

ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ РАЗНЫХ ПЕРИОДОВ  
СОРТОСМЕНЫ МЕТОДОМ GGE BIPLLOT АНАЛИЗА

В. Г. Захаров, О. Д. Яковлева

**Реферат.** Повышение урожайного потенциала выступает одним из наиболее значимых направлений селекционной работы. Цель исследований – провести оценку урожайности и адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы различных периодов селекции с использованием метода GGE biplot анализа, выявить репрезентативные и дифференцирующие среды (годы). Работу выполняли в 2017–2024 годы в условиях Средневолжского региона, на модельном наборе из 18 сортов яровой мягкой пшеницы, которые представляют собой сортосмену культуры в Ульяновской области. Основное влияние на варьирование урожайности оказали условия среды (годы), которые объяснили 48,14% дисперсии. Вторым по значимости стал вклад сорта, составивший 35,63%. Наименьшее в эксперименте влияние на изменчивость урожайности оказывало взаимодействие «генотип × среда» – 11,63%. Оценка урожайности, адаптивности и стабильности методом GGE biplot анализа выявила, что сорта Никон, Бурлак и Экада 214, включенные в Госреестр в последние годы, имеют большую ценность. Она обусловлена их способностью к реализации генетически высокой потенциальной урожайности в сочетании со стабильностью её формирования в широком диапазоне погодно-климатических условий, в отличие от сортов более ранних периодов сортосмены – Лютесценс 62, Саратовская 36, Волжанка. Наибольшая в опыте средняя урожайность за годы исследований отмечена у сорта Никон (4,41 т/га). Результаты biplot анализа выявили его близость на графике к «идеальному» генотипу с точки зрения продуктивности и стабильности. По убыванию урожайности от Никона, расположены сорта Экада 214 (4,27 т/га), Бурлак (4,21 т/га), Ульяновская 105 (4,19 т/га), Экада 70 (3,82 т/га), Маргарита (3,79 т/га), Симбирцит (3,80 т/га), Ульяновская 100 (3,82 т/га).

**Ключевые слова:** яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорт, сортосмена, урожайность, стабильность, генотип, мегасреда.

**Введение.** Пшеница (*Triticum aestivum* L.) – одна из важнейших злаковых культур, её возделывают во многих странах мира. Для большинства населения Земли – это главная продовольственная культура, обеспечивающая поступление 20% калорий. В будущем она, скорее всего, окажет большее влияние на мировое питание, чем любая другая культура, благодаря своей способности к высокой адаптации к различным широтам и меняющимся условиям произрастания [1].

В России возделывают яровую и озимую пшеницу, которая занимает более половины всех посевных площадей сельскохозяйственных культур. В 2023 году на долю яровой пришлось около 47% посевной площади под пшеницей, составившей 29,7 млн га.

Увеличение экологической устойчивости сортов и агроценозов служит ключевым фактором интенсификации производства продукции растениеводства [2]. Современные сорта должны обладать не только высокой урожайностью, но и устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды, то есть быть высоко адаптивными и высоко гомеостатичными, при этом высокая адаптивность сорта может обеспечить стабильность урожая в различных экологических условиях [3]. В то же время известно, что между потенциальной продуктивностью и экологической устойчивостью культурных растений часто наблюдают отрицательную корреляцию. В результате односторонней селекции на высокую потенциальную продуктивность может происходить снижение как общей, так и специфической

экологической устойчивости сортов и гибридов [4].

Средняя прибавка урожая у новых сортов обусловлена главным образом заметным преимуществом их по продуктивности в наиболее благоприятные годы. В то же время при неблагоприятных условиях новейшие сорта могут уступать по урожайности на ту же величину. Лишь единичные сорта при этом сохраняют более высокий минимальный порог урожайности. Следовательно, параллельно с повышением потенциала продуктивности пшеницы стала проявляться тенденция к снижению стабильности урожайности [5]. В этой связи повышение урожайности и её стабильности выступает одной из главных целей селекционной работы.

Для достижения этой цели, необходимо решить три ключевые задачи: увеличение потенциала урожайности (максимальная урожайность для конкретного генотипа в оптимальных условиях), защита этого потенциала и повышение эффективности использования ресурсов для обеспечения устойчивости [6].

Знание изменений в растениях, связанных с повышением урожайности возделываемых культур, имеет большое значение для понимания факторов, его ограничивающих, и разработки стратегий будущего генетического улучшения растений. Наиболее распространенный подход включает ретроспективные исследования, состоящие из прямого сравнения уровня продуктивности и адаптивности старых и современных сортов, изучаемых в одном опыте.

Для оценки результатов исследований в последние годы разработано множество методов, как отечественных исследователей, так и зарубежных, позволяющих оценивать стабильность генотипов в разных средах испытания.

В то же время неэффективные методы анализа взаимодействия генотипа с окружающей средой могут создавать трудности для селекционеров, стремящихся выбрать генотипы с наилучшими характеристиками в различных средах. В последнее время для оценки селекционного материала часто используют анализ АММИ (additive main effects and multiplicative interaction), который применяют для оценки взаимодействия «генотип – среда» с использованием данных урожайности, полученных в многосредовых испытаниях. Эта модель объединяет аддитивные компоненты основных эффектов генотипов и сред, а также мультипликативные компоненты их взаимодействия.

Урожайность отдельного генотипа в каждой из сред (лет испытания) можно представить как сумму эффекта внешней среды (environment main effect (E)), эффекта генотипа (genotype main effect (G)) и взаимодействия генотипа со средой (genotype-environment interaction (GE или GEI)) [7, 8].

Эффекты генотипа и его взаимодействие со средой необходимо непременно принимать во внимание совместно при принятии решений о дальнейшем использовании исходного или селекционного материала. Учитывая это, W. Yan и его коллеги объединили эти эффекты в одну комбинацию, которую назвали GGE [9].

Получаемые в результате проведения экологических испытаний в течение ряда лет в различных средах значения средней урожайности нередко сложно анализировать по причине изменения ранжирования сортов в зависимости от складывающихся условий. GGE biplot анализ позволяет значительно облегчить и ускорить оценку анализируемых наборов сортов путем визуализации данных средней урожайности и стабильности. Кроме того, GGE biplot позволяет ранжировать генотипы и условия на основе фактических данных относительно гипотетических «идеальных» генотипов или условий. Важным аспектом служит возможность визуализации полученных результатов через построение графика зависимости двух основных компонентов (principal component (PC1 и PC2) благодаря сингулярному расположению данных. В последние годы этот метод анализа широко применяют на различных культурах и в разных экологических условиях [10, 11, 12].

Цель исследования – провести оценку урожайности и адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы различных периодов селекции с использованием метода GGE biplot анализа, выявить репрезентативные и дифференцирующие среды (годы).

**Условия, материалы и методы.** Работу выполняли в 2017–2024 годы на опытном поле Ульяновского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН. Почва опытного участка представлена черноземом слабо выщелоченным тяжелосуглинистым. Мощность гумусового горизонта составляет 0,79 м, содержание гумуса варьирует от 5,3 до 5,9%, а реакция среды (рН водной вытяжки) верхнего слоя – от 5,5 до 7,0.

Посев во все годы исследования проводили сеялкой центрального высева СН-10Ц. В качестве предшественника использовали сидеральный пар, повторность четырёхкратная, площадь делянок составляла 15,1...18,4 м<sup>2</sup>. Норму высева устанавливали из расчёта 5,5 млн всхожих зерен на 1 га. Закладку опытов проводили согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [13]. Агротехника возделывания – общепринятая для культуры. Учет урожайности сортов осуществляли методом сплошного обмолота делянок с использованием комбайна САМПО-130, с последующим приведением зерна к стандартной влажности и чистоте.

Для оценки урожайности и стабильности сортов, взаимодействия генотипа и среды, анализа дифференцирующей способности лет испытания, а также распределения генотипов и сред в главных компонентах использовали GGE biplot анализ в программе Ptools.

В качестве исходного материала для исследований использовали модельный набор, состоящий из 18 сортов яровой мягкой пшеницы разных периодов сортосмены в Ульяновской области: Лютеценс 62, Саратовская 36, Волжанка, Кутулукская, Симбирка, Ишеевская, Л 503, Землячка, Экада 6, Симбирцит, Экада 70, Маргарита, Экада 109, Ульяновская 100, Ульяновская 105, Бурлак, Экада 214 и Никон.

В период проведения исследований гидро-термические условия отличались значительной контрастностью. Лучшими для роста и развития растений, а также для реализации генетического потенциала урожайности яровой пшеницы были 2017 году (ГТК = 1,4, норма 1,0) и 2022 году (ГТК = 1,6), умеренно благоприятными – 2020 году (ГТК = 1,3) и 2023 году (ГТК = 0,5), удовлетворительным – 2021 году (ГТК = 0,5). В целом близкими по метеоусловиям, но различающимися по их неблагоприятным воздействиям в отдельные фазы развития растений были 2018 году (ГТК = 0,47), 2019 году (ГТК = 1,0) и 2024 году (ГТК = 0,9).

Различающиеся погодные условия позволили достоверно оценить анализируемые среды по дифференцирующей способности, а сорта по урожайности, стабильности её формирования и адаптивности.

**Результаты и обсуждение.** Максимальная в опыте средняя урожайность изучаемых сортов сформировалась в 2017 году (4,38 т/га), минимальная (2,24 т/га) – в 2021 году (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность сортов яровой пшеницы (2017–2024 годы), т/га

| Сорт             | Код сорта | Год, код года |            |            |            |            |            |            |            | Среднее по сорту |
|------------------|-----------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
|                  |           | 2017<br>E1    | 2018<br>E2 | 2019<br>E3 | 2020<br>E4 | 2021<br>E5 | 2022<br>E6 | 2023<br>E7 | 2024<br>E8 |                  |
| Лютеценс 62      | G1        | 3,32          | 2,29       | 2,48       | 3,20       | 1,71       | 2,50       | 2,77       | 1,43       | 2,46             |
| Саратовская 36   | G11       | 3,26          | 2,60       | 3,01       | 3,09       | 2,12       | 3,24       | 3,29       | 2,00       | 2,83             |
| Волжанка         | G12       | 3,21          | 2,48       | 2,68       | 3,17       | 2,10       | 2,94       | 3,23       | 1,87       | 2,71             |
| Кутулукская      | G13       | 3,83          | 2,94       | 3,23       | 3,38       | 2,13       | 3,67       | 3,59       | 2,23       | 3,13             |
| Симбирка         | G14       | 4,45          | 3,32       | 3,46       | 3,36       | 2,27       | 3,87       | 3,51       | 2,48       | 3,34             |
| Ишеевская        | G15       | 3,61          | 2,94       | 3,32       | 3,51       | 2,09       | 3,52       | 3,34       | 2,39       | 3,09             |
| Л-503            | G16       | 3,55          | 3,22       | 3,21       | 3,20       | 2,15       | 3,71       | 3,60       | 2,34       | 3,12             |
| Землячка         | G17       | 4,23          | 3,55       | 3,25       | 3,79       | 2,45       | 4,02       | 3,89       | 2,63       | 3,48             |
| Экада 6          | G18       | 4,55          | 3,55       | 3,32       | 3,92       | 2,37       | 3,70       | 3,55       | 2,26       | 3,40             |
| Симбирцит        | G2        | 5,04          | 3,97       | 3,76       | 3,89       | 2,23       | 4,53       | 4,14       | 2,87       | 3,80             |
| Экада 70         | G3        | 5,04          | 3,70       | 3,69       | 4,10       | 2,23       | 4,57       | 3,98       | 3,28       | 3,82             |
| Маргарита        | G4        | 4,95          | 3,74       | 3,74       | 4,10       | 2,05       | 4,82       | 3,78       | 3,15       | 3,79             |
| Экада 109        | G5        | 5,14          | 3,30       | 3,43       | 3,99       | 2,30       | 4,67       | 4,03       | 3,27       | 3,77             |
| Ульяновская 100  | G6        | 4,47          | 3,25       | 3,61       | 4,56       | 2,56       | 4,26       | 4,02       | 3,86       | 3,82             |
| Ульяновская 105  | G7        | 4,96          | 3,32       | 4,28       | 5,14       | 2,37       | 4,58       | 4,29       | 4,57       | 4,19             |
| Бурлак           | G8        | 4,94          | 3,69       | 4,28       | 4,15       | 2,15       | 5,05       | 4,60       | 4,82       | 4,21             |
| Экада 214        | G9        | 5,10          | 3,73       | 4,05       | 4,68       | 2,58       | 4,83       | 4,59       | 4,59       | 4,27             |
| Никон            | G10       | 5,22          | 4,33       | 4,25       | 4,58       | 2,44       | 4,97       | 4,70       | 4,79       | 4,41             |
| Среднее по годам |           | 4,38          | 3,33       | 3,50       | 3,88       | 2,24       | 4,08       | 3,83       | 3,05       | 3,54             |

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа выявили значительные различия в урожайности среди генотипов, сред и их взаимодействий. Основное влияние на

изменчивость урожайности оказали условия среды (годы) – 48,14% от величины общей дисперсии. Вклад сорта составил 35,63%, взаимодействия «генотип × среда» – 11,63% (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа урожайности сортов яровой пшеницы (2017–2024 годы)

| Источник варьирования | SS     | Df  | ms    | F <sub>факт.</sub> | F <sub>таб.</sub> | Доля, % |
|-----------------------|--------|-----|-------|--------------------|-------------------|---------|
| Среда (E)             | 173,49 | 7   | 24,78 | 456,83             | 2,0               | 48,14   |
| Сорт (G)              | 128,42 | 17  | 7,55  | 139,24             | 1,7               | 35,63   |
| Взаимодействие (G×E)  | 41,92  | 119 | 0,35  | 6,49               | 1,3               | 11,63   |
| Случайное             | 15,5   | 286 | 0,05  | -                  | -                 | -       |

Две первые главные компоненты (PC1 и PC2), представленные на графике (рис. 1), объясняют 94,3% вариации, связанной с взаимодействием генотипа и среды.

Острые углы, образованные векторами среды, свидетельствуют о том, что, годы проведения исследований коррелировали между собой, даже при условии контрастности сложившихся агрометеорологических условий, что в первую очередь обусловлено закладкой опытов в одной агроэкологической точке. При этом, чем меньше угол между векторами среды, тем более схожи они по уровню формирования урожайности.

Большая длина вектора E8 (2024 год) позволила отнести его к наиболее информативной среде, вторым по дифференцирующей

способности выступал 2022 году (E6). Наименьшей в эксперименте дифференцирующей способностью выделился 2021 году (E5). Информативность (различительная способность) сред E3 (2019 год) и E7 (2023 год) была одинаковой.

Расположение векторов относительно метки идеальной тестовой среды, обозначенной точкой в центре концентрических кругов, показывает, что наиболее репрезентативными, но при этом малоинформативными, были условия 2019 (E3) и 2023 (E7) годы, векторы условий которых находятся ближе всего к средней оси АЕА.

В рамках одной мегасреды генотипы необходимо оценивать, как по средней урожайности, так и по стабильности их проявления в различных условиях испытания.

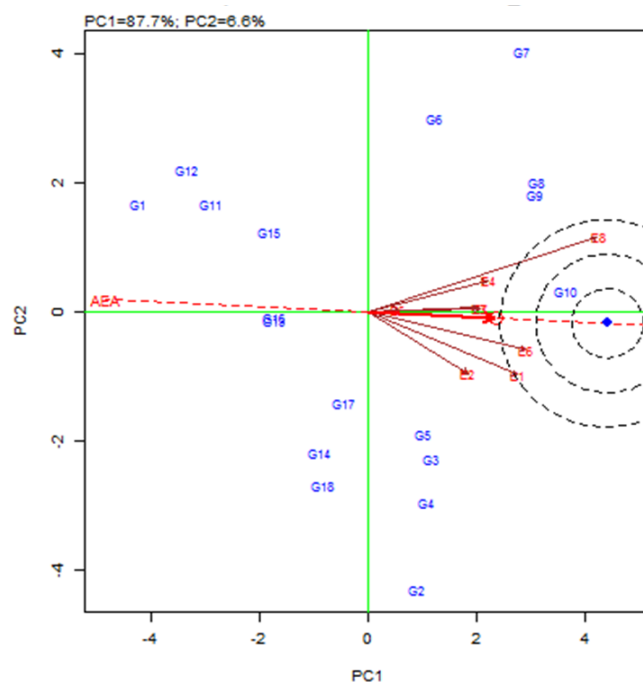


Рис. 1 – GGE biplot дифференцирующей способности и репрезентативности тестовых сред относительно «идеальной» среды

Расположение на линии продуктивности (абсцисса АЕА) проекций маркеров показывает (рис. 2), что наибольшая в опыте урожайность в среднем по средам была у сорта Никон (G10). К началу линии, по

убыванию урожайности от Никона, располагаются сорта Экада 214 (G9), Бурлак (G8), Ульяновская 105 (G7), Экада 70 (G3), Маргарита (G4), Симбирцит (G2), Ульяновская 100 (G6).

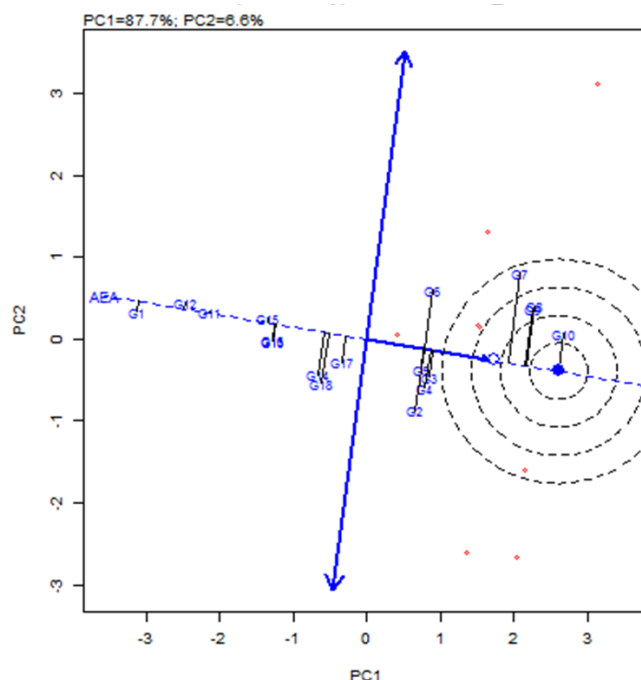


Рис. 2 – Biplot график урожайности и стабильности сортов яровой пшеницы относительно «идеального» генотипа

Сорта Лютеценс 62 (G1), Волжанка (G12), Саратовская 36 (G11), векторы которых расположены в начале линии продуктивности (АЕА), формировали в среднем по анализируемым средам наименьшую в эксперименте

урожайность. Эти три сорта представляют начальные этапы сортосмены культуры.

Стабильность сортов на графике оценивают по их отношению к абсциссе, относительно ординаты АЕА (линия с двойной стрелкой).

Чем короче вектора генотипов, тем соответственно выше их стабильность, а чем дальше они расположены от этой линии, в одну или другую сторону – менее стабильными. В число сортов, характеризующихся пониженной стабильностью формирования урожайности, входят сорта различных периодов сортосмены, в том числе отнесенные к последним этапам: Ульяновская 105 (G7), Ульяновская 100 (G6), Симбирцит (G2). Более высокая стабильность среди современных сортов присуща следующим: Никон (G10), Бурлак (G8), Экада 214 (G9), Экада 109 (G5), Экада 70 (G3) и Маргарита (G4).

Концентрические круги на biplot графике урожайности и стабильности отображают ранжирование сортов по отношению к «идеальному» генотипу, который находится в центре в виде точки. По определению «идеальный» генотип должен сочетать в себе способность к реализации максимальной средней урожайности, с высокой её стабильностью, полученной в разных средах испытаний. Судя по графику, наиболее близко к параметрам «идеального» генотипа расположен сорт Никон, как с точки зрения продуктивности, так и стабильности. В зоне концентрических кругов находятся также сорта Бурлак и Экада 214, что позволяет отнести их к лучшим по адаптивности. При этом высокая стабильность имеет смысл только тогда, когда она связана с высокой средней урожайностью в анализируемых средах. Сорта Лютеценс 62, Волжанка, Саратовская 36 и Ишеевская, согласно их расположению на линии АЕА, высокостабильны, однако их сортовая ценность гораздо ниже, по сравнению с расположенными в правой части

графика, даже несмотря на то, что последние показывают меньшую стабильность.

Принимая во внимание, что в исследовании GGE biplot анализу были подвергнуты данные урожайности сортов, относящихся к разным периодам сортосмены яровой пшеницы, то об уровне урожайности и адаптивности «старых» и «новых» селекционных достижений можно судить по их расположению на биплоте. Сравнение длин векторов сортов, исходящих от линии АЕА, показывает, что средний уровень стабильности у новых сортов ниже. При этом более высокие значения средней урожайности свидетельствуют об их большей ценности.

Рассмотрение взаимодействия генотип×среда у сортов, включенных в начальные периоды сортосмены, показывает, что у них низкая ожидаемая урожайность проявлялась во всех средах, тогда как у сортов последних периодов сортосмены векторы разнонаправлены. Это позволяет подбирать сорта, пригодные для использования в различных по интенсивности технологиях возделывания. Более того, такие сорта, как Никон, Бурлак и Экада 214 сочетают высокую потенциальную урожайность со стабильностью её формирования.

Подбор сортов, имеющих отличия по взаимодействию генотипа со средой, имеет значение для достижения стабилизации производства зерна. С использованием biplot анализа на двухмерном графике проведено сравнение сходства генотипов (рис. 3). На графике в центре расположен виртуальный генотип, имеющий среднюю урожайность в каждой из сред. Степень отличия анализируемых сортов от среднего виртуального генотипа по урожайности определяется длиной векторов.

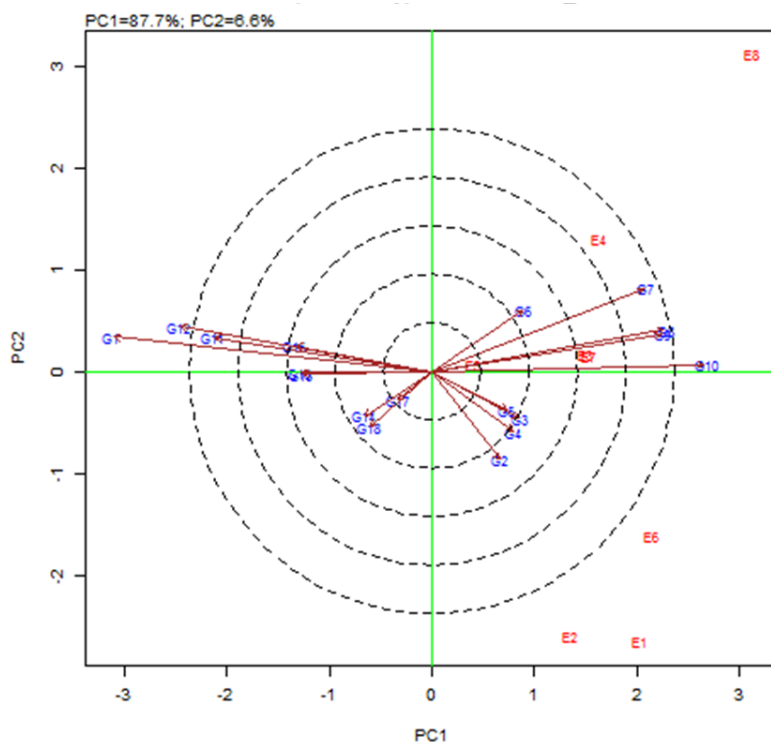


Рис. 3 – Двухмерный GGE biplot график сравнения сходства генотипов

Генотипы с длинными векторами выступают либо лучшими (G7, G8, G9, G10), либо худшими (G1, G11, G12), либо самыми нестабильными (G14, G18). Наименьшие острые углы между несколькими группами генотипов (G6, G7, G8, G9, G10; G2, G3, G4, G5; G14, G17, G18; G1, G11, G12, G15) отражают сходную реакцию у них на совокупность факторов внешней среды. Между векторами генотипов G7 и G1 образован тупой угол, что свидетельствует об их различной реакции на условия внешней среды.

В проведенных ранее исследованиях, нами, эмпирически было выделено в Ульяновской области шесть периодов сортосмены яровой мягкой пшеницы, начиная с первого сорта научной селекции – Лютеценс 62 [14]. Они разделены по морфотипу, использованию исходного материала при их создании и продолжительности возделывания в производстве. Селекционные достижения, включенные в пятый и шестой этапы, в последние годы широко используют в различных регионах России.

Визуализация GGE biplot анализа (рис. 3) дает основание в целом подтвердить верность эмпирического разделения сортов, составляющих сортосмену на периоды. Вместе с тем, полученные в этом исследовании результаты позволяют выявить близость отдельных сортов, отнесенных к одному периоду, к сортам, составляющим другой период по сходству взаимодействия «генотип – среда».

Например, сорт Экада 109 (G5) нами был включен в шестой период, однако biplot график сходства генотипов выявил его близость к сортам пятого периода Симбирцит, Экада 70,

Маргарита (G2, G3, G4). Сорт Экада 6 (G18), по взаимодействию генотип×среда ближе к сортам 4 этапа сортосмены. Сорта Симбирка (G14) и Землячка (G17) показали высокую степень сходства (см. рис. 3), близкую стабильность и среднюю урожайность (см. рис. 2), но по времени допуска в производство отнесены к разным периодам. Результаты, представленные на графиках, выявили обоснованность выделения шестого этапа сортосмены. В него, по нашему мнению, необходимо включить сорта, различающиеся по биологическим особенностям, способные реализовать генетический потенциал продуктивности в благоприятных условиях, и проявлять высокую адаптивность в менее благоприятных. Реализация этого положения отчетливо прослеживается на приведенных рисунках. Поэтому введение дополнительного критерия деления на сортосмены, позволит в дальнейших исследованиях провести корректировку граничных сортов, включенных в тот, или иной этап.

GGE biplot «что где выиграло» – это расширенная функция парных сравнений, которая позволяет визуально определить преимущества различных генотипов в отдельных и групповых средах (рис. 4).

Генотипы, расположенные в вершинах многоугольника, сформированы либо лучшими, либо самыми худшими в одной или нескольких средах. На рисунке восемь анализируемых сред (годы), которые разделены на пять секторов, образующих мегасреды. Сорт Ульяновская 105 (G7) был лучшим в средах E4, E8, а сорт Никон (G10) в остальных средах, образовавших единую мегасреду, в сектор которой также входят генотипы G8, G9, G5 и G3.

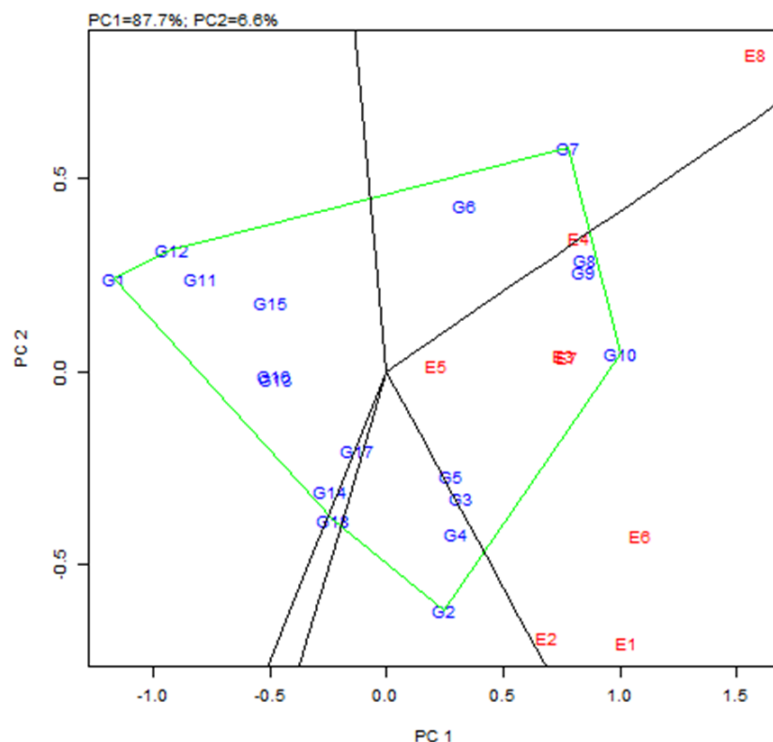


Рис. 4 – GGE biplot «кто где выиграл»

Генотипы, находящиеся в секторах без сред, уступают другим сортам по адаптивности.

**Выводы.** Основное влияние на изменчивость урожайности набора изучаемых сортов оказали условия среды (годы) – 48,14% от величины общей дисперсии. Вклад сорта составил – 35,63%, взаимодействия «генотип × среда» – 11,63%.

Наибольшая в опыте урожайность в среднем по всем анализируемым средам отмечена у сорта Никон, который наиболее близок к «идеальному» генотипу, как по продуктивности, так и стабильности, а наименьшая – у

сортосмены, Лютесценс 62, Волжанка, Саратовская 36 при высокой стабильности её формирования. Уровень стабильности новых сортов ниже, однако значительно более высокая средняя урожайность свидетельствует о их большей ценности.

Сравнение генотипов по сходству взаимодействия «генотип – среда» позволило подтвердить верность эмпирического разделения сортов, составляющих сортосмену, на периоды и может послужить дополнительным критерием распределения сортов.

### Литература

1. Braun H.J., Atlin G., Payne T. Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change // In: M. P. Reynolds (Eds.). Climate change and crop production, CABI climate change series. Surrey, UK. 2010. P. 115–138. doi: 10.1079/9781845936334.0115.
2. Галушко Н.А., Соколенко Н.И., Батагова Е. А. Адаптивные особенности новых сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ // Земледелие. 2023. №6. С.41–44. doi: 10.24412/0044-3913-2023-6-41-44.
3. Сапега В.А. Урожайность и параметры экологической пластичности среднеспелых сортов яровой пшеницы при их использовании по различным предшественникам // Земледелие. 2017. № 4. С. 34–36.
4. Сафонова И.В., Анисков Н.И. Эффективность использования некоторых критериев определения адаптивности на примере сортов озимой ржи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. № 184 (2). С. 66–75. doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-66-75.
5. Величина и стабильность урожайности современного селекционного материала яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) из России и Казахстана / П.Н. Мальчиков, М.А. Розова, А.И. Моргунов и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(8). С. 939–950. doi: 10.18699/VJ18.43.
6. Иващенко В.Г., Павлюшин В.А. Интенсификация растениеводства и эколого-продукционный баланс агроэкосистем: снижение плодородия почв и фитосанитарная дестабилизация // Вестник защиты растений. 2017. № 3(93). С. 5–16.
7. Гудзенко В.Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. №23(1). С. 110–118. doi: 10.18699/VJ19.469.
8. Мальчиков П. М., Мясникова М. Г., Чахеева Т. В. Графический (с применением GGE biplot методов) анализ урожайности и её стабильности в процессе селекции яровой твердой пшеницы в Среднем Поволжье // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. №6. С. 11–16. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_6\_11.
9. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype – by – environment data / W. Yan, M.S. Kang, B. Ma, et al. // Crop Science. 2007. Vol. 47. P. 643–655. doi:10.2135/cropsci2006.06.0374.
10. Пономарев С.Н., Пономарева М. Л., Тагиров М.Ш. Оценка фенотипической стабильности сортов озимой тритикале по урожайности зерна методом биplot-анализа // Земледелие. 2018. № 8. С. 34–38. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10810.
11. Siddi S., Anil D., Lingaiah N. GGE biplot analysis for stability in diverse maturity groups of rice (*Oryza sativa* L.) advanced lines // International Journal of Bio-Resource & Stress Management. 2022. Vol. 13.No. 1. P.114–121. doi :23910/1.2022.2597.
12. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Урожайность зерна селекционных линий яровой твердой пшеницы, созданных в селекционных центрах России в условиях Самарского НИИСХ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 4(52). С. 128–138. doi: 10.24412/2309-348X-2024-4-128-138.
13. Федин М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М.: ВНИИСХ им. В. Р. Вильямса, 1989. Вып. 2. 194 с.
14. Захаров В.Г., Яковлева О. Д. Результативность селекции яровой мягкой пшеницы на повышение урожайности (на примере сортосмены по Ульяновской области) // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3(47). С. 59–65. doi: 10.18286/1816-4501-2019-3-59-65.

### Сведения об авторах:

Захаров Владимир Григорьевич – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела селекции, e-mail: ulniish@mail.ru

Яковлева Оксана Дмитриевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции, e-mail: jakovleva\_niish@mail.ru

Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Ульяновский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН, пос. Тимирязевское, Ульяновская обл., Россия.

### ASSESSMENT OF ADAPTABILITY OF SPRING WHEAT VARIETIES AT DIFFERENT VARIETY MATCHING PERIODS USING GGE BIPLLOT ANALYSIS

V. G. Zakharov, O. D. Yakovleva

**Abstract.** Increasing yield potential is one of the most significant areas of breeding. The purpose of research was to evaluate the productivity and adaptability of spring soft wheat varieties at different breeding periods using GGE biplot analysis and to identify representative and differentiating environments (years). The study was carried out from 2017 to 2024 in Middle Volga region, using a model set of 18 spring soft wheat varieties representing the variety changeover

period in Ulyanovsk region. Environmental conditions (years) had the primary influence on yield variation, explaining 48.14% of the variance. The second most significant contribution was from the variety, accounting for 35.63%. The interaction “genotype × environment” had the smallest effect on yield variability in the experiment – 11.63%. GGE biplot analysis assessing yield, adaptability and stability revealed that Nikon, Burlak and Ekada 214 varieties, included in the State Register in recent years, are highly valuable. This is due to their ability to realize genetically high yield potential combined with the stability of yield formation across a wide range of weather and climate conditions, unlike varieties from earlier periods of variety rotation – Lutetsens 62, Saratovskaya 36 and Volzhanka. Nikon variety demonstrated the highest average yield over the years of research (4.41 t/ha). Biplot analysis revealed its closeness to the “ideal” genotype in terms of productivity and stability. In descending order of yield from Nikon, the following varieties are listed: Ekada 214 (4.27 t/ha), Burlak (4.21 t/ha), Ulyanovskaya 105 (4.19 t/ha), Ekada 70 (3.82 t/ha), Margarita (3.79 t/ha), Simbirtsit (3.80 t/ha) and Ulyanovskaya 100 (3.82 t/ha).

**Key words:** spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.), variety, variety rotation, yield, stability, genotype, mega-environment.

#### References

1. Braun HJ, Atlin G, Payne T. Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: M. P. Reynolds (Eds.). Climate change and crop production, CABI climate change series. Surrey. UK. 2010; 115-138 p. doi: 10.1079/9781845936334.0115.
2. Galushko NA, Sokolenko NI, Batagova EA. [Adaptive features of new varieties of soft winter wheat bred by North Caucasus Federal Scientific Center]. *Zemledelie*. 2023; 6. 41-44 p. doi: 10.24412/0044-3913-2023-6-41-44.
3. Sapega VA. [Productivity and parameters of ecological plasticity of mid-season spring wheat varieties when using them on different predecessors]. *Zemledelie*. 2017; 4. 34-36 p.
4. Safonova IV, Aniskov NI. [Efficiency of using some criteria for determining adaptability on the example of winter rye varieties]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2023; 184 (2). 66-75 p. doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-66-75.
5. Malchikov PN, Rozova MA, Morgunov AI. [The magnitude and stability of the yield of modern breeding material of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) from Russia and Kazakhstan]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2018; 22(8). 939-950 p. doi: 10.18699/VJ18.43.
6. Ivashchenko VG, Pavlyushin VA. [Intensification of crop production and ecological and productive balance of agroecosystems: reduction of soil fertility and phytosanitary destabilization]. *Vestnik zashchity rasteniy*. 2017; 3(93). 5-16 p.
7. Gudzenko VN. [Statistical and graphical (GGE biplot) assessment of adaptive capacity and stability of winter barley breeding lines]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2019; 23(1). 110-118 p. doi: 10.18699/VJ19.469.
8. Malchikov PM, Myasnikova MG, Chakheeva TV. Graphic (using GGE biplot methods) analysis of yield and its stability in the process of breeding spring durum wheat in Middle Volga region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022; Vol.36. 6. 11-16 p. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_6\_11.
9. Yan W, Kang MS, Ma B. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype – by – environment data. *Crop Science*. 2007; Vol.47. 643-655 p. doi:10.2135/cropsci2006.06.0374.
10. Ponomarev SN, Ponomareva ML, Tagirov MSh. [Evaluation of phenotypic stability of winter triticale varieties for grain yield by biplot analysis]. *Zemledelie*. 2018; 8. 34-38 p. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10810.
11. Siddi S, Anil D, Lingaiah N. GGE biplot analysis for stability in diverse maturity groups of rice (*Oryza sativa* L.) advanced lines. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management*. 2022; Vol.13. No.1. 114-121 p. doi :23910/1.2022.2597.
12. Malchikov PN, Myasnikova MG. [Grain yield of spring durum wheat breeding lines developed in Russian breeding centers of Samara Research Institute of Agriculture]. *Zernobobovye i krupyanye kultury*. 2024; 4(52). 128-138 p. doi: 10.24412/2309-348X-2024-4-128-138.
13. Fedin MA. [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. *Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kuku-ruza i kormovye kul'tury*. Moscow: VNIISKh im. V.R.Vilyamsa. 1989; issue 2. 194 p.
14. Zakharov VG, Yakovleva OD. [Effectiveness of spring soft wheat breeding to increasing of yield (using variety change in Ulyanovsk region as an example)]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 3(47). 59-65 p. doi: 10.18286/1816-4501-2019-3-59-65.

#### Authors:

Zakharov Vladimir Grigorevich – Doctor of Agricultural Sciences, chief researcher of Selection Department, e-mail: ulniish@mail.ru

Yakovleva Oksana Dmitrievna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Selection Department, e-mail: jakovleva\_niish@mail.ru

Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture - branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Timiryazevskoe settlement, Ulyanovsk region, Russia.