

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.11: 631.5: 631.81: 574.2
DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88

Резервы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы и их зависимость от гетерогенности посевов в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья

Юрий А. Гулянов, Александр А. Чибилёв , Александр А. Чибилёв (мл.)

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

Контактное лицо

Александр А. Чибилёв, академик Российской академии наук, научный руководитель Института степи Уральского отделения РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.
Тел. +7(3532)774432
Email orensteppe@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

Формат цитирования

Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А., Чибилёв А.А. (мл.) Резервы повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы и их зависимость от гетерогенности посевов в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья // Юг России: экология, развитие. 2020. Т.15, N 1. С. 79-88. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88

Получена 4 октября 2019 г.

Прошла рецензирование 13 ноября 2019 г.

Принята 6 декабря 2019 г.

Резюме

Цель. Верификация научных представлений о пространственной гетерогенности полевых агроценозов. Выявление вариабельности фитометрических и структурных показателей посевов и определение степени их влияния на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья.

Материал и методы. Закладка полевых опытов, сопутствующие наблюдения и учёт в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и методическими указаниями Б.А. Доспехова. Мониторинг посевов озимой пшеницы путём измерения вегетационного индекса (NDVI) ручным сенсором *Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS – 100 (Trimble, USA)*. Определение показателей качества зерна по ГОСТ 9353-2016 Пшеница – Технические условия. Корреляционный и регрессионный анализ опытных данных в *Microsoft Office Excel*.

Результаты. Проведён анализ внутривидовой гетерогенности агроценозов озимой пшеницы по урожайности и качеству зерна. Определены и выражены в виде уравнений регрессии зависимости урожайности и качества зерна от основных фитометрических и структурных параметров посевов.

Заключение. Результаты проведённых исследований свидетельствуют о резервах роста урожайности зерна до 3,0 т/га и качества зерна до I-II класса при нивелировании почвенной гетерогенности полей путём восстановления антропогенно-деградированного почвенного плодородия, внедрения ландшафтно-адаптивных ресурсосберегающих систем земледелия, почвозащитных и почвовосстановительных севооборотов, дифференцированного внесения удобрений, подбора наиболее адаптивных сортов. Целесообразно и внедрение интеллектуальных «цифровых технологий», направленных на более полную реализацию генетического потенциала возделываемых сортов при бережном отношении к природным ресурсам и сохранении биологического разнообразия.

Ключевые слова

Гетерогенность посевов, озимая пшеница, урожайность, качество зерна, степная зона, Оренбургское Предуралье.

Reserves for the Increase of Yield and Quality of Winter Wheat Grain and Their Dependence on the Heterogeneity of Crops in the Conditions of the Steppe Zone of the Orenburg Urals, Russia

Yuriy A. Gulyanov, Alexander A. Chibilyov  and Alexander A. Chibilyov Jr.

Steppe Institute, Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Principal Contact

Alexander A. Chibilyov, Academician, Russian Academy of Sciences & Scientific Director, Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionerskaya St, Orenburg, 460000 Russia.

Tel.+7(3532)774432

Email orensteppe@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

How to cite this article

Gulyanov Yu.A., Chibilyov A.A. Chibilyov A.A. Jr. Reserves for increasing yield and quality of winter wheat grain and their dependence on the heterogeneity of crops in the conditions of the steppe zone of the Orenburg Urals. *South of Russia: ecology, development*. 2020, vol. 15, no. 1, pp. 79-88. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-79-88

Received 4 October 2019

Revised 13 November 2019

Accepted 6 December 2019

Abstract

Aim. Verification of scientific concepts regarding the spatial heterogeneity of field agrocenoses. Identification of the variability of phytometric and structural crop indicators and determination of the degree of their influence on the yield and quality of winter wheat grain in the steppe zone of the Orenburg Urals.

Material and Methods. Establishment of field experiments, related observations and counts in accordance with the methodology of state variety crops testing and B.A.Dospekhov's guideline. Monitoring of winter wheat crops was carried by measuring the vegetation index (NDVI) with a Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS-100 (Trimble, USA). Determination of grain quality indicators was conducted according to GOST 9353-2016 Wheat – *Technical Conditions*. Microsoft Office Excel was employed for the correlation and regression analysis of experimental data.

Results. Analysis of the intra-field heterogeneity of winter wheat agrocenoses in terms of yield and grain quality was conducted. The dependences of yield and grain quality on the principal crop phytometric and structural parameters were defined and expressed in the form of regression equations.

Conclusion. The results of the studies attest to the growth of reserves of grain yield to 3.0 t/ha and grain quality to class I-II class in zonal climatic conditions of optimization of environmental factors to the level of the best basic plots by levelling out field soil heterogeneity. This is possible by restoring the fertility of anthropogenically-degraded soil through the introduction of landscape-adaptive and resource saving farming systems, soil protective and soil restorative crop rotation, differentiated application of organic and mineral fertilizers and selection of the most adaptive varieties. We also advise the introduction of intelligent 'digital technologies' aimed at fuller implementation of the genetic potential of cultivated varieties with careful consideration of natural resources and the preservation of biological diversity.

Key Words

Heterogeneity of crops, winter wheat, productivity, grain quality, steppe zone, Orenburg Urals.

ВВЕДЕНИЕ

На неоднородность и внутривидовую вариабельность почвенного и растительного покрова учёные и практики обратили внимание достаточно давно. Из российских учёных, экспериментально обосновавших влияние внутривидовой гетерогенности на урожайность сельскохозяйственных культур, следует выделить основоположника отечественного агрономического почвоведения П.А. Костычева [1]. На неоднородность почвенного плодородия, затрудняющую получение ровного урожая на различных участках поля даже при внесении органических удобрений, обращал внимание теоретик и практик сельского хозяйства И.А. Стебут [2]. К необходимости учёта внутривидовой вариабельности призвал основоположник отечественной агрохимии академик Д.Н. Прянишников, рекомендовавший определение содержания в почвах подвижных форм азота, фосфора и калия и дифференцирование доз и соотношения азотных, фосфорных и калийных удобрений на участках поля, различающихся по почвенным условиям [3].

Как известно, в качестве интегрального показателя сбалансированности и оптимального сочетания факторов внешней среды в агроценозах чаще всего рассматривается урожайность полевых культур. Она же может использоваться и в качестве индикатора внутривидовой вариабельности растительного покрова, связанной с климатическими, почвенными, географическими, биологическими и антропогенными факторами.

Результаты современных полевых экспериментов, проведённых в различных природных и климатических зонах РФ, указывают на повсеместное внутривидовое варьирование урожайности сельскохозяйственных культур. Такие данные получены на каштановых почвах сухих степей Кулунды [4], серых лесных почвах Владимирской и дерново-подзолистых почвах Ярославской областей [5], чернозёмных и серых лесных почвах Среднего Урала и Северного Зауралья [6; 7], в постцелинных регионах степной зоны Европейской России [8].

В последние годы актуальность обозначенных проблем стала возрастать в связи с прогрессирующей пестротой почвенного плодородия ввиду негативной сельскохозяйственной практики: повсеместной «коммерциализации» севооборотов, отказа от внесения минеральных и органических удобрений и др., ставших причиной усиления антропогенного прессинга в сельскохозяйственных экосистемах и снижения качества растениеводческой продукции, в частности, зерна.

Между тем продовольственная безопасность населения в преобладающем большинстве стран чаще всего ассоциируется именно с обеспеченностью зерном. В настоящее время, несмотря на активное внедрение в мировое аграрное производство современной с.-х. техники и инновационных технологий, существенного роста валовых сборов зерна достичь не удаётся. Его производства всё ещё недостаточно для полного удовлетворения возрастающих потребностей стремительно растущего населения мира.

По экспертной оценке отечественных учёных, в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей среды, Россия может не только полностью удовлетворять потребности собственного населения в хлебных продуктах и перерабатывающих отраслей промышленности в сырьё, но и сыграть важ-

ную роль в стабилизации мирового рынка зерна. Занять лидирующие позиции в мировом зерновом производстве уже сегодня мешает отсутствие стабильности валовых сборов и относительно невысокая урожайность в условиях полужесткого земледелия, сильно зависящего от погодных условий.

Немаловажное значение для укрепления и стабилизации экономики РФ имеет увеличение производства высококачественного зерна, пригодного для экспорта. И здесь остаётся констатировать, что проблемы производства продовольственного зерна высоких кондиций пока также не находят эффективного решения. Об этом свидетельствует информация, приведённая в отчёте по оценке качества пшеницы, подготовленном Департаментом растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза России по данным ФГБУ «Россельхозцентра». Так, из урожая 2016г. из 28,0% (21220,0 тыс.т) обследованного зерна только 2,3 тыс.т (0,01%) соответствовало 1 классу, 60,7 тыс. т (0,3%) – 2 классу, 5579,1 тыс. т (26,0%) – 3 классу. Основная же масса зерна – 15508,6 тыс.т (более 72%) относилась только к 4 и 5 классу. Аналогичная ситуация сложилась и в наиболее благоприятном по погодным условиям высокоурожайном 2017 г, когда из 39,5% (34788,6 тыс.т) обследованного зерна 22,7 тыс.т (0,1%) соответствовало 1 классу, 76,7 тыс.т (0,2%) – 2 классу и 8602,3 тыс.т (25,0%) – 3 классу. Доля зерна 4 и 5 классов составила более 75% или 25708,3 тыс.т. [9].

Особую значимость преодоление указанных проблем приобретает в постцелинных регионах степной зоны РФ, где оптимизация структуры землепользования предполагает интенсификацию земледелия на высокоплодородных почвах. Это связано с необходимостью выведения из сельскохозяйственного оборота деградированных земель и выделения наиболее ценных в ландшафтном отношении местностей и урочищ, что будет неизбежно сопровождаться сокращением земель сельскохозяйственных площадей и необходимостью существенного повышения их продуктивности [10; 11].

В соответствии со стратегией степного природопользования движение в указанном направлении предлагается по пути эффективного использования сельскохозяйственных ресурсов и снижения нагрузки на природные экосистемы. Предполагается, что в большей степени этому будет способствовать экологически ориентированное повышение урожайности и качества растениеводческой продукции за счёт совершенствования приёмов, направленных на эффективную реализацию биоресурсного потенциала культурных агроценозов. Сегодня их содержание дополняется ещё и заботой о главном природном и генетическом ресурсе планеты – биологическом разнообразии.

Основная цель настоящих исследований заключалась в верификации научных представлений о пространственной гетерогенности агроценозов, в определении вариабельности фитометрических и структурных показателей посевов, определении степени их влияния на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- провести определение фитометрических и структурных показателей посевов озимой пшеницы по основным фазам развития на закреплённых элемен-

тарных участках поля по основным фазам развития с использованием общепринятых методов;

- провести определение вегетационного индекса посевов (NDVI) озимой пшеницы с использованием портативного устройства (ручной сенсор) Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS - 100 (Trimble, USA);

- определить основные показатели качества и класс зерна в разрезе элементарных участков;

- определить вариабельность урожайности и качества зерна и степень её влияния на валовые показатели;

- провести корреляционный и регрессионный анализ полученных результатов, выразить выявленные зависимости в графическом виде и в виде уравнений регрессии;

- сформулировать заключение и обосновать практическую значимость полученных результатов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводили в 2017-2019 гг. в зоне сухих степей Оренбургского Предуралья на чернозёмах южных центральной зоны Оренбургской области. Указанная территория характеризуется годовой суммой эффективных температур в диапазоне 2620-2630°C, средней температурой самого тёплого месяца (июль) – 21,9°C и самого холодного (январь) – 14,8°C. Почва промерзает до глубины 100-120 см, средняя мощность снежного покрова составляет около 28 см, а индекс континентальности климата – 215 единиц. За год выпадает 360-370 мм осадков, из которых около 130 мм (35,4%) приходится на тёплый период года (май-август). В целом зона исследований выделяется недостаточным и неустойчивым атмосферным увлажнением, с характерными для летнего периода непродолжительными дождями ливневого характера. Повышенная ветровая активность увеличивает испарение влаги и делает водный режим территории ещё более напряжённым, дополнительно усиливая и дефляционную опасность. Для зоны исследований характерна продолжительная, морозная и не всегда снежная зима, короткая весна с быстрым переходом в жаркое засушливое лето и продолжительная тёплая и сухая осень. В отличие от влагообеспеченности, температурный режим указанной территории и приход солнечной радиации практически не лимитируют формирование урожая традиционных полевых культур.

Почва опытного участка – чернозём южный среднемощный карбонатный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое почвы около 4,0%. Метеорологические условия периода исследований характеризовались по сравнению со среднемноголетними значениями, повышенной температурой воздуха в весенне-летне-осенние месяцы и острым дефицитом влаги, особенно в осенний период.

Исследования проводили с возделываемой по общепринятой в зоне исследований технологии озимой мягкой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) Поволжская 86. Для измерения вегетационного индекса посевов (NDVI) использовали портативное устройство *Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS – 100 (Trimble, USA)*. Многократное сканирование биомассы озимой пшени-

цы проводили в границах 11 реперных точек каждого элементарного участка площадью 1 га, закреплённых на местности в системе координат с помощью портативного mini – навигатора. Учеты и наблюдения проводили общепринятыми методами в соответствии с методическими указаниями Б.А. Доспехова [12]. Площадь ассимиляционной поверхности растений определяли общепринятым весовым методом с использованием электронных весов (*Electronic balance, Type CBL 2200H*) с точностью измерения 0,01 г. Растительные образцы для оценки фитометрических параметров посевов отбирали в четырёхкратной повторности с площадок 0,25 м². Фенологические наблюдения, подсчет густоты стояния растений, определение структурных показателей посевов и другие сопутствующие наблюдения проводили в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [13]. Показатели качества зерна определяли в соответствии с ГОСТ 9353-2016 Пшеница – Технические условия [14]. Корреляционный и регрессионный анализ опытных данных проводили в Microsoft Office Excel.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведённого полевого эксперимента установлено, что на разных элементарных участках поля сформировался урожай различной величины и качества при едином для всего поля наборе технологических приёмов. Анализ опытных данных выявил изменение урожайности зерна от 1,87 до 2,92 т/га (рис. 1). Коэффициент её вариации при среднем значении 2,45 т/га составил 15,4%, что указывает на среднюю степень рассеивания полученных данных.

Как известно, итоговая урожайность полевых агроценозов определяется вкладом каждого растения в общий урожай и их числом на единице площади, в данном случае числом продуктивных стеблей. В наших исследованиях число продуктивных стеблей перед уборкой по элементарным участкам поля также изменялось – от 228,5 до 351,8 штук/м². Коэффициент вариации составил 14,4% при средней плотности продуктивного стеблестоя 292,4 штук/м². Корреляционно-регрессионный анализ опытных данных выявил наличие сильной связи ($r=0,99$) между урожайностью зерна и плотностью продуктивного стеблестоя (рис. 2).

Указанная прямая линейная связь описывается уравнением регрессии $y=0,008x-0,158$ и свидетельствует о детерминации плотностью продуктивного стеблестоя 98,9% дисперсии урожайности зерна.

Связь урожайности зерна с массой зерна с колоса оказалась средней ($r=0,61$). Зависимость выражается уравнением регрессии $y=14,63x-9,824$. Коэффициент детерминации свидетельствует о зависимости между указанными параметрами только в 37,1% случаев.

Установлено, что существенная вариация приведённых слагаемых урожая, определяющих продуктивность большинства зерновых колосовых культур в степной зоне Оренбургского Предуралья, стала следствием динамики других структурных элементов по элементарным участкам поля.

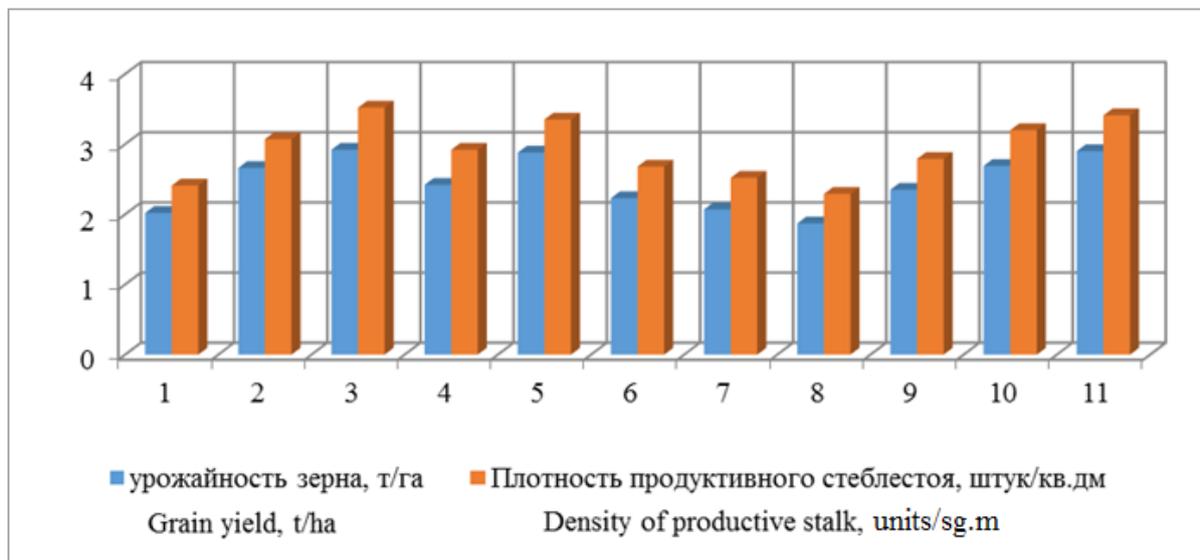


Рисунок 1. Урожайность зерна озимой пшеницы и плотность продуктивного стеблестоя по элементарным участкам поля

Figure 1. Yield of grain of winter wheat and density of productive stalk in basic field plots

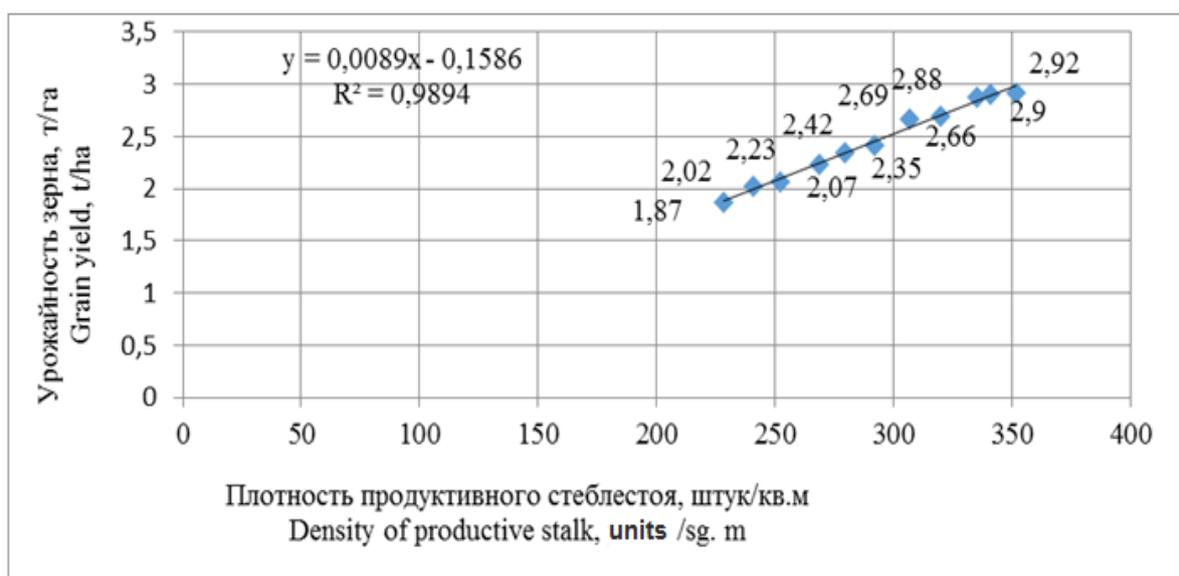


Рисунок 2. Зависимость урожайности зерна озимой пшеницы от плотности продуктивного стеблестоя

Figure 2. Dependence of winter wheat grain yield on density of productive stalk

Наибольшей изменчивостью характеризовалась общая выживаемость семян и растений. При климатически обусловленной в зоне исследований достаточно высокой гибели растений в течение вегетации и в наших исследованиях к уборке их сохранилось только 47,9-70,6% от числа высеванных всхожих семян. Кроме этого, вариация указанного параметра между отдельными участками поля составила 22,7%.

Следует отметить, что в начале вегетации гетерогенность растительного покрова опытного участка была менее выраженной. Так, полнота всходов колебалась от 80,1 до 93,1%, а коэффициент вариации нор-

мально взошедших растений составил только 4,3% при их среднем числе 387,1 штук/м². К завершению вегетации неоднородность растительного покрова усилилась. Коэффициент вариации числа сохранившихся к уборке растений при средней величине 270,9 штук/м² составил уже 13,0% (табл. 1).

На наш взгляд, усиление неоднородности растительного покрова в течение вегетации связано с пространственной неоднородностью факторов внешней среды и изменением степени их участия в жизни растений.

Таблица 1. Внутрипольная вариабельность фитометрических и структурных показателей посевов озимой пшеницы, средние за 2017-2019 гг.**Table 1.** In-field variability of phytometric and structural indicators of winter wheat crops, average for 2017-2019

Элементарный участок Basic plots	Полнота всходов Seedling germination		Число растений в уборку, штук/м ² Number of plants to harvest, units/sg.m	Общая выживаемость Overall survival, %	Максимальная площадь листьев, м ² /га Maximum leaf area, sg.m/ha	Вегетационный индекс (NDVI) Vegetation index
	штук/м ² units/ sg.m	%				
1	360,6	80,1	227,3	50,5	14281	0,53
2	383,7	85,2	284,0	63,1	20960	0,72
3	419,3	93,1	317,7	70,6	24276	0,80
4	391,0	86,9	270,6	60,1	20165	0,69
5	396,0	88,0	307,2	68,3	22159	0,77
6	377,5	83,9	250,9	55,7	17452	0,61
7	376,0	83,6	238,2	52,9	15799	0,56
8	367,4	81,6	215,6	47,9	14248	0,51
9	384,9	85,5	261,3	58,0	19641	0,66
10	397,1	88,2	296,3	65,8	22521	0,74
11	404,6	90,0	310,1	68,9	23782	0,79
Средние значения Averages	387,1	86,0	270,9	60,2	19571	0,67
Кoeffиц. вариации Coefficient of variation	4,37		13,01		18,61	15,64

Так, при своевременном посеве инкрустированными семенами в качественно подготовленную почву для прорастания семян и получения дружных всходов необходим только определённый запас доступной почвенной влаги, используемой для набухания, а питательные элементы проросток получает в основном из растворённого эндосперма. В последующие фазы развития при нарастании вегетативной массы и переходе растений на корневое питание почвенная неоднородность, связанная с мощностью гумусового горизонта, плотностью сложения, доступностью элементов минерального питания, засорённостью, заражённостью болезнями и заселённостью вредителями и др., всё очевиднее отражается на неоднородности растительного покрова.

Как известно, фотосинтетическая деятельность растений является биологической основой урожая. Наилучшие условия для эффективного использования солнечной энергии достигаются при быстром развитии листовой поверхности до оптимальных размеров и длительном нахождении посева в активном состоянии. Считается, что при индексе листовой поверхности 4-5 м²/м² посев, как оптическая фотосинтезирующая система, работает в оптимальном режиме, поглощая наибольшее количество фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) [15].

По результатам наших наблюдений, озимая пшеница в почвенно-климатических условиях Оренбургского Предуралья формировала меньшую площадь листовой поверхности. Кроме этого, варьирование густоты стояния растений по элементарным участкам поля привело к значительной пестроте ассимиляционной поверхности. Максимальная площадь листьев в фазу колошения изменялась от 14248 до 24276 тыс. м²/га. Коэффициент вариации при её среднем значении 19571 тыс. м²/га составил 18,6%.

Как мы уже отмечали [16; 17], с площадью ассимиляционной поверхности сильно связан вегетационный индекс посева (NDVI). Он может использоваться для оперативного мониторинга фитометрических параметров и последующего их приближения к значениям эталонных посевов дифференциацией норм технологического воздействия. В настоящих исследованиях данная зависимость была подтверждена, связь между указанными параметрами также оказалась сильной ($r=0,99$).

Пищевая промышленность и зерновой рынок в настоящее время предъявляют довольно высокие требования к качеству продовольственного зерна. В связи с этим, стремление к увеличению валовых сборов зерна может быть экономически целесообразным только при получении зерна высокого качества, поскольку разница в цене реализации зерна разных классов может нивелировать всю денежную прибавку от реализации большего количества зерна худшего качества.

По информации, размещённой в официальных открытых источниках, в настоящее время Россия полностью обеспечивает собственные потребности в зерне и экспортирует его в более ста стран мира. Традиционными рынками сбыта российского зерна считаются страны Северной Африки и Ближнего Востока, из которых крупнейшими потребителями зерна пшеницы являются Египет, Турция, Бангладеш, Иран и Азербайджан, закупающие вместе до 45% от объёма российских продаж.

В условиях общего дефицита финансовых средств и недостатка материально-технических ресурсов в основных хлебопекающих регионах РФ часто применяются упрощённые технологические схемы с исключением приёмов, гарантирующих требуемый ГОС-Тами уровень качества продукции. При высокой степени антропогенной деградации почвенного покрова,

зерновые культуры не отличаются стабильностью формирования технологических показателей требуемого уровня, определяющих их сырьевое достоинство. Вполне очевидно, что указанные обстоятельства существенно снижают экономическую эффективность производства зерна и значительно затрудняют его реализацию на мировом рынке.

При анализе требований основных стран импортеров зерна выявлено, что чаще всего они предъявляют более высокие требования на некоторые показатели качества. Например, при поставке соответствующего по влажности (14%) российскому ГОСТу зерна в Бангладеш его необходимо будет досушивать до влажности 13,5%, в Судан – до 13,0%, в Китай – до 12,5%, в Объединённые Арабские Эмираты – до 12,0%.

В некоторых странах требования к натуре зерна выше российских, предъявляемых даже к зерну I-го класса (750 г/литр): в Иране – не ниже 780 г/литр, в Египте, Турции, Саудовской Аравии и странах ЕС – не менее 770 г/литр, в Объединённых Арабских Эмиратах –

не ниже 760 г/литр. По содержанию белка при поставке в Египет, Иран и Турцию пшеница должна быть не ниже III-го класса (не менее 12,0%). Высшему классу стран ЕС по содержанию белка (не ниже 14%) соответствует только российская пшеница I-го класса. Кроме этого страны импортеры предъявляют более жесткие требования к показателям безопасности [18].

Следовательно, высокую ценность на внутреннем и мировом рынках может иметь только хорошо выполненная, богатая белком пшеница с хорошей хлебопекарной способностью. Проведённые нами исследования показали, насколько же высоки перспективы производства такого зерна в степной зоне Оренбургского Предуралья в условиях современных климатических и антропогенных изменений и какова их внутрипольная изменчивость. Так, гетерогенность опытного поля, выразившаяся в существенном варьировании урожайности, привела и к значительной динамике основных показателей качества зерна (табл. 2).

Таблица 2. Показатели качества зерна озимой пшеницы по элементарным участкам поля, средние за 2017-2019 гг.
Table 2. Winter wheat grain quality indicators for basic field plots, average for 2017-2019

Элементарный участок Basic plots	Натура зерна, г/литр Grain nature, g/litre	Стекло- видность Glassiness, %	Кол-во белка Amount of protein, %	Кол-во клейко- вины Gluten, %	Качество клейковины Gluten quality		Класс Class
					ед. ИДК units IDK	группа group	
1	709	53	23,0	12,8	93	II	V
2	739	57	26,3	12,3	82	II	III
3	766	73	36,5	14,7	74	I	I
4	731	58	25,8	12,2	84	II	III
5	752	66	30,2	14,2	75	I	II
6	720	51	23,2	12,5	92	II	IV
7	716	52	22,9	12,6	92	II	IV
8	703	48	22,3	12,5	96	II	V
9	728	50	23,7	12,4	88	II	IV
10	747	62	28,3	12,5	80	II	III
11	758	70	34,2	14,3	75	I	II
Средние значения Averages	733	58	26,9	13,0	84	II	III
Кoeffиц. вариации The coefficient of variation	2,82	14,62	18,03	7,18	9,5		

Как известно, на хлебоприёмных предприятиях технологические свойства зерна оценивают по комплексу показателей, а деление зерновых партий на классы, определяющие в последующем цену реализации, проводится с учётом показателей, имеющих ограничительные нормы.

Среди технологически значимых показателей качества наиболее важное значение с точки зрения мукомольной промышленности имеют натура зерна и стекловидность. Зерно с высокой натурой обладает лучшими мукомольными свойствами, а от стекловидности зависит выход муки высоких сортов. В высоко-стекловидной пшенице обычно больше белков, образующих клейковину хорошего качества, в связи с этим улучшаются хлебопекарные свойства муки и такое зерно выше ценится. Наибольшей изменчивостью из двух

приведённых показателей качества в наших исследованиях характеризовалась стекловидность. При среднем значении 58% (соответствие по ГОСТ III и ниже классу) она изменялась по элементарным участкам поля от 48% (III класс) до 73% (I класс), а коэффициент вариации составил 14,6%.

Масса одного литра зерна (натура) была более стабильной, хотя её изменение в интервале от 703 до 766 г/литр, с коэффициентом вариации 2,82%, приводило к широкой вариации оценки зерна – от V до I класса.

С точки зрения пищевой ценности и хлебопекарных достоинств наиболее важными показателями пшеничного зерна является количество и качество клейковины. Чем больше содержание клейковинного белка и чем лучше его качество, тем выше пищевая

ценность и лучше хлебопекарные достоинства зерна, выражающиеся в объёмном выходе, пористости и усвояемости хлеба. На качество клейковины влияют условия выращивания, такие как обеспеченность растений элементами минерального питания, засорённость посевов, заселённость вредителями (особенно клопом вредная черепашка) и поражённость болезнями, она зависит от степени зрелости зерна и поврежденности самосогреванием в ворохах и прорастанием на корню или в валках. Из муки, имеющей клейковину III группы (неудовлетворительно крепкую или неудовлетворительно слабую) обычно получается низкопористый, плохо разрыхленный хлеб, с малым объёмным выходом.

Нашими исследованиями установлено, что содержание клейковины оказалось самым изменчивым из показателей качества зерна. С коэффициентом вариации 18,0% оно изменялось от 22,3% (IV класс) до 36,5% (I класс), а в среднем равнялось 26,9%. Качество клейковины в среднем по опыту составило 84 единицы ИДК (II группа, III-IV класс), а по отдельным элементарным участкам варьировало от 74 (I группа, I класс) до 96 единиц ИДК (II группа, III-IV класс).

По содержанию белка зерно озимой пшеницы в среднем по опытному полю (13,0%) соответствовало III классу, а в разрезе элементарных участков варьировало от III класса (12,2%) до I класса (14,7%).

В целом следует отметить, что внутривидовая гетерогенность фитоценозов озимой пшеницы в степной зоне Оренбургского Предуралья приводит к значительному варьированию (а в целом к снижению) урожайности зерна. Она выражается в значительной пестроте плотности продуктивного стеблестоя и массы зерна с колоса ввиду пространственных различий в общей выживаемости семян и растений и площади ассимиляционной поверхности. Аналогичная закономерность прослеживается и в отношении показателей качества зерна. Такое значительное варьирование урожайности и качества зерна по элементарным участкам является убедительным свидетельством проявления почвенной неоднородности полей, обусловленной как природными, так и антропогенными факторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оренбургское Предуралье располагает целым рядом сортов озимой мягкой пшеницы, обладающих способностью стабильно формировать зерно высокого качества и являться резервом в производстве сильной пшеницы [19].

Результаты проведённых нами исследований свидетельствуют о резервах роста урожайности зерна до 3,0 т/га и качества зерна до I-II класса в зональных климатических условиях при оптимизации факторов внешней среды до уровня лучших элементарных участков путём нивелирования почвенной гетерогенности полей. Это возможно путём восстановления антропогенно-деградированного почвенного плодородия при внедрении ландшафтно-адаптивных ресурсосберегающих систем земледелия, почвозащитных и почвосстановительных севооборотов, дифференцированного внесения органических и минеральных удобрений, подбора наиболее адаптивных сортов. Целесообразно и внедрение интеллектуальных «цифровых технологий», направленных на более полную реализацию ге-

нетического потенциала возделываемых сортов при бережном отношении к природным ресурсам и сохранении биологического разнообразия.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды», №ГР АААА-А17-117012610022-5.

ACKNOWLEDGEMENT

Research was conducted within the framework of the Scientific and Research Work of the Orenburg Federal Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences), "Steppes of Russia: landscape-ecological foundations of sustainable development: substantiating the employment of nature-like technologies in conditions of natural and anthropogenic environmental change". № GR АААА-А17-117012610022-5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афанасьев Р.А. Агрехимическое обеспечение точного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. N 3. С. 46-53.
2. Лошаков В.Г., Захарова Н.И. Жизнь и деятельность Ивана Александровича Стебута на Тульской земле // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2005. N 3. С. 149-158.
3. Наумов В.Д. Научное наследие академика Д.Н. Прянишникова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2016. N 1. С. 116-127.
4. Ещенко Е.Г., Ещенко С.И., Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М. Варьирование урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием различных факторов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. N 9 (167). С. 46-52.
5. Морев Д.В., Васнев И.И. Агрэкологическая оценка земель в условиях повышенной пестроты почвенного покрова Владимирского ополья // АгроЭкоИнфо. 2016. N 1 (23). С. 2.
6. Синявский И.В. Состояние плодородия почв и экологическая устойчивость агроландшафтов Челябинской области // Агропродовольственная политика России. 2015. N 1(37). С. 2-7.
7. Ерёмин Д.И., Кибук Ю.П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. N 8(13). С. 17-26.
8. Гулянов Ю.А. Научные подходы к оценке уровня внутривидовой гетерогенности посевов в ресурсосберегающих технологиях «зелёной экономики» // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2019. N 2 (17). С. 2. URL: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2019/2/00717.pdf> (дата обращения: 27.09.2019)
9. Итоги работы отрасли растениеводства в 2017 году и задачи на 2018 год. Москва, 2018. URL: <http://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2018/02/agronomycheskoesoveschanye-ytogy-2017.pdf> (дата обращения 27.08.2019)
10. Чибилёв А.А. Ключевые проблемы региональной

экологической политики в степной зоне России и сопредельных государств // *Степной бюллетень*. 1998. N 2. URL: <http://savesteppe.org/ru/-archives/5435> (дата обращения 16.08.2019)

11. Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. Экологизация степных агротехнологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. N 3. С.5-11. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-005-011

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_2.pdf (дата обращения 16.12.2016)

14. ГОСТ 9353-2016 Пшеница - Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62924> (дата обращения 16.08.2019).

15. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности // *Теоретические основы фотосинтетической продуктивности*. М.: Наука, 1972. С. 511-526.

16. Гулянов Ю.А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. N 3(19). С. 64-76. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76

17. Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. Перспективы интеграции «цифрового землепользования» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны // *Проблемы региональной экологии*. 2019. N 2. С. 32-37. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12032

18. Грайворонская С.В. Какое зерно возьмут на экспорт? // *Сельская Сибирь*. 2018. N 3 (06). С. 38-39. URL: <http://www.ids55.ru/images/stories/MyJournal/CeC/cec2018-06.pdf> (дата обращения: 18.08.2019)

19. Бесалиев И.Н., Панфилов А.Л., Каравайцев Я.А. Экологическая пластичность сортов озимой пшеницы по показателям качества зерна в Оренбургском Предуралье // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017. N 5 (67). С. 36-39.

REFERENCES

1. Afanasyev R.A. Agrochemical ensure of precision agriculture. *Problemy agrokhimii i ekologii* [Problemy agrokhimii i ekologii]. 2008, no. 3, pp. 46-53. (In Russian)

2. Loshakov V.G., Zaharova N.I. The life and work of I.A. Stebut on Tula land. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]. 2005, no. 3, pp. 149-158. (In Russian)

3. Naumov V.D. Scientific heritage of academician D.N. Pryanishnikov. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]. 2016, no. 1, pp. 116-127. (In Russian)

4. Yeshchenko Ye.G., Yeshchenko S.I., Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M. Variation of agricultural crop yields under the effect of various factors. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University]. 2018, no. 9 (167), pp. 46-52. (In Russian)

5. Morev D.V., Vasenev I.I. Agroecological assessment of land under conditions of increased variegation of soil cover of Vladimir Opole. *AgroEcolInfo* [AgroEcolInfo]. 2016, no. 1(23), 2 p. (In Russian)

6. Sinyavskiy I.V. Soil fertility and environmental sustainability of agrolandscapes of the Chelyabinsk region. *Agroprodoval'stvennaya politika Rossii* [Agri-food Policy of Russia]. 2015, no. 1(37), pp. 2-7. (In Russian)

7. Eryomin D.I., Kibuk Yu.P. Differentiated application of fertilizers as an innovative approach in the system of precision farming. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2017, no. 8(13), pp. 17-26. (In Russian)

8. Gulyanov Yu.A. [Scientific approaches to assessing the level of the field heterogeneity of crops in resource-saving technologies of the "green economy"]. *Elektronnyi nauchno-metodicheskii zhurnal Omskogo GAU*, 2019, no. 2(17), 2 p. (In Russian) Available at: <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2019/2/00717.pdf> (accessed 27.09.2019)

9. *Itogi raboty otrasli rastenievodstva v 2017 godu i zadachi na 2018 god* [The results of the crop industry in 2017 and the tasks for 2018]. Moscow, 2018. (In Russian) Available at: <http://barley-malt.ru/wp-content/uploads/2018/02/agronomycheskoesoveschanye-ytogy-2017.pdf> (accessed 27.08. 2019)

10. Chibilev A.A. [Key problems of regional environmental policy in the steppe zone of Russia and neighboring states]. *Stepnoi byulleten'*, 1998, no. 2. (In Russian) Available at: <http://savesteppe.org/ru/-archives/5435> (accessed 16.08.2019)

11. Gulyanov Yu.A., Chibilev A.A. Ecologization of steppe agrotechnologies in the conditions of natural and anthropogenic environmental changes. *Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no. 3, pp.5-11. (In Russian) DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-005-011

12. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)

13. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Methodology of state variety testing of crops]. Iss. 2. (In Russian) Available at: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_2.pdf (accessed 16.12.2016)

14. *GOST 9353-2016 Pshenica - Tekhnicheskie usloviya* [GOST 9353-2016 Wheat - Specifications]. (In Russian) Available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62924> (accessed 16.08.2019)

15. Nichiporovich A.A. [Photosynthetic activity of plants and ways to increase their productivity]. In: *Teoreticheskie osnovy fotosinteticheskoi produktivnosti* [The Theoretical Basis of Photosynthetic Productivity]. Moscow, Nauka Publ., 1972, pp. 511-526. (In Russian)

16. Gulyanov Yu.A. Monitoring of the phytometric indications using innovative crop scanning methods. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 2019, no. 3(19), pp. 64-76. (In Russian). DOI: 10.33952/2542-0720-2019-3-19-64-76

17. Gulyanov Yu.A., Chibilev A.A. Prospects for the integration of "digital land use" in the landscape-adaptive farming

of the steppe zone. *Regional environmental issues*, 2019, no. 2, pp. 32-37. (In Russian). DOI: 10.24411/1728-323X-2019-12032

18. Grayvoronskaya S.V. [What grain will be exported?] *Sel'skaya Sibir'*, 2018, no. 3(06), pp. 38-39. (In Russian) Available at: <http://www.ids55.ru/images/stories/MyJournal/CeC/cec2018-06.pdf> (accessed 18.08.2019)

19. Besaliyev I.N., Panfilov A.L., Karavaytsev Ya.A. Ecological plasticity of winter wheat varieties by grain quality indices in Orenburg Preduralye. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of Orenburg State Agrarian University]. 2017, no. 5(67), pp. 36-39. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Юрий А. Гулянов и Александр А. Чибилёв мл. собрали материал, анализировали и интерпретировали результаты исследований, подготовили рукопись. Александр А. Чибилёв провёл корректировку рукописи. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yuriy A. Gulyanov and Alexander A. Chibilyov jr. collected the data, conducted analysis and interpretation and drafted the manuscript. Alexander A. Chibilyov revised the manuscript. All authors equally participated in writing the manuscript and are responsible for avoiding the plagiarism and self-plagiarism.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors state that there is no conflict of interest.

ORCID

Юрий А. Гулянов / Yuriy A. Gulyanov <https://orcid.org/0000-0002-5883-349X>

Александр А. Чибилёв / Alexander A. Chibilyov <https://orcid.org/0000-0002-6214-1437>

Александр А. Чибилёв (мл.) / Alexander A. Chibilyov jr. <https://orcid.org/0000-0003-1109-6231>