 © Авторы статьи / Authors of the article

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО/GENERAL AGRICULTURE AND CROP PRODUCTION

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.16 EDN: RRYZXZ

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ДОЗЫ УДОБРЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Научная статья

Баранов С.Г.[1,] *, Винокуров И.Ю.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-7778-4689;
[2] ORCID : 0000-0003-1423-2323;
[1] Владимирский государственный университет, Владимир, Российская Федерация
[2] Верхневолжский федеральный аграрный научный центр, Суздаль, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bar.serg58[at]gmail.com)

Предложена: 08.09.2026; Принята: 29.09.2026; Опубликована: 19.10.2026

Аннотация

Изучено влияние четырех способов обработки почвы и двух доз аммофоса NPK на стабильность развития яровой пшеницы на территории Суздальского района в 2026 г. Использовался метод нормализующей разности и геометрической морфометрии. В последнем методе использовались координаты ХУ 13 пар симметричных точек, выставляемых по контуру листовой пластины. Анализ на присутствие направленной асимметрии показал этот вид асимметрии только при использовании нормирующей разности. Однофакторный дисперсионный анализ показал, что первый способ обработки почвы (отвальный) вызывал наименьшую величину флуктуирующей асимметрии (ФА = 0,056 ± 0,01), а третий способ — комбинированный ярусный — наибольшее значение ФА (0,1 ± 0,01; $p < 0,05$). В то же время контрольные растения испытывали пониженную стабильность развития (ФА = 0,09 ± 0,01). Авторы полагают, что отвальный способ создавал наилучшее условие для стабильного развития яровой пшеницы в условиях серых лесных почв Суздальского ополья, благодаря высокой аэрации корней, угнетению сорной растительности и снижению объема патогенной микрофлоры.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, стабильность развития, яровая пшеница, обработка почвы.

THE INFLUENCE OF SOIL TILLAGE METHODS AND FERTILISER RATES ON THE STABILITY OF SPRING WHEAT GROWTH

Research article

Baranov S.G.[1,] *, Vinokurov I.Y.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-7778-4689;
[2] ORCID : 0000-0003-1423-2323;
[1] Vladimir State University, Vladimir, Russian Federation
[2] Upper Volga Federal Agrarian Scientific Center, Suzdal, Russian Federation

* Corresponding author (bar.serg58[at]gmail.com)

Suggested: 08.09.2026; Accepted: 29.09.2026; Published: 19.10.2026

Abstract

The influence of four soil tillage methods and two doses of NPK ammophos on the growth stability of spring wheat in the Suzdal District in 2026 was studied. The normalised difference method and geometric morphometrics were used. In the latter method, the X and Y coordinates of 13 pairs of symmetrical points, plotted along the contour of the leaf blade, were utilised. Analysis for the presence of directional asymmetry showed this type of asymmetry only when the normalising difference method was applied. A one-way analysis of variance showed that the first method of soil tillage (ploughing) resulted in the lowest value of fluctuating asymmetry (FA = 0,056 ± 0,01), whilst the third method — combined layered one — resulted in the highest FA value (0,1 ± 0,01; $p < 0,05$). At the same time, the control plants exhibited reduced developmental stability (FA = 0,09 ± 0,01). The authors believe that the ridging method provided the best conditions for the stable development of spring wheat in the grey forest soils of the Suzdal high plains, owing to high root aeration, suppression of weeds and a reduction in the volume of pathogenic microflora.

Keywords: fluctuating asymmetry, developmental stability, spring wheat, tillage.

Введение

Яровая пшеница (*Triticum aestivum* L., сорт Ладья), семейство *Poaceae* Barnhart. — кустистое однолетнее растение с листовыми пластинами с выраженным продольным жилкованием. К стеблю флаговая листовая пластина примыкает влагалищем с язычком, которые закрепляют лист и предохраняют его от избытка влаги. Исследования, проведенные в Суздальском ополье начиная с 2019 г., показали, что на урожайность и качество зерна яровой пшеницы влияют и система севооборота, и погодные условия, и доза вносимого минерального удобрения [1], [2].

Увеличение дозы удобрений приводило к повышению доли направленной асимметрии (НА) в общей асимметричности листовых пластин. Флуктуирующая асимметрия, ФА (ненаправленное отклонение от строгой симметрии) оставалась на одном уровне. В контроле (без обработки почвы) значения ФА были выше, что указывало на

 © Авторы статьи / Authors of the article

стабилизирующую роль минеральных удобрений. Форма листовой пластины в растениях (пшеница, ячмень) различалась значимо (p <0,0001) при использовании различных методов обработки почвы [3]. Склонность к повышению у обоих видов асимметрии была более выражена у озимой пшеницы по сравнению с яровым сортом. Высокоинтенсивная доза аммофоса $N_{120}P_{120}K_{120}$ способствовала наибольшей величине ФА флаговых листьев озимой пшеницы [4], [5], [6].

Описанные выше исследования проводились в рамках общего эксперимента с использованием четырех типов обработки почвы:

1) общепринятой или отвальной;
2) энергосберегающей;
3) комбинированной ярусной;
4) комбинированной противоэрозионной.

Площадь каждого экспериментального участка составляла 7×20м. Контролем служили межевые полосы 1,5-2м. Локализация проведенной работы — северная часть Владимирской области (Суздальский район; 56.2157°N, 40.5166°E). Почва характеризуется как серая лесная среднесуглинистая на плакорной части равнинного рельефа.

При отвальной вспашке пласт почвы полностью или частично оборачивают в вертикальной плоскости**.** Этот способ рыхлит землю в пластах многолетних трав, но приводит к разрушению структуры почвы и повышает риск эрозии, что ведет к потере гумуса.

Энергосберегающая обработка включает только поверхностное рыхление, посев проходит в необработанный грунт, а растительные остатки остаются на поверхности.

Комбинированная ярусная обработка предполагает послойную обработку разными инструментами, например, лемешно-отвальными для поверхности и рыхлящими — для нижнего слоя почвы. Такой способ повышает продуктивность севооборота, улучшает водный режим почвы. Эта обработка снижает энергетические затраты по сравнению с обычной глубокой вспашкой. Положительные черты — сохранение структуры почвы, уменьшение испарения влаги, снижение эрозии и повышение биологической активности почвы. Таким образом, каждый метод обработки имеет свои преимущества и недостатки.

Цель работы заключалась в оценке влияния технической обработки почвы на стабильность развития пшеницы, и в сравнении двух методов определения ФА.

Методы и принципы исследования

В первой декаде августа 2026 года с каждого участка площадью 7×20 м были отобраны 30–40 листовых пластин длиной от 12 до 20 см. Листовые пластины собирались рандомно по всему участку, не ближе 1 м от каждого края во избежание краевого эффекта. От каждого растения отбиралось одна листовая пластина, в тот же день пластины вымачивались в детергенте, наклеивались на бумагу абаксиальной стороной наверх и сканировались сканером Canon MF310 с разрешением 300 dpi в формате TIF. Отбирались симметричные пластины без признаков физического повреждения. Выбиралась наиболее удобная часть пластины длиной 5 см для избегания направленной асимметрии.

Для определения флуктуирующей асимметрии была использована формула нормирующей разности с абсолютным значением (без знака): ФА = (Л - П)/(Л + П), где: Л — величина левой половины пластины, а П — величина правой половины.

При морфогеометрическом методе на каждое изображение наносилось по 13 пар, т.е. 26 меток. Использовался пакет программ TPS [7]. Ось симметрии выставлялась двумя метками на средней жилке в основании и на вершине листа. Парные метки сравнивались как гомологичные билатерально симметричные точки (ландмарки, LMs). Определялась дисперсия каждой из 13 пар точек в консенсусном прямоугольнике (TPSrelw32) и проводилось определение морфогеометрического индекса $ФА_{мг}$ аналогично нормирующему методу с использованием дисперсии 13-ти пар точек: $ФА_{мг} = (s_l - s_r)/ (s_l + s_r)$, где s_l и s_r, соответственно, дисперсия левой и правой метки, а затем находилось среднее арифметическое значение [3].

Для исключения направленной асимметрии (НА) использовался *t*-тест для двух выборок (левые и правые значения) с нулевой гипотезой об их равенстве.

В качестве минерального удобрения использовался аммофос в двух дозах первая с формулой $N_{60}P_{60}K_{60}$ и вторая, повышенная ($N_{90}P_{90}K_{90}$). Статистическая значимость регистрировалась на уровне 95%.

Основные результаты

Длина пластин, полученных на второй дозе, была наибольшей, в контроле — наименьшая, соответственно, 17,7 ± 0,9 и 13,9 ± 0,5 см (F = 4,1; p = 0,002 однофакторный дисперсионный анализ, рис. 1).

 © Авторы статьи / Authors of the article

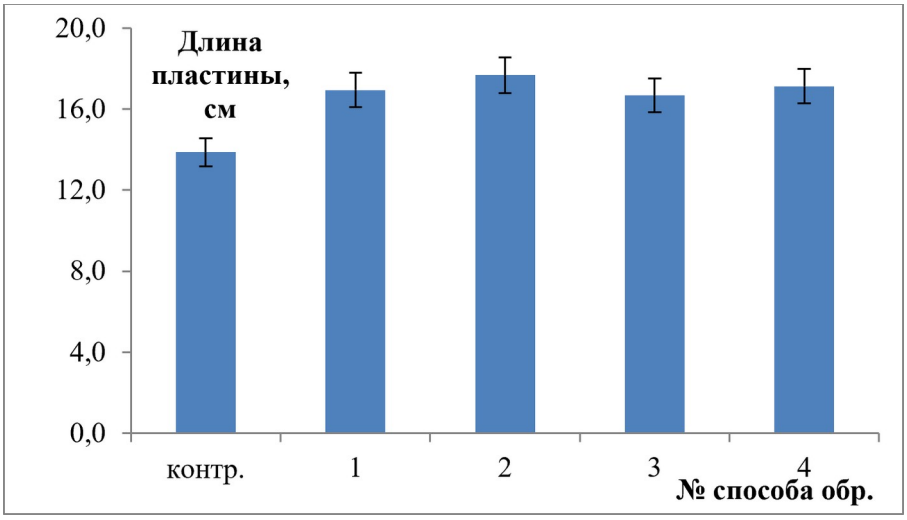

Рисунок 1 - Длина листовой пластины в зависимости от способа обработки
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.16.1

Примечание: вертикальные отрезки, здесь и далее – относительная ошибка

Направленная асимметрия была получена только в одном образце (1-я доза, 1-я обработка, *t*-тест: p = 0,001, правосторонняя НА). Фрагмент НА был удален из общей величины ФА. Для этого среднее значение (Л - П) без знака вычиталось из каждого абсолютного значения ФА = (Л - П)/(Л + П).

Однофакторный дисперсионный анализ показал статистически значимое различие в величине ФА, полученной нормирующим методом (F = 4,6; p = 0,001, рис. 2).

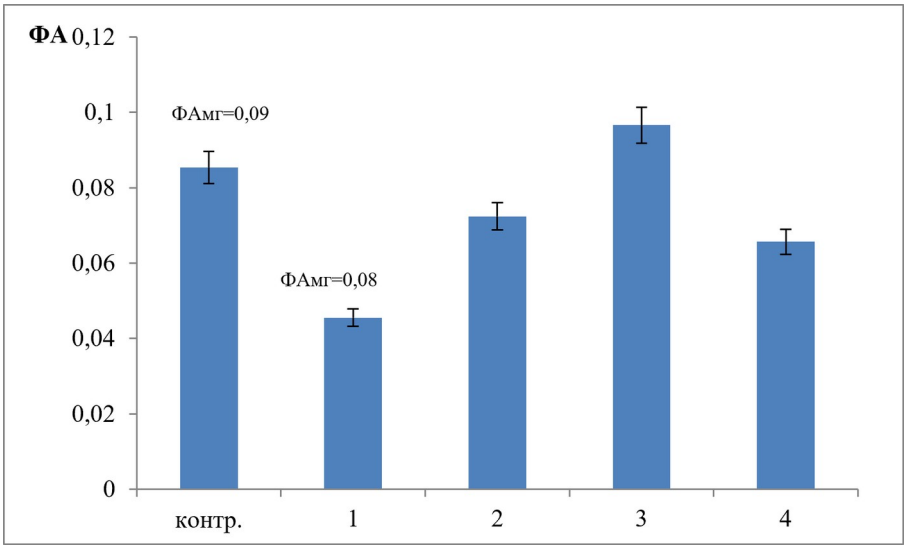

Рисунок 2 - Величина ФА в зависимости от способа обработки почвы (ось ОХ)
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.16.2

Как и в 2020 г., первый способ обработки показал наименьшее значение ФА (повышенную стабильность развития). Комбинированная ярусная система обработки (3-й способ) вызывала наибольшее отклонение в стабильности развития. Мы объясняем это тем, что этот вид обработки в условиях серых лесных почв Суздальского ополья создавал для яровой пшеницы более стрессовую среду по сравнению с другими подходами к обработке почвы. Контрольные растения показали среднюю величину ФА листовой пластины.

Обсуждение

Размеры листовых пластин ожидаемо увеличивались при внесении удобрений. Предыдущие исследования показали, что сорта озимой и яровой пшеницы отличались по соотношению ФА и НА и дисперсия значений явно превалировала у озимой пшеницы. В то же время в листьях яровой пшеницы флуктуационная изменчивость снижалась по мере увеличения дозы удобрения [8].

Как и в 2025 г. анализ не показал статистической значимости в различии в ФА между 1-й и 2-й дозами [9]. Так односторонний *t*-тест показал p = 0,02, тогда как двусторонний показал снижение уровня (p > 0,03). В то же время, дисперсия значений ФА была явно выше в образце «1-я доза» (соответственно 0,008 и 0,002). Этот факт давал

 © Авторы статьи / Authors of the article

основание полагать, что повышенная (вторая) доза удобрения способствовала стабилизации развития растений, что согласуется с мнением о положительном влиянии повышенной дозы аммофоса на продуктивность растений и снижении варьирования других показателей, таких как влагонакопление и содержание элементов питания в почве [10], [11].

Важно отметить, что морфогеометрический метод на основании 13 пар меток не показал присутствия направленной асимметрии в отличие от нормирующего метода, что заставляет считать этот метод точным, удобным и объективным. Он также не показал высокого статистического различия в ФА между образцами, полученными на 1-й и 2-й дозах удобрения.

Первый метод обработки почвы показал наименьшее значение ФА и, следовательно, высокую стабильность развития (ФА = 0,056 ± 0,01), комбинированная ярусная — наибольшее значение (0,1 ± 0,01). Мы объясняем этот результат тем, что ярусная обработка предполагает послойное воздействие: почва обрабатывается на разной глубине, и в результате в одном слое могли соседствовать участки с разной плотностью, структурой и запасом влаги. Следовательно, в одних зонах корни находили достаточно воздуха и влаги, в других почва была более уплотненной или минералодефицитной. Растение было вынуждено активнее адаптироваться, и эта дополнительная нагрузка способствовала изменчивости развития, приведшего к росту ФА.

Отметим положительную роль первого способа обработки по сравнению с контролем. Здесь одной из причин повышенной стабильности развития мы считаем оптимизацию условий для роста благодаря внесу удобрения и образованию равномерной структуры почвы в верхнем слое (лучшая пористость, равномерное распределение влаги и кислорода).

Другую причину мы видим в снижении конкуренции с сорняками, которые попадают в более глубокие слои почвы вместе с патогенными микроорганизмами.

Заключение

Морфогеометрический метод снижает дисперсию анализируемых значений, мы предлагаем использовать сегмент величиной 5 см у основания листа, количество меток может быть увеличено. Основание пластины менее подвержено скосу в сторону направленной асимметрии.

Серые лесные почвы ополья склонны к уплотнению, а их структура не всегда подходит для резких изменений в обработке. Первый способ обработки почвы, по нашему мнению, позволяет задействовать более глубокие и стабильные по составу слои почвы. Это помогает растениям лучше усваивать необходимые элементы питания, что снижает внутривидовую конкуренцию и делает развитие более ритмичным.

Отвальный способ обработки давал позитивный результат по уровню ФА при обеих дозах аммофоса. В целях экономии удобрения при сохранении продуктивности этот метод обработки может быть полезен в схеме многопольного земледелия при выращивании яровой пшеницы.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Окорков В.В. Влияние удобрений и погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы Ладья / В.В. Окорков, Л.А. Окоркова, А.Е. Лебедева // Владимирский земледелец. — 2013. — 1. — С. 40–48.

2. Корчагин А.А. Влияние систем удобрения и обработки почвы на урожайность зерновых культур в адаптивноландшафтных системах земледелия Владимирского ополья / А.А. Корчагин, И.М. Щукин, Л.А. Окоркова // Владимирский земледелец. — 2023. — 3. — С. 38–44.

3. Баранов С.Г. Анализ стабильности развития ячменя в зависимости от способа обработки почвы и дозы удобрения / С.Г. Баранов // Журнал биоинформатики и геномики. — 2025. — 4(30). — С. 1–5.

4. Baranov S.G. Two Kinds of Asymmetry in Spring Wheat Leaf Blad / S.G. Baranov, I.Y. Vinokurov, I.E. Zykov // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. — 2021. — 839. — DOI: 10.1088/1755-1315/839/3/032037.

5. Трофимова О.П. Стабильность развития и продуктивность озимой пшеницы в агроценозах Суздальского ополья / О.П. Трофимова // Сборник материалов научно-практических конференций. — Владимир, 2019. — 5. — С. 1–4.

6. Баранов С.Г. Опыт тестирования стабильности развития пшеницы в агроценозах Владимирского ополья / С.Г. Баранов, Т.С. Бибик, И.Ю. Винокуров // Успехи современного естествознания. — 2018. — 12. — С. 272–276.

7. Rohlf F.J. The tps series of software / F.J. Rohlf // Hystrix. — 2015. — 1. — P. 1–4.

8. Баранов С.Г. Модель флуктуационной изменчивости на примере листовых пластин пшеницы / С.Г. Баранов, И.Ю. Винокуров // Международный научно-исследовательский журнал. — 2023. — 10(136). — С. 25.

9. Баранов С.Г. Повышение дозы удобрения не вызывало снижения стабильности развития у яровой пшеницы / С.Г. Баранов, А.К. Орунова; под ред. Е.П. Грачева // Проблемы экологического образования в XXI веке : труды IX Международной научной конференции (очно-заочной). — Владимир : АРКАИМ, 2025. — Вып. 9. — С. 286–288.

 © Авторы статьи / Authors of the article

10. Мамыкин Е.В. Эффективность применения минеральных удобрений под яровую мягкую пшеницу при традиционном земледелии / Е.В. Мамыкин, В.М. Филонов, Я.П. Наздрачев и др. // Почвоведение и агрохимия. — 2021. — 3. — С. 1–10.

11. Окорков В.В. Азотное питание и эффективность систем удобрения на серых лесных почвах Верхневолжья / В.В. Окорков // Владимирский земледелец. — 2016. — 11. — С. 1–12.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Okorkov V.V. Vliyanie udobrenii i pogodnikh uslovii na urozhainost i kachestvo zerna yarovoi pshenitsi Ladya [The influence of fertilizers and weather conditions on the yield and grain quality of spring wheat Ladya] / V.V. Okorkov, L.A. Okorkova, A.E. Lebedeva // Vladimirskii zemledelets [Vladimir agricolist]. — 2013. — 1. — P. 40–48. [in Russian]

2. Korchagin A.A. Vliyanie sistem udobreniya i obrabotki pochvy' na urozhajnost' zernovy'x kul'tur v adaptivnolandshaftny'x sistemax zemledeliya Vladimirskogo opol'ya [The influence of fertilization and soil cultivation systems on the yield of grain crops in adaptive landscape farming systems of the Vladimir region] / A.A. Korchagin, I.M. Shhukin, L.A. Okorkova // Vladimir agricolist. — 2023. — 3. — P. 38–44. [in Russian]

3. Baranov S.G. Analiz stabilnosti razvitiya yachmenya v zavisimosti ot sposoba obrabotki pochvi i dozi udobreniya [Analysis of barley growth stability depending on soil cultivation method and fertiliser dosage] / S.G. Baranov // Zhurnal bioinformatiki i genomiki [Journal of Bioinformatics and Genomics]. — 2025. — 4(30). — P. 1–5. [in Russian]

4. Baranov S.G. Two Kinds of Asymmetry in Spring Wheat Leaf Blad / S.G. Baranov, I.Y. Vinokurov, I.E. Zykov // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. — 2021. — 839. — DOI: 10.1088/1755-1315/839/3/032037.

5. Trofimova O.P. Stabilnost razvitiya i produktivnost ozimoi pshenitsi v agrotsenozakh Suzdalskogo opolya [Stability of development and productivity of winter wheat in agrocenoses of Suzdal high plains] / O.P. Trofimova // Sbornik materialov nauchno-prakticheskikh konferentsi [Proceedings of the Scientific and Practical Conferences]. — Vladimir, 2019. — 5. — P. 1–4. [in Russian]

6. Baranov S.G. Opit testirovaniya stabilnosti razvitiya pshenitsi v agrotsenozakh Vladimirskogo opolya [Wheat testing developmental stability measurement test in agrocenosis of Vladimir high plain] / S.G. Baranov, T.S. Bibik, I.Yu. Vinokurov // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya [Advances in Modern Natural Sciences]. — 2018. — 12. — P. 272–276. [in Russian]

7. Rohlf F.J. The tps series of software / F.J. Rohlf // Hystrix. — 2015. — 1. — P. 1–4.

8. Baranov S.G. Model' fluktuacionnoj izmenchivosti na primere listovy'x plastin pshenicy' [A model of fluctuating asymmetry using wheat leaf blades as an example] / S.G. Baranov, I.Yu. Vinokurov // International Research Journal. — 2023. — 10(136). — P. 25. [in Russian]

9. Baranov S.G. Povishenie dozi udobreniya ne vizivalo snizheniya stabilnosti razvitiya u yarovoi pshenitsi [Increasing the fertilizer dose did not result in reduced developmental stability in spring wheat] / S.G. Baranov, A.K. Orunova; edited by E.P Gracheva // Problemy ekologicheskogo obrazovaniya v XXI veke [Challenges of Environmental Education in the 21st Century] : proceedings of the 9th International Scientific Conference (In-Person and Remote). — Vladimir : ARKAIM, 2025. — Issue 9. — P. 286–288. [in Russian]

10. Mamy'kin E.V. E'ffektivnost' primeneniya mineral'ny'x udobrenij pod yarovuyu myagkuyu psheniczu pri tradicionnom zemledelii [Effectiveness of mineral fertilizer application for spring soft wheat under conventional farming] / E.V. Mamy'kin, V.M. Filonov, Ya.P. Nazdrachev et al. // Soil Science and Agricultural Chemistry. — 2021. — 3. — P. 1–10. [in Russian]

11. Okorkov V.V. Azotnoe pitanie i effektivnost sistem udobreniya na serikh lesnikh pochvakh Verkhnevolzhya [Nitrogen nutrition and the efficiency of fertilization systems on gray forest soils of the Upper Volga region] / V.V. Okorkov // Vladimirskii zemledelets [Vladimir agricolist]. — 2016. — 11. — P. 1–12. [in Russian]