УДК 633.11:551.5
EDN CHLVUT

Гулянов Ю. А.

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ РАН)

Реферат. *Анализ особенностей производства зерна озимой пшеницы в климатических условиях Южного Урала необходим для выработки стратегии адекватного технологического ответа на природные и антропогенные вызовы. Цель исследований – оценка результативности производства зерна озимой пшеницы и определение связи валовых урожаев с метеорологическими параметрами в условиях меняющегося климата. Исследования проводили в различных почвенно-климатических зонах (Северной, Западной и Центральной) Оренбургской области в 2008–2021 г. При обработке цифрового материала пользовались методами статистического анализа. Выявлена устойчивая тенденция расширения посевного клина озимой пшеницы за счёт увеличения её доли в структуре посевов и заметная динамика уборочных площадей, связанная с их убылью к уборке относительно засеянной площади. Подтверждено негативное влияние аномальных климатических проявлений на сохранность посевов, стабильность урожайности и валовых сборов зерна. Самый высокий дополнительный сбор зерна с каждого добавленного гектара посевной площади (2,45–2,57 т/га) отмечен в Северной и Западной зонах, а наиболее ощутимая убыль уборочных площадей относительно площадей посева (8349 га, или 10,5 %) – в Центральной. Самая выраженная средняя связь убыли уборочных площадей с температурным режимом и условиями увлажнения, с преимущественным прямым влиянием сумм активных температур всего периода вегетации (r = 0,46–0,49) отмечена в Северной и Западной зонах. Связь урожайности зерна с суммой активных температур от посева до уборки во всех зонах обратная сильная (r = - 0,70–0,76), а с суммой всех осадков от посева до уборки, включая осадки холодного периода – прямая средняя (r = 0,58–0,63). Коренная перестройка всего технологического процесса, направленная на максимальную реализацию биологического потенциала жаростойких и засухоустойчивых сортов, выступающих в качестве ключевого звена, может стать перспективным направлением стабилизации валовых сборов в сложившихся климатических условиях.*

Ключевые слова*: Оренбургская область, почвенно-климатические зоны, Triticum aestivum L., озимая пшеница, климатические изменения, перестройка технологического процесса.*

Для цитирования: *Гулянов Ю. А. Особенности производства зерна озимой пшеницы в климатических условиях Южного Урала // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 2(30). С. 22 –35. EDN: CHLVUT.*

For citation: *Gulyanov Yu. A. Features of winter wheat grain production in climatic conditions of the Southern Urals // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 2(30). P. 22–35. EDN: CHLVUT.*

Введение

Озимая пшеница является важной для обеспечения продовольственной безопасности населения полевой хлебной культурой России. В истекшее десятилетие (2012–2021 гг.) её в среднем за год выращивали на площади более 14,0 млн га или

18,0 % всей посевной площади. При урожайности зерна около 3,5 т/га валовой сбор составил более 48 млн т с изменчивостью по годам на уровне 24,3 % [1].

Основные посевные площади озимой пшеницы в России сосредоточены в европейской части страны, более подходящей по климатическим условиям. В Заволжье и Предуралье озимую пшеницу возделывают также на больших площадях, но более весомое участие в структуре посевов занимает пшеница яровая. Ещё восточнее, в Зауралье и Западной Сибири, ввиду мало приемлемых условий зимнего периода, озимая пшеница в сравнении с яровой занимает значительно меньшие площади [2].

Из регионов Южного Урала наибольшие площади озимой пшеницы сосредоточены в Республике Башкортостан и Оренбургской области, а в Челябинской и Курганской областях её возделывают значительно меньше [3]. Валовой сбор озимой пшеницы в стране сильно связан с оренбургскими урожаями, с коэффициентом корреляции Пирсона (r) 0,76. Со средней площади посева более 350 тыс. га и при урожайности около 1,7 т/га в хлебные закрома страны с оренбургских полей поступает около 600 тыс. т зерна в год [1].

Оренбургская область, среди других регионов широкого возделывания озимой пшеницы, отличается относительно невысокой урожайностью, составившей за 2012–2021 гг. около 50,0 % от средней урожайности по стране.

Более высокую реализацию биологического потенциала возделываемых здесь сортов сдерживают резко-континентальные климатические условия, выражающиеся в скудности атмосферных осадков, повышенной солнечной радиации летом и критически низких температурах зимой, с абсолютной амплитудой годовых температур на уровне 85–90 °С [4]. Континентальность климата Оренбургской области определяется её географическим положением, связанным со значительным удалением от морей и океанов, исключающим смягчающее воздействие морских воздушных масс. В силу этого в тёплое время года происходит сильное нагревание поверхности земли, сопровождающееся сильной жарой, с засухами и суховеями. Быстрое и сильное охлаждение поверхности в холодное время сказывается на жёстком характере зимы – морозном, с сильными вьюгами и метелями [5].

Наблюдающееся на протяжении нескольких последних десятилетий глобальное изменение климата в Оренбургской области характеризуется дополнительным повышением засушливости благодаря росту радиационных ресурсов при заметном снижении количества атмосферных осадков, что ставит урожаи в ещё большую зависимость от метеорологических параметров [6]. В особо засушливые годы на больших площадях наблюдается гибель растений на корню (2010, 2012, 2015, 2019 и 2021 гг.), а урожайность выживших пшеничных полей снижается на 50 % и более.

Современные засушливые условия, отмечаемые во многих зернопроизводящих регионах страны и мира, наряду с прямым отрицательным эффектом в виде снижения продуктивности сельскохозяйственных культур, обладают ещё и более долговременным отрицательным эффектом [7]. Он выражается в уменьшении потенциального плодородия обрабатываемых угодий ввиду меньшего поступления в почву органики, снижения микробиологической активности и физических свойств почвы, понижающих её водопоглотительную и водоудерживающую способность [8]. В итоге в период засух в почвах сельскохозяйственных угодий ограничивается потенциал секвестрации атмосферного углерода (CO_2) [9], актуальной в настоящее время меры по компенсации промышленных выбросов парниковых газов [10, 11].

Со стороны мирового и отечественного агрономических сообществ предпринимаются активные действия в направлении нивелирования отрицательного влияния изменяющегося климата на урожайность пшеничных полей, разрабатываются адаптивные технологические приёмы, активизируется селекция засухоустойчивых и

жаростойких сортов [12, 13]. Благодаря внедрению ресурсосберегающих агротехнологий в РФ последних десятилетий наблюдается заметный рост производства зерновых культур. Стремление к его поддержанию на максимально высоком уровне актуализирует адаптацию приёмов возделывания к современным климатическим и антропогенным изменениям [14].

При общих позитивных результатах научного поиска российских учёных в указанном направлении в условиях степного Оренбуржья таких исследований проведено ещё недостаточно. Не выработана стратегия адекватного технологического ответа на природные и антропогенные вызовы, дестабилизирующие зерновое производство.

Цель исследований – анализ результативности производства зерна озимой пшеницы и определение связи валовых урожаев с метеорологическими параметрами в условиях меняющегося климата по почвенно-климатическим зонам Оренбургской области.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

− провести ретроспективный анализ временной и пространственной динамики площадей посева и валовых сборов зерна озимой пшеницы по природно-климатическим зонам Оренбургской области;

− оценить размеры убыли уборочных площадей относительно площадей посева, определить их вариабельность и пространственные особенности;

− определить связь валовых урожаев со структурными параметрами посевов, оценить их долевое участие и установить корреляцию с метеорологическими факторами;

− систематизировать результаты полевых наблюдений и обосновать перспективные направления адаптации агротехнологий к условиям современного климата.

Материалы и методы исследований

Предметом исследований выступали сведения о площадях посева, уборки, урожайности и валовых сборах зерна озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в муниципальных образованиях Оренбургской области за 2008–2021 гг., размещённые в свободном доступе (ЕМИСС) [1] и предоставленные Министерством сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности Оренбургской области. Источником данных служили и материалы экспедиционных и полевых исследований за 2008–2021 гг.

Группировку административных районов по почвенно-климатическим зонам (Северная, Западная, Центральная) осуществляли на основе природно-сельскохозяйственного районирования Оренбургской области [15].

Метеорологические условия анализируемых четырнадцатилетнего (2008–2021 гг.) и более длительного – тридцатидвухлетнего (1990–2021 гг.) периодов, оценивали на основе специализированных массивов для климатических исследований Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [16].

Территория области значительно различается по обеспеченности ресурсами тепла и влаги. В направлении с севера на юг и с запада на восток отмечается увеличение ресурсов тепла при одновременном снижении количества атмосферных осадков. Характерной чертой современного климата Оренбуржья является устойчивая тенденция повышения засушливости климата благодаря росту сумм активных температур и снижения количества атмосферных осадков, приводящих к значительному снижению благоприятности климата для сельскохозяйственного производства.

Нормализованный разностный вегетационный индекс посевов (NDVI) определяли портативным ручным сенсором Green Seeker, Model HCS-100 с активным оптическим датчиком. Дополнительно использовали базу общедоступных космических снимков Landsat 8 и Sentinel, размещённых на on-line ресурсах OneSoil.ai и Sentinel-hub.com.

При обработке цифрового материала применяли корреляционный и регрессионный методы статистического анализа [17].

Результаты и их обсуждение

В результате анализа посевных площадей озимой пшеницы по почвенно-климатическим зонам Оренбургской области выявлена их значительная временная и пространственная динамика. Наибольшая изменчивость по годам с коэффициентом вариации 48,3 %, превысившим среднеобластной показатель на 7,7 п.п. (процентных пункта), отмечена в Северной почвенно-климатической зоне. В Западной и Центральной почвенно-климатических зонах площади посева по годам также сильно изменялись, но на меньшую величину, с коэффициентом вариации 44,9–39,9 %.

При значительном межгодовом варьировании динамика посевных площадей на протяжении анализируемого периода (2008–2021гг.) в целом имела положительную направленность. Так, на фоне практически двукратного увеличения областного посевного клина, в Северной почвенно-климатической зоне его изменение (тренд) составило 122,0 % от средней за весь период, в Западной и Центральной – 84,4–86,9 % соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение площадей посева и урожаев озимой пшеницы по почвенно-климатическим зонам Оренбургской области (2008–2021 гг.)

Почвенно-климатическая зона	Площадь посева			Валовой сбор			
	средняя, га	изменение (тренд)		средний, га	изменение (тренд)		дополнительный, т/га
		га	% от средней		т	% от среднего	
Северная	56319	68735	122,0	99097	169000	170,5	2,45
Западная	138000	116510	84,4	235196	299500	127,3	2,57
Центральная	79858	69447	86,9	117540	122020	103,8	1,75
Итого по зонам	274177	254692	92,9	451840	590520	130,6	2.31
В целом по области	319644	315105	98,6	511612	670000	130,9	2,12

В Северной почвенно-климатической зоне самое заметное изменение (тренд) посевных площадей (18700 га или 217,2 %) отмечено в Шарлыкском районе, а из территорий Западной зоны – в Новосергиевском районе (27380 га или 213,6 %). В Сакмарском районе, входящем в Центральную почвенно-климатическую зону, изменение (тренд) посевных площадей составило 17812 га, или 148,8 %. В итоге указанных преобразований к завершению исследуемого периода наибольшие посевные площади озимой пшеницы оказались сосредоточенными в Западной зоне (44,9 % от областных), а участие Центральной и Северной в среднем составило 26,0–18,3 %.

Анализ валовых сборов зерна подтвердил наибольший вклад исследуемых территорий в формирование регионального урожая озимой пшеницы. Хозяйства Западной почвенно-климатической зоны обеспечили 52,5 % от среднеобластного валового сбора. В Центральной и Северной почвенно-климатических зонах среднегодовой сбор составил 26,0–21,9 % от общего. Примечательно, что в располагающих 85,8 % областных посевных площадей территориях в среднем было выращено 88,3 % суммарного урожая озимой пшеницы, то есть её продуктивность здесь заметно выше.

Выявлена значительно превышающая межгодовую вариабельность посевных площадей динамика валовых сборов, с коэффициентом вариации 65,4 % в целом по области и 63,8 % – в среднем по исследуемым зонам, с максимальными значениями в Центральной почвенно-климатической зоне (71,2 %). Это обстоятельство указывает на существенное влияние на величину валовых сборов ещё и внешних биотических и абиотических факторов, изменяющих урожайность как в положительную, так и в отрицательную сторону. В числе первых можно выделить адаптацию агротехнологий к биологическим потребностям озимой пшеницы, их ресурсосберегающую направленность, а в числе вторых – неуправляемое и очень контрастное изменение метеорологических параметров, ограничивающих реализацию биологической продуктивности выращиваемых сортов [18].

Более весомая прибавка валовых сборов зерна озимой пшеницы относительно увеличения площади посева, составившая 130,9 % в целом по области и 130,6 % в сумме по исследуемым зонам, свидетельствует о опережающем росте продуктивности пшеничных полей над ростом их площади. Наиболее высокий дополнительный сбор зерна на каждый добавленный гектар посевной площади (2,45–2,57 т/га) отмечен в Северной и Западной почвенно-климатических зонах, а самый низкий – в Центральной (1,75 т/га), при областном показателе 2,12 т/га.

Общеизвестно, что резко-континентальный климат степного Оренбуржья выступает в роли одного из главных законодателей богарного земледелия, особенно при выращивании озимой пшеницы, имеющей почти годовой период вегетации. Аномальные проявления климата могут существенно влиять на формирование её продуктивности в течение трёх длительных временных отрезков, включающих летне-осенний, зимний и весенне-летний периоды, каждому из которых свойственна метеорологическая нестабильность. Чаще всего она выражается в скудности атмосферных осадков, как тёплого, так и холодного периодов года и чрезмерно высоких температурах летнего периода, вызывающих проявления засушливости. Следствием указанных проявлений является значительное сокращение уборочных площадей относительно площадей посева, снижение урожайности и валовых сборов зерна (таблица 2).

Таблица 2 – Изменение уборочных площадей озимой пшеницы по почвенно-климатическим зонам Оренбургской области (2008–2021 гг.)

Почвенно-климатическая зона	Уборочная площадь						
	средняя, га	изменение (тренд)		убыль от посева до уборки			
		га	% от средней	средняя, га	от площади посева, %		
					средняя	мах (год)	min (год)
Северная	54064	71100	131,5	2225	4,0	21,4 (2010)	0,0 (2017)
Западная	131488	107300	81,6	6515	4,7	16,0 (2021)	0,0 (2020)
Центральная	72033	68100	94,5	8349	10,5	52,5 (2010)	0,1(2009)
Итого по зонам	257585	246500	95,7	17210	6,3	27,7 (2010)	0,2 (2009)
В целом по области	297026	298000	100,3	22617	7,1	31,5 (2010)	0,2 (2017)

Анализ величин уборочных площадей подтвердил их высокую вариабельность по годам – от 33,1 % в Западной почвенно-климатической зоне до 49,7 % в Северной, связанную в основном с расширением посевных площадей, и достаточно ощутимую убыль относительно площадей посева. Наибольший прирост уборочных площадей относительного средней за 2008–2021 гг. величины этого показателя (131,5%) отмечен в Северной почвенно-климатической зоне, а в абсолютном выражении – в Западной (на 107300 га).

Наиболее ощутимая убыль уборочных площадей относительно площади посева, составившая в целом по области 7,1 % (22617 га) и 6,3% (17210 га) в сумме по исследуемым зонам, отмечена в Центральной почвенно-климатической зоне. Она оказалась равной 8349 га или 10,5 % от площади посева. В Западной и Северной почвенно-климатических зонах абсолютная убыль уборочных площадей составила 6515–2225 га при практически равных относительных показателях – 4,7–4,0 %. Из административных районов Северной почвенно-климатической зоны наибольшая убыль площадей уборки относительно площадей посева наблюдалась в Бугурусланском районе (6,8 %), в Западной почвенно-климатической зоне – в Александровском районе (8,1 %) и в Центральной – в Оренбургском районе (17,2 %). Самыми неблагоприятными для высокой сохранности посевов практически на всей территории области оказались 2010 и 2021 гг., когда из уборки выбыли от 15,7 % до 52,1% (2010 г.) и от 16,0 % до 23,7 % (2021 г.) засеянных площадей в Западной и Центральной почвенно-климатических зонах соответственно.

Корреляционно-регрессионный анализ подтвердил зависимость валовых урожаев от площадей посева, уборки и урожайности озимой пшеницы, характеризующуюся определёнными пространственными особенностями (таблица 3).

Таблица 3 – Связь валовых урожаев зерна с площадями посева, уборки и урожайностью озимой пшеницы по почвенно-климатическим зонам Оренбургской области (2008–2021 гг.)

Почвенно-климатическая зона	Корреляция валовых сборов зерна (r) с факторными признаками				Уравнение множественной регрессии в стандартизованной форме
	x_1	x_2	x_3	x_4	
Северная	0,80	0,84	0,73	0,74	$t_y = 0{,}8798t_{x_1} - 0{,}2184t_{x_2} + 0{,}6455t_{x_3} - 0{,}0473t_{x_4}$
Западная	0,64	0,75	0,82	0,84	$t_y = -1{,}6144t_{x_1} + 2{,}0709t_{x_2} - 2{,}4772t_{x_3} + 2{,}9444t_{x_4}$
Центральная	0,61	0,80	0,80	0,81	$t_y = -0{,}5552t_{x_1} + 1{,}2140t_{x_2} - 1{,}8144t_{x_3} + 2{,}2176t_{x_4}$

Примечание. *x_1 – площадь посева, га; x_2 – площадь уборки, га; x_3 – урожайность с посевной площади, т/га; x_4– урожайность с уборочной площади, т/га.*

В Северной почвенно-климатической зоне, при наименьшей среди исследуемых территорий убыли уборочных площадей относительно площадей посева, валовой сбор зерна в большей степени зависел от площади посева (коэффициент $\beta_1 =$ 0,8798) и урожайности с посевной площади (коэффициент $\beta_3 =$ 0,6455). Здесь самое меньшее среди территорий области изменение метеорологических параметров ещё позволяет для наращивания производства зерна полагаться на экстенсивные методы. В Западной и Центральной почвенно-климатических зонах связь валовых урожаев с площадями посева оказалась значительно ниже, с коэффициентом корреляции Пирсона (r) 0,64–0,61.

В этих зонах, характеризующихся большей убылью уборочных площадей относительно площадей посева, преимущественное прямое влияние на валовой сбор зерна оказывали факторы интенсификации – величины убранных площадей (коэффициент β_2 =2,0709–1,2140) и их урожайность (коэффициент β_2 =2,9444–2,2176).

Сильной зависимости убыли уборочных площадей относительно площадей посева от метеорологических условий не выявлено. Во всех исследуемых территориях связь этих факторов оказалась средней, с преимущественным прямым влиянием сумм активных температур всего периода вегетации – от посева до уборки. Наиболее связанными они оказались в Северной и Западной почвенно-климатических зонах, с коэффициентом корреляции Пирсона (r) 0,46–0,49.

Вполне очевидно, что увеличение площадей «потерянных» к уборке посевов озимой пшеницы в особенно аномальные по температурному режиму и условиям увлажнения годы связан преимущественно с усиливающим губительным воздействием метеорологических параметров на слабые посевы. Такие посевы, как правило, формируются при игнорировании интенсивных технологических приёмов (посев засухоустойчивых и жаростойких сортов, внедрение влагосберегающих приёмов обработки почвы, регулирование условий минерального питания, защита посевов от вредных объектов и др.), низком качестве их выполнения и адаптивности технологий в целом, особенно при отсутствии квалифицированного агрономического сопровождения.

Связь урожайности с суммой активных температур от посева до уборки озимой пшеницы во всех исследуемых почвенно-климатических зонах оказалась обратной сильной (r = –0,70–0,76), а с суммой всех осадков от посева до уборки, включая осадки холодного периода – прямой средней (r = 0,58–0,63). Наиболее выраженная обратная зависимость урожайности зерна от термических ресурсов (коэффициент $\beta_1 = –0{,}7376$) отмечена в Северной почвенно-климатической зоне, а прямая зависимость от количества атмосферных осадков (коэффициент $\beta_2 = 0{,}3911$) – в Центральной почвенно-климатической зоне (таблица 4).

Таблица 4 – Связь урожайности зерна с убранной площади с метеорологическими параметрами по почвенно-климатическим зонам Оренбургской области (2008–2021 гг.)

Почвенно-климатическая зона	Урожайность зерна, т/га			Уравнение множественной регрессии в стандартизованной форме
	средняя	min (год)	max (год)	
Северная	1,75	0,90 (2012)	2,98 (2020)	$t_y = -0{,}7376t_{x_1} + 0{,}2668t_{x_2}$
Западная	1,73	0,91 (2012)	3,02 (2020)	$t_y = -0{,}3954t_{x_1} + 0{,}1760t_{x_2}$
Центральная	1,55	0,87 (2010)	2,59 (2020)	$t_y = -0{,}5101t_{x_1} + 0{,}3911t_{x_2}$

Примечание. *x_1 – Сумма активных температур воздуха, от посева до уборки, °С; x_2 – сумма всех осадков от посева до уборки, включая холодный период, мм.*

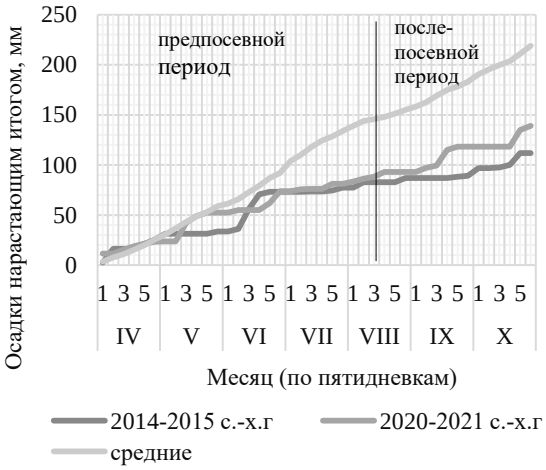
Таким образом, приведённые результаты исследований достаточно убедительно свидетельствуют о существенной связи валовых сборов зерна озимой пшеницы с метеорологическими параметрами. В условиях богарного земледелия данное обстоятельство следует рассматривать в качестве ключевого звена при разработке адаптационных мероприятий, направленных на сбережение и рачительное расходование влаги, особенно в условиях меняющегося климата [19].

Ретроспективный анализ метеорологических параметров истекшего тридцатидвухлетнего периода (1990–2021 гг.) выявил устойчивую тенденцию повышения засушливости климата на всей территории Оренбургской области. Связанное с ростом термических ресурсов на фоне уменьшающегося количества осадков она выражается в ощутимом ухудшении условий влагообеспеченности, что подтверждается отрицательной динамикой ГТК Селянинова, наиболее отчётливо выраженной в Центральной почвенно-климатической зоне. Здесь ГТК всего тёплого периода года снизился за указанный период на 0,23 единицы и оказался равен 0,62 единицам, характеризуя условия увлажнения как очень засушливые. Отрицательный тренд ГТК отмечен и по отдельным периодам вегетации – за период парования он составил 59,2 % от среднего, за период осенней вегетации – 30,5 % и 43,2 % – в весенне-летнюю вегетацию.

Жесткий режим увлажнения в целом за анализируемый период (1990–2021 гг.) сложился как в предпосевной период (период парования, с начала апреля до середины августа), так и период осенней вегетации (с середины августа до конца октября) (ГТК

0,54–0,59), который характеризовался еще и длительными бездождевыми периодами на фоне 25,0–30,0 °С среднесуточной температуры воздуха, дополнительно усугубляющими ситуацию. Наиболее выраженное проявление указанных климатических аномалий, особенно длительных периодов без агрономически эффективных дождей (менее 10 мм), наблюдается в последнее время. Продолжительность таких периодов в отдельные годы достигает 30–50 дней, а за вычетом агрономически неэффективных осадков – более двух месяцев.

В этом отношении показателен пример 2014–2015 сельскохозяйственного года в Центральной почвенно-климатической зоне, когда за период парования и осенней вегетации (с апреля по октябрь) было отмечено 112 мм осадков или 51,1 % от средних за 2008–2021 гг. (рисунок 1а).



а

б

Рисунок 1 – Накопление осадков в предпосевной и послепосевной периоды вегетации в особо аномальные годы (а) и изреженные, слабые всходы озимой пшеницы (б, 2021 г.) при традиционных технологических подходах, Центральная почвенно-климатическая зона

Осадки характеризовались крайней неравномерностью и скудностью, а засушливые условия установились сразу же после схода снега. Так, первый длительный практически без дождевой период отмечен с 10 апреля по 10 июня, когда сумма выпавших в течении пяти разрозненных дней по 2,2–5,6 мм осадков составила только 19,7 мм, а в период с 6 мая по 11 июня осадков не было вообще. Второй, ещё более длительный период, начавшийся 25 июня, длился практически до завершения осенней вегетации – к 20 октября отмечено только 26,7 мм осадков, сложившихся из десяти незначительных дождей (по 0,9–7,6 мм).

Особенно напряжённый режим выпадения осадков стал характерным для периода посева и формирования всходов (август–сентябрь). К примеру, в анализируемый 2014–2015 сельскохозяйственный год их отмечено только 11,8 мм – четыре незначительных дождя по 1,0–5,5 мм.

Аналогичные условия увлажнения отмечали и в другие годы, а самым близким к ним оказался 2020/21 сельскохозяйственный год, когда за все время парования и осенней вегетации выпало 139 мм осадков, а периоды без дождей или со скудными осадками были такими же длительными.

Как показали результаты полевых исследований, на фоне влагорасточительной основной обработки почвы (как правило, глубокая вспашка с заделкой пожнивных остатков), некачественной предпосевной подготовки почвы (использование

разрегулированных, невыдерживающих оптимальную глубину, устаревших культиваторов для сплошной обработки), использования семян с невысокими посевными кондициями и других технологических нарушений (несоблюдение сроков посева, норм высева семян, игнорирование химической защиты семян и растений и др.) происходит формирование недружных, изреженных, слабых всходов, с низкой вероятностью сохранения жизнеспособности в период зимовки и весенне-летней вегетации (рисунок 1б).

Наблюдения показали, что самой неблагоприятной особенностью неактивного периода вегетации озимой пшеницы в Оренбургской области является его продолжительность, составляющая обычно пять-пять с половиной месяцев, из которых более четырёх месяцев составляет зимний период. В это время растения подвергаются воздействию большого числа внешних факторов, снижающих иммунитет и ослабляющих общую устойчивость. Среди них отмечаются активные факторы как живой (вредители и возбудители болезней различной этиологии и др.), так и неживой природы. В числе последних наиболее ощутимое воздействие оказывают метеорологические условия. Еще до наступления устойчивого снежного покрова часто отмечаются критические понижения температуры, до 22,9–29,0 °С мороза, как это было в ноябре–декабре 2009, 2011, 2016 и 2018 гг. Нередкими стали и оттепели, с дождём, скоплением воды под неглубоким снегом и последующим образованием притёртой ледяной корки с вмороженными в неё растениями (декабрь 2020 г.). Успешность перезимовки при наступлении таких метеорологических проявлений значительно снижается, надземная вегетативная масса растений большей частью отмирает, в лучшем случае сохраняется 1–2 самых крепких побега кущения, NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) от осенних значений снижается вдвое-втрое (с 0,70–0,80 до 0,20–0,30 единиц) (рисунок 2).

а б

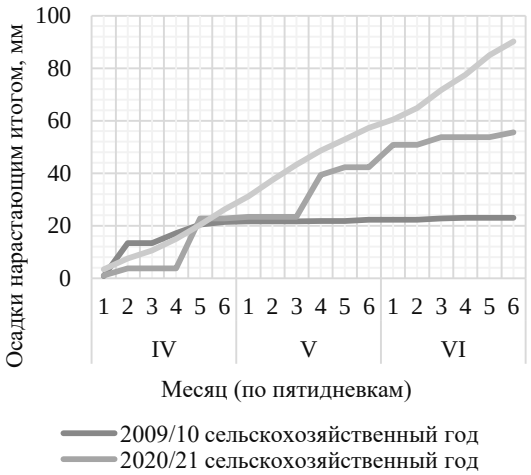
Рисунок 2 – Изменение внешнего вида пшеничного поля при благоприятном осеннем развитии (а) и критических условиях перезимовки (б), Центральная почвенно-климатическая зона (2018/19 сельскохозяйственный год)

По результатам наших многолетних наблюдений сохраняют жизнеспособность в таких условиях только хорошо развившиеся с осени, сформировавшие мощную корневую систему и три–четыре крепких побега кущения, прошедшие закалку растения при соответствующем уходе с самых ранних весенних дней. Чрезвычайно положительное влияние на быстрое восстановление ослабленного перезимовкой

агроценоза в условиях Оренбуржья оказывает весеннее боронование, способствующее улучшению воздушного режима почвы, «закрытию» влаги, вычёсыванию отмерших растений, в том числе пораженных болезнями. В годы с затяжной, холодной весной, когда микробиологические процессы в почве протекают неактивно и наблюдается дефицит подвижных форм элементов минерального питания, для быстрого весеннего старта целесообразна подкормка комплексными минеральными удобрениями, путем поверхностного разбрасывания по мёрзло-талой почве или врезания в корнеобитаемый слой по физически спелой почве.

Термические ресурсы весенне-летнего периода вегетации в исследуемый период характеризовались устойчивой тенденцией нарастания сумм активных температур. Их положительный тренд составил 105 °С (8,4 %) с Северной и 185 °С (14,3 %) – в Центральной почвенно-климатических зонах. На фоне уменьшившегося на 12,0 мм (11,1 %) – 25,0 (29,7 %) количества атмосферных осадков, длительных без дождевых периодов, условия влагообеспеченности растений значительно ухудшились.

Самые скудные атмосферные осадки в весенне-летнюю вегетацию наблюдали в 2010 г., одном из самых низкоурожайных, когда с апреля по июнь в Центральной почвенно-климатической зоне их количество составило 23 мм (25,5 % от средних). После прошедшего в первой пятидневке апреля ощутимого для растений дождя (12,6 мм) за всё остальное время до завершения вегетации озимой пшеницы отмечено только 10,4 мм, выпавших в виде разрозненных по дням осадков от 0,1 до 3,7 мм (рисунок 3).



а

б

Рисунок 3 – Накопление осадков весенне-летнего периода вегетации в особо аномальные годы (а) и погибшие от обезвоживания посевы озимой пшеницы (б, 2021 г.), Центральная почвенно-климатическая зона

В менее засушливом (56 мм или 62,2 % от средних), но более жарком 2021 г., с абсолютным за 32-хлетний период наблюдений (1990–2021 гг.) максимумом среднесуточной температуры воздуха в мае (21,2 °С), июне (24,7 °С), июле (24,4 °С) и августе (25,9 °С), превысившим на 5,2–4,0–2,0–4,9 °С средние за этот период значения, отмечена массовая гибель пшеничных агроценозов ещё до формирования репродуктивных органов. Площадь неподлежащих уборке полей, ввиду отсутствия экономической целесообразности, в целом по области составила 109029 га, или 18,4 % от засеянных площадей. В 2010 г. таких полей было ещё больше – 113114 га или 31,5 % от площади посева.

Таким образом, результаты проведённых исследований свидетельствуют о тесной связи эффективности производства зерна озимой пшеницы в Оренбургской области с метеорологическими параметрами, претерпевающими на протяжении уже нескольких десятилетий существенные изменения.

Стабилизация валовых урожаев в условиях снижающейся благоприятности климата предполагает разработку комплекса адаптационных мероприятий, направленных на нивелирование влияния чрезмерной солнечной радиации и сокращения количества атмосферных осадков. В этом отношении целесообразна коренная перестройка всего технологического процесса, направленная на максимальную реализацию биологического потенциала жаростойких и засухоустойчивых сортов, выступающих в качестве ключевого звена. Особое внимание должно быть направлено и на качественное проведение технологических приёмов, обеспечивающих сохранение почвенной влаги на всех этапах вегетации, а также технологическую дисциплину, невозможные без грамотного агрономического сопровождения.

Выводы

Посевные площади озимой пшеницы в Оренбургской области имеют устойчивую тенденцию роста. При почти двукратном увеличении областного посевного клина в Северной почвенно-климатической зоне дополнительно засеянная площадь составила 122,0 % и 84,4–86,9 % – в Западной и Центральной зонах. Динамика уборочных площадей во всех почвенно-климатических зонах связана с расширением площадей посева и убылью уборочных площадей относительно засеянной площади. Наибольший прирост уборочных площадей относительного средней за 2008–2021 гг. величины (131,5 %) наблюдается в Северной почвенно-климатической зоне, а в абсолютном выражении – в Западной (на 107300 га). Наиболее ощутимая убыль уборочных площадей относительно площади посева, составившая 8349 га, или 10,5%, отмечена в Центральной почвенно-климатической зоне.

Валовые урожаи зерна озимой пшеницы имеют сильную связь с площадями уборки и урожайностью зерна, наиболее выраженную в Центральной и Западной почвенно-климатических зонах. Связь убыли уборочных площадей с метеорологическими параметрами средняя, с преимущественным прямым влиянием сумм активных температур всего периода вегетации. Наиболее сильная их связь наблюдается в Северной и Западной почвенно-климатических зонах, с коэффициентом корреляции Пирсона (r) 0,46–0,49. Связь урожайности зерна с суммой активных температур от посева до уборки обратная сильная (r = –0,70–0,76), а с суммой всех осадков от посева до уборки, включая осадки холодного периода – прямая средняя (r = 0,58–0,63).

Для поддержания высокого уровня и стабильности валовых сборов в сложившихся метеорологических условиях целесообразно проведение комплекса технологических мероприятий адаптационного характера, предполагающих снижение климатического прессинга на растения и способствующих более высокой реализации их биологического потенциала.

Исследование выполнено в рамках НИР ОФИЦ УрО РАН (ИС УрО РАН) «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем», № ГР АААА-А21-121011190016 -1.

Литература

1. ЕМИСС. Государственная статистика. Урожайность сельскохозяйственных культур (в расчёте на убранную площадь). [Электронный ресурс] Режим доступа: http:// https://www.fedstat.ru/indicator/31533 (дата обращения 22.03.2022).

2. Кумратова А. М., Алещенко В. В. Продуктивность зернового производства в России: тенденции и перспективы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 142–146. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-142-146

3. Гулянов Ю. А. Совершенствование приёмов формирования высокопродуктивных агроценозов озимой пшеницы в степной зоне Южного Урала. Дисс. … д. с.-х. н. Оренбург: ФГОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет», 2007. 434 с.

4. Соболин Г. В., Гулянов Ю. А., Коровин Ю. В., Сатункин И. В., Хилько Л. Н. Экология и мониторинг окружающей среды // Повышение устойчивости биоресурсов на адаптивно-ландшафтной основе: материалы международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2003. С. 166–169.

5. Попова О. Б. Климатические особенности холодного периода года Оренбургской области // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Университетский комплекс, как региональный центр образования, науки и культуры». Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. С. 1027–1032.

6. Гулянов Ю. А. Предпосылки и перспективы реализации природоподобных приёмов обработки почвы в агротехнологиях степной зоны Оренбургского Предуралья // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 2(22). С. 37–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-37-49

7. Хрипунов А. И., Федотов А. А., Лиходиевская С. А. Влияние засух на урожайность озимой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 11. С. 19–21.

8. Schierhorn F., Hofmann M., Adrian I., Bobojonov I., Muller D. Spatially varying impacts of climate change on wheat and barley yields in Kazakhstan // Journal of Arid Environments. 2020. Vol. 178. P. 104–164. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104164.

9. Verge X. P. S., De Kimpe C., Desjardins R. L. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential // Agricultural and Forest Meteorology. 2007. No. 142. P. 255–269. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.06.011.

10. Raffa D. W., Bogdanski A., Tittonell P. How does crop residue removal affect soil organic carbon and yield? A hierarchical analysis of management and environmental factors // Biomass and Bioenergy. 2015. No. 81. P. 345-–355. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.07.022.

11. O'Leary G. J., Liu D. L., Ma Y., Li F. J., McCaskill M., Conyers M., Dalal R., Reeves S., Page K., Dang Y. P., Robertson F. Modelling soil organic carbon 1. Performance of APSIM crop and pasture modules against long-term experimental data // Geoderma. 2016. No. 264. P. 227–237. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.11.004.

12. Muhu-Din Ahmed G. H., Salam khan A., Li Ming-ju., Habibullah K., Kashif M. Early selection of bread wheat genotypes using morphological and photosynthetic attributes conferring drought tolerance // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18. P. 2483–2491. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)62083-0.

13. Сухоруков А. Ф., Сухоруков А. А. Селекция озимой пшеницы на засухоустойчивость в Среднем Поволжье // Аграрная наука. 2017. № 5. С. 15–18.

14. Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы при безотвальной обработке почвы в зависимости от доз минеральных удобрений в севооборотах ЦЧР // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3 (27). С. 107–116. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-107-116.

15. Система устойчивого ведения сельского хозяйства Оренбургской области // Под ред. Еременко В. К., Крючкова А. Г., Тихонова В. Е., Часовских Н. П., Белькова Г. И. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1999. С. 6–117.

16. Осадки и температура. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://aisori-m.meteo.ru/aisori/select.xhtml (дата обращения 15.03.2022).

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

18. Гулянов Ю. А. Пути повышения зимостойкости и сохранности к уборке озимой пшеницы в степи Южного Урала // Земледелие. 2005. № 6. С. 24–25.

19. Гулянов Ю. А., Левыкин С. В., Казачков Г. В. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования на основе природоподобных технологий // Вопросы степеведения. 2018. № XIV. С. 57–61. DOI: 10.2441/9999-006A-2018-00004.

References

1. EMISS. State statistics. Crop yields (per harvested area). [Electronic resource]. Access point: http:// https://www.fedstat.ru/indicator/31533 (reference's date 22.03.2022).

2. Kumratova A. M., Aleshchenko V. V. Productivity of grain production in Russia: trends and prospects // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2021. Vol. 16. No. 3(63). P. 142–146. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-142-146.

3. Gulyanov Yu. A. Improving the methods of formation of highly productive agrocenoses of winter wheat in the steppe zone of the Southern Urals. Diss. … Dr. Sc. (Agr.). Orenburg: Orenburg State Agrarian University, 2007. 434 p.

4. Sobolin G. V., Gulyanov Yu. A., Korovin Yu. V., Satunkin I. V., Khilko L. N. Ecology and monitoring of the environment // Materials of the international scientific and practical conference "Improving the sustainability of bioresources on an adaptive landscape basis". Orenburg: Orenburg State Agrarian University, 2003. P. 166–169.

5. Popova O. B. Climatic features of the cold period of the year in the Orenburg region // Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference "University complex as a regional center of education, science and culture". Orenburg: Orenburg State University, 2021. P. 1027–1032.

6. Gulyanov Yu. A. Background and prospects for the implementation of nature-lice cultivation techniques in the agrotechnologies of the steppe zone of Orenburg Urals // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2020. No. 2(22). P. 37–49. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-37-49.

7. Khripunov A. I., Fedotov A. A., Likhodievskaya S. A. Influence of drought on winter wheat productivity // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2014. No. 11. P. 19–21.

8. Schierhorn F., Hofmann M., Adrian I., Bobojonov I., Muller D. Spatially varying impacts of climate change on wheat and barley yields in Kazakhstan // Journal of Arid Environments. 2020. Vol. 178. P. 104–164. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104164.

9. Verge X. P. S., De Kimpe C., Desjardins R. L. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential // Agricultural and Forest Meteorology. 2007 No. 142. P. 255–269. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.06.011.

10. Raffa D. W., Bogdanski A., Tittonell P. How does crop residue removal affect soil organic carbon and yield? A hierarchical analysis of management and environmental factors // Biomass and Bioenergy. 2015. No. 81. P. 345-–355. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.07.022.

11. O'Leary G. J., Liu D. L., Ma Y., Li F. J., McCaskill M., Conyers M., Dalal R., Reeves S., Page K., Dang Y. P., Robertson F. Modelling soil organic carbon 1. Performance of APSIM crop and pasture modules against long-term experimental data // Geoderma. 2016. No. 264. P. 227–237. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.11.004.

12. Muhu-Din Ahmed G. H., Salam khan A., Li Ming-ju., Habibullah K., Kashif M. Early selection of bread wheat genotypes using morphological and photosynthetic attributes conferring drought tolerance // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18. P. 2483–2491. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)62083-0.

13. Sukhorukov A.F., Sukhorukov A.A. Selection of winter wheat for drought tolerance in the Middle Volga region // Agrarian Science. 2017. No. 5. P. 15–18.

14. Lukyanov V. F., Nitchenko L. B. Yield and quality of winter wheat grain under non-moldboard soil tillage depending on doses of mineral fertilizers in the crop rotations of the Central Chernozem Region // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 107–116. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-107-116.

15. System of sustainable agriculture in the Orenburg region // Ed. by Eremenko V. K., Kryuchkova A. G., Tikhonova V. E., Chasovskikh N. P., Belkova G. I. Orenburg: Orenburgskoe knizhnoe izdatelstvo, 1999. P. 6–117.

16. Precipitation and temperature. [Electronic resource]. Access point: http://aisori-m.meteo.ru/aisori/select .xhtml (reference's date 15.03.2022).

17. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.

18. Gulyanov Yu. A. Ways to increase winter hardiness and safety for harvesting winter wheat in the steppe of the Southern Urals // Zemledelie. 2005. No. 6. P. 24–25.

19. Gulyanov Yu. A., Levykin S. V., Kazachkov G. V. Optimization of agricultural land use on the basis of nature-like technologies // Steppe Science. 2018. No. XIV. P. 57–61. DOI: 10.2441/9999-006A-2018-00004.

UDC 633.11: 551.5

Gulyanov Yu. A.

FEATURES OF WINTER WHEAT GRAIN PRODUCTION IN CLIMATIC CONDITIONS OF THE SOUTHERN URALS

Summary. *An analysis of the characteristics of winter wheat grain production in the climatic conditions of the Southern Urals is necessary to develop a strategy for an adequate technological response to natural and anthropogenic challenges. The purpose of the research was to evaluate the effectiveness of winter wheat grain production and to determine the relationship between gross yields and meteorological parameters under climate changing conditions. The studies were carried out in various soil and climatic zones (Northern, Western, and Central) of the Orenburg region in 2008–2021. To process digital*

material, methods of statistical analysis were used. A steady trend of expanding the sowing area of winter wheat due to increase in its share in the crop structure was identified; noticeable dynamics of harvested areas associated with their decrease by the time of harvesting relative to the sown area were revealed. The negative impact of abnormal climatic events on the crops safety, yields stability and gross grain yields was confirmed. The highest additional grain harvest from each added hectare of sown area (2.45–2.57 t/ha) was noted in the Northern and Western zones; the most significant decrease in harvested area relative to the sown area (8349 ha, or 10.5 %) – in the Central. The most pronounced average relationship between the decrease in harvested areas and the temperature regime as well as moisture conditions, with the predominant direct influence of the sums of active temperatures of the entire growing season (r = 0.46–0.49), was noted in the Northern and Western zones. The relationship of grain yield with the sum of active temperatures from sowing to harvest in all zones is inversely strong (r = -0.70–0.76), and with the sum of all precipitation from sowing to harvest, including precipitation of the cold period, it is direct average (r = 0.58–0.63). A radical restructuring of the entire technological process, aimed at maximizing the biological potential of heat-resistant and drought-tolerant varieties, which act as a key link, can become a promising direction for stabilizing gross yields in the current climatic conditions.

Keywords: *Orenburg region, soil-climatic zones, Triticum aestivum L., winter wheat, climate change, restructuring of the technological process.*

Гулянов Юрий Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение ФГБУН Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ РАН); 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; e-mail: iury.gulynov@yandex.ru.

Gulyanov Yuriy Aleksandrovich, Dr. Sc. (Agr.), professor, leading researcher of the Department of steppe studying and environmental management, Institute of the Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Orenburg Federal Research Center” of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 11, Pionerskaya str., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: iury.gulynov@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 29.03.2022
Дата принятия к печати – 15.05.2022