbits J, Zhang XQ, Forrest K, Moody D, Telfer P, Westcott S, Diepeveen D, Li C. Hybridisation-based target enrichment of phenology genes to dissect the genetic basis of yield and adaptation in barley. *Plant Biotechnol. J*. 2019;17(5):932-944. doi: 10.1111/pbi.13029

19. Reynolds MP, Pask AJ, Hoppitt WJ, Sonder K, Sukumaran S, Molero G, Saint Pierre C, Payne T, Singh RP, Braun HJ, Gonzalez FG, et al. Strategic crossing of biomass and harvest index—source and sink—achieves genetic gains in wheat. *Euphytica*. 2017;213:257. doi: 10.1007/s10681-017-2040-z

20. Shah SAA, Luo H, Pickupana PD, Ekeze A, Soheli F, Laga H, Li C, Paynter B, Wang P. Automatic and fast classification of barley grains from images: A deep learning approach. *Smart Agricultural Technology*. 2022;2:100036. doi: 10.1016/j.atech.2022.100036

References

1. Belyakov AM. Variety testing system as a factor of ensuring the growth of crop productivity. *Scientific agronomic journal*. 2020;1(108):31-34. doi: 10.34736/FNC.2020.108.1.006.31-34
2. Bisharev AA, Shevchenko SN, Madyakin EV, et al. The influence of agrometeorological conditions on grain yield of spring barley in the conditions of Middle Volga Region. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;20(2-4):667-670.
3. Dubachinskaya NN, Dubachinskaya NN, Tishkov NI, et al. Influence of agroecological factors on the productivity of grain crop varieties and efficiency of their use in seed production of the steppe zone of Preduralye. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2020;84:147-153. doi: 10.21515/1999-1703-84-147-153
4. Gulyanov YuA, Polyakov DG, Grosheva OA. Modern challenges to sustainable land use and the yield potential of field crops in agriculture of the steppe and forest-steppe zones of Russia. *Problems of Steppe Science*. 2021;3:105-118. doi: 10.24412/2712-8628-2021-3-105-118
5. Dospekhov BA. *Field experiment methodology: (with the basics of statistical processing of research results)*. 5th ed., Add. and revised. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p.
6. Zotikov VI. The role of genetic resources in improving the productivity and environmental sustainability of crop production. *Zernobobovye i krupnanye kul'tury (Legumes and Groat Crops)*. 2017;2(22):4-8.
7. Malokostova EI. Results of research of ecological adaptivity and stability of spring hard wheat in the conditions of the south-east of the central black soil zone. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019;4(48):66-69. doi: 10.18286/1816-4501-2019-4-66-69
8. Stolpivskaya EV, Kukushkina LA, Zemlyankina YuN, Vukolov VV. Assessment of breeding material of spring barley by parameters of ecological plasticity. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;20(2-4):692-695.
9. Filippov EG, Bragin RN, Dontsova AA, Dontsov DP. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021; 3(27):172-179. doi: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179
10. Zorov AA, Tishkov NI, Tishkov DN, Tymoshenkova TA. Selection of spring barley in the Orenburg region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;6(92):65-73. doi: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-65-73
11. Zakharova OA, Cherkasov OV, Evsenkin KN, et al. Statistical studies of barley production in Ryazan region and the forecast of crop yield. *Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2022;14(1):19-26. doi: 10.36508/RSATU.2022.85.8.5.002
12. Hmil' IV, Chernjad'eva NA. Combating climate change as a sustainable development goal: international legal analysis. *Ocean Management*. 2021;3(12):15-19.
13. Yusova OA, Nikolaev PN. Efficiency of application of various methods for plasticity and stability calculation of varieties on the example of spring barley. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;1(53):98-104. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-98-104
14. Elakhdar A, Solanki S, Kubo T, Abed A, Elakhdar I, Khedr R, Hamwiah A, Capochichi LJA, Abdelsattar M, Franckowiak JD, Qualset CO. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;201:104965. doi: 10.1016/j.envexpbot.2022.104965
15. Gammans M, Mérel P, Ortiz-Bobea A. Negative impacts of climate change on cereal yields: statistical evidence from France. *Environmental Research Letters*. 2017;12:054007. doi: 10.1088/1748-9326/aa6b0c

16. Hakala K, Jauhiainen L, Rajala A, Jalli M, Kujala M, Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. *Field Crops Research*. 2020;259:107956. doi: 10.1016/j.fcr.2020.107956

17. He T, Angessa T, Hill CB, Zhang X-Q, Telfer P, Westcott S, Li C. Genetic solutions through breeding counteract climate change and secure barley production in Australia. *Crop Design*. 2022;1(1):100001. doi: 10.1016/j.cropd.2021.12.001

18. Hill CB, Angessa TT, McFawn LA, Wong D, Tibbits J, Zhang XQ, Forrest K, Moody D, Telfer P, Westcott S, Diepeveen D, Li C. Hybridisation-based target enrichment of phenology genes to dissect the genetic basis of yield and adaptation in barley. *Plant Biotechnol. J.* 2019;17(5):932-944. doi: 10.1111/pbi.13029

19. Reynolds MP, Pask AJ, Hoppitt WJ, Sonder K, Sukumaran S, Molero G, Saint Pierre C, Payne T, Singh RP, Braun HJ, Gonzalez FG, et al. Strategic crossing of biomass and harvest index—source and sink—achieves genetic gains in wheat. *Euphytica*. 2017;213:257. doi: 10.1007/s10681-017-2040-z

20. Shah SAA, Luo H, Pickupana PD, Ekeze A, Soheli F, Laga H, Li C, Paynter B, Wang P. Automatic and fast classification of barley grains from images: A deep learning approach. *Smart Agricultural Technology*. 2022;2:100036. doi: 10.1016/j.atech.2022.100036

Информация об авторах:

Антонина Александровна Новикова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекционно-генетических исследований в растениеводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8922888448

Анастасия Анатольевна Пустовалова, лаборант-исследователь, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1

Анастасия Алексеевна Емельянова, лаборант-исследователь, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89198526182

Ольга Сергеевна Гречишкина, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, зав. лабораторией селекции ярового ячменя, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89225314123

Татьяна Александровна Мишенина, специалист, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89225361286

Максим Викторович Замерзляк, агроном, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89228884496.

Information about authors:

Antonina A Novikova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of the Laboratory for Breeding and Genetic Research in Plant Growing, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89228884481.

Anastasia A Pustovalova, master student, Laboratory Researcher, Laboratory of Selection and Genetic Research in Crop Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051.

Anastasia A Emelyanova, master student, laboratory researcher, laboratory of Selection and Genetic Research in Crop Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89198526182.

Olga S Grechishkina, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Head of the Laboratory for spring barley breeding, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89225314123.

Tatyana A Mishenina, specialist, Laboratory of Selection and Genetic Research in Crop Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89225361286.

Maxim V Zamerzlyak, agronomist, Laboratory of Selection and Genetic Research in Crop Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89228884496.

Статья поступила в редакцию 17.10.2022; одобрена после рецензирования 03.11.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 17.10.2022; approved after reviewing 03.11.2022; accepted for publication 12.12.2022.