

ЗЕРНОВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КУКУРУЗЫ (*ZEA MAYS L.*) В УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ КАК ФУНКЦИЯ СКОРОСПЕЛОСТИ ГИБРИДОВ

А. Э. Панфилов, П. Ю. Овчинников

В системе кормопроизводства Уральского региона кукуруза используется главным образом в качестве источника высококонцентрированного крахмала, поэтому независимо от вида заготавливаемых из нее кормов основное назначение этой культуры – производство фуражного зерна. Исследования посвящены изучению влияния скороспелости гибридов и погодных условий на зерновую продуктивность кукурузы, выявлению связи урожайности со скороспелостью и основными элементами ее структуры. Исследована реакция 26 различных по скороспелости гибридов ультраранней и раннеспелой групп диапазона ФАО от 120 до 180 единиц на варьирование гидротермических условий в двух природно-климатических зонах: лесолуговой Свердловской области и южной лесостепной Челябинской области. В ходе фенологических наблюдений за одновременно созревающими гибридами кукурузы выявлена тесная прямая связь продолжительности периода от всходов до цветения початка с числами ФАО. В лесолуговой зоне Урала разрыв в сроках цветения гибридов, различающихся по характеристике ФАО на 10 единиц, составлял в среднем 2,5 дня, в южной лесостепи – 2 дня. В южной лесостепной зоне основным фактором, лимитирующим урожайность зерна кукурузы, являются ресурсы влаги, тогда как в лесолуговой – ресурсы тепла. В условиях низкой обеспеченности теплом формируется обратная зависимость урожайности от чисел ФАО, что свидетельствует о разрыве между потенциальной и фактической продуктивностью, прогрессирующем по мере удлинения вегетационного периода гибридов. На высоком и достаточном температурном фоне эта зависимость трансформируется в прямую, выраженную в слабой или средней степени. Оптимальный с точки зрения реализации потенциала урожайности зерна уровень скороспелости гибридов для Среднего Урала соответствует интервалу ФАО 140–160, тогда как для лесостепи в исследованном диапазоне ФАО оптимума не обнаружено. Оценка образцов кукурузы с использованием селекционных индексов показала, что наиболее благоприятное сочетание урожайности и уборочной влажности зерна в обеих природных зонах показывают гибриды группы ФАО 120–160 Кубанский 102 МВ, Нур, К-140, Машук 140, кроме того, в условиях Южного Урала – Кубанский 141СВ, К-150, Машук 170, Среднего Урала – Таганай и К 160.

Ключевые слова: Средний и Южный Урал, гидротермические условия, кукуруза, скороспелость, числа ФАО, урожайность, влажность зерна, селекционный индекс.

В системе кормопроизводства Уральского региона кукуруза используется главным образом в качестве источника высококонцентрированного крахмала [1], поэтому независимо от вида заготавливаемых из нее кормов (силос из целых растений, измельченные початки, зерно, консервированное во влажном состоянии и др.), основное назначение этой культуры – производство фуражного зерна [2]. Значимость кукурузы как кормовой культуры обусловлена не только высокой потенциальной продуктивностью, но и оптимальным соотношением основных фракций крахмала: более 50% его приходится на долю амилопектина, представляющего собой так называемый «транзитный» крахмал [3, 4],

перевариваемый в тонком кишечнике животных, что в свою очередь препятствует закислению рубца и снижает риск возникновения ацидоза [5, 6]. В связи с этим в отечественной селекции значительную роль играют программы, посвященные выведению гибридов с высоким содержанием как общего, так и транзитного крахмала [4, 7, 8].

По данным различных авторов, содержание крахмала в эндосперме кукурузного зерна колеблется от 60 до 73% [9, 10, 11]. Вместе с тем для регионов с ограниченными ресурсами тепла отмечается пониженное содержание крахмала в зерне – менее 60% по отношению к сухой массе эндосперма [12, 13, 14]. Причина



заключается в том, что отложение крахмала, а также формирование амилопектиновых гранул в эндосперме происходит главным образом на заключительных этапах органогенеза и завершается к фазе физиологической спелости кукурузы, совпадающей с диапазоном влажности зерна от 35 до 40% [15, 16]. Следовательно, химический состав зерна находится в зависимости от стадии созревания и связанной с ней влажности зерна [17, 18, 19], что создает необходимость в создании и подборе гибридов, гарантированно созревающих до физиологической спелости в конкретных климатических условиях.

В Уральском регионе основным фактором, лимитирующим развитие кукурузы, являются ресурсы тепла [20], поэтому основное требование к адаптированным гибридам здесь заключается в необходимом уровне скороспелости. Создание раннеспелых и ультраранних гибридов – одно из приоритетных направлений отечественной селекции [21], тогда как в мировой селекции оно имеет ограниченное развитие, главным образом для обеспечения экспорта семян в северные регионы [22, 23]. Многолетними исследованиями, выполненными в условиях Южного и Среднего Урала, установлена эффективность возделывания раннеспелых и ультраранних гибридов [24, 25]. В то же время значительное разнообразие почвенно-климатических условий региона, включающего пять контрастных природных зон, требует уточнения оптимальных границ скороспелости гибридов в зависимости от направления использования, ресурсов тепла и влаги, а также минимальных значений этих ресурсов с учетом их вероятного многолетнего варьирования.

Цель исследования – установить влияние скороспелости гибридов и погодных условий на зерновую продуктивность кукурузы, выявить связь урожайности с основными элементами ее структуры.

Методы исследования

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ по теме: «Разработка технологии возделывания кукурузы для производства кормов с высоким содержанием энергии для обеспечения потребностей сельхозпредприятий Южного и Среднего Урала» и Уральского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН «Создание

и усовершенствование адаптивных технологий возделывания и переработки экономически значимых сельскохозяйственных культур на основе оптимизации биотических и абиотических факторов» (FNUW–2021–0001). В соответствии с целью исследований в 2019–2022 годы был заложен опыт в двух природно-климатических зонах: лесолуговой Свердловской области (координаты: 56.76 с. ш., 60.86 в. д.) и южной лесостепной Челябинской области (координаты: 55.29 с. ш., 61.82 в. д.). Предмет исследований – реакция 26 различных по скороспелости гибридов ультраранней и раннеспелой групп в диапазоне ФАО от 120 до 180 единиц на варьирование гидротермических условий.

Опыты заложены в трехкратной повторности при учетной площади делянки 10 м² и рендомизированном размещении вариантов. В ходе исследований регистрировались даты цветения початка; о дальнейшем развитии растений судили по уборочной влажности зерна. Метод учета урожая – сплошной поделяночный. Одновременно с учетом урожая початков отбирали средние образцы их для определения общей влажности зерна гравиметрическим методом путем высушивания при 105 °С до постоянной массы и анализа структуры урожая, который включал расчет выхода воздушно-сухих початков и зерна при обмолоте, числа рядов зерен в початке и зерен в ряду, массы 1000 зерен. По результатам анализа рассчитывали урожайность зерна при 14%-й влажности.

Технология закладки опыта включала следующие элементы: в качестве предшественника в лесолуговой зоне использован горох, в лесостепной – яровая пшеница; посевы размещали по осенней вспашке (глубина 20–22 см) с последующим выравниванием; удобрения вносили разбросным способом в суммарной дозе N₆₀P₆₀K₆₀ с заделкой в почву в процессе предпосевной культивации. Срок посева – вторая декада мая. Посев осуществляли вручную на глубину 5–7 см при ширине междурядий 70 см с нормой высева 70 тысяч семян на гектар. В процессе ухода за посевами при появлении у кукурузы 4–6 листьев вносили гербицид кросс-спектра с почвенным действием (форамсульфурон + йодосульфурон-метил-натрий + тиенкарбазон-метил + антидот ципросульфамид (31,5 + 1 + 10 + 15 г/л) в препаративной форме масляной дисперсии; норма расхода препарата – 1,5 л/га, рабочей жидкости – 200 л/га

ранцевым опрыскивателем Jacto; уборку осуществляли в третьей декаде сентября.

Отдельные годы исследований и природно-климатические зоны отличались контрастностью по температурному фону и условиям увлажнения (табл. 1).

В 2019 году в лесолуговой и южной лесостепной зонах сумма активных температур выше 10 °С была близка к средним многолетним значениям: отклонение составило 34 и 42 градуса соответственно. Следует отметить, что в условиях лесолуговой зоны средняя многолетняя сумма температур является дефицитной для кукурузы. Увлажнение в лесолуговой зоне было достаточным, в южной лесостепной – удовлетворительным. В 2020 году в обеих зонах наблюдались повышенный температурный фон и неравномерное распределение осадков: в южной лесостепи засушливые явления наблюдались в период с июня до конца второй декады июля; начиная с третьей июля увлажнение характеризуется как удовлетворительное. В лесолуговой зоне эффективных осадков не было в течение всего июля, что отрицательно отразилось на прохождении критического периода. Для 2021 года в обеих природных зонах характерна продолжительная засуха. В лесолуговой зоне во второй половине вегетации она периодически прерывалась осадками различной интенсивности, тогда как в южной лесостепи отсутствие эффективных осадков наблюдалось до середины августа. Период вегетации 2022 года в обеих зонах характеризуется как теплый и умеренно засушливый с неравномерным распределением ресурсов тепла и влаги. В начале периода отмечено избыточное увлажнение и недостаток тепла, во второй его половине – недостаток влаги и высокая теплообеспеченность.

Результаты и обсуждение

На динамику развития гибридов существенное влияние оказали условия вегетации (табл. 2). В лесолуговой зоне размах варьирования средней по гибридам продолжительности вегетативного периода (от всходов до цветения початка) составлял от 58 до 68 суток. В южной лесостепи в связи с более стабильной обеспеченностью теплом обсуждаемый показатель варьировал от 56 до 62 суток, что свидетельствует о сокращении амплитуды колебаний с 10 до 6 дней.

Необходимо отметить принципиально различный характер связи между продолжительностью анализируемого периода и температурным

фоном в двух почвенно-климатических зонах. В лесолуговой зоне зависимость характеризуется как монотонная: наиболее позднее цветение початка (через 68 дней после всходов) наблюдается на фоне дефицита тепла 2019 года, наиболее раннее (через 58 суток) – в 2021 году при максимальной обеспеченности теплом. В южной лесостепи также наблюдается удлинение периода при минимальной теплообеспеченности 2019 года и сокращение в 2020-м и 2022 годах, однако наибольшая его продолжительность обнаружена в 2021 году, который характеризовался максимальным температурным фоном. Растяжение межфазного периода можно объяснить длительным воздействием температур, которые превышали биологический оптимум для развития кукурузы [26]. Аналогичный характер колебаний по годам и пунктам исследований наблюдается в отношении отдельных гибридов, о чем свидетельствует, например, варьирование минимальных значений периода у наиболее раннего гибрида Кубанский 102 МВ (ФАО 120) и максимальных – у гибридов группы ФАО 180.

По данным корреляционного анализа наблюдается тесная (в отдельные годы близкая к функциональной) прямая связь продолжительности периода «всходы – цветение початка» с числами ФАО. Это позволяет рассматривать число ФАО как объективный показатель скороспелости гибридов и оперировать им при дальнейшем анализе результатов. Биологический смысл чисел ФАО заключается в том, что на среднеевропейских широтах увеличение этих чисел на каждые 10 единиц соответствует удлинению продолжительности вегетационного периода гибридов на 1 сутки [27]. Регрессионный анализ показывает, что в лесолуговой зоне Урала цветение гибридов, различающихся по характеристике ФАО на 10 единиц, происходило с разрывом от 2,3 до 3 дней (в среднем 2,5 дня), а в южной лесостепи – от 1,7 до 2,4 суток (2 дня) (рис. 1). Это подтверждает положение о том, что при продвижении с юга на север наблюдается усиление дифференциации динамики развития гибридов, различающихся по числам ФАО, под влиянием фотопериода и температурного фона [2, 28], и повышает требования к подбору гибридов по скороспелости для северных регионов кукурузосеяния.

Урожайность зерна гибридов кукурузы варьировала в зависимости от тепло- и влагообеспеченности периода вегетации (табл. 3).



В обеих зонах максимальная урожайность (средняя по гибридам) сформирована в условиях сравнительно теплого и умеренно засушливого 2022 года. Минимальный уровень продуктивности в лесолуговой зоне (1,98 т/га) получен в холодном и избыточно увлажненном 2019 году. В южной лесостепной зоне урожайность зерна в большей степени определялась ресурсами влаги, а не тепла, поэтому минимум здесь наблюдался на фоне жесткой засухи 2021 года, тогда как 2019 год в рейтинге лет занимал второе место.

Обоснование оптимального уровня скороспелости гибридов для заданных почвенно-климатических условий предполагает изучение связи продолжительности вегетационного периода с урожайностью и элементами ее структуры. Многолетние исследования, проведенные в традиционных зонах кукурузосеяния, показывают тесную прямую зависимость урожайности от чисел ФАО [29, 30, 31], обусловленную выраженной связью потенциальной продуктивности с числом зерен в початке и числом зерен в ряду [32, 33, 34].

Таблица 1 – Условия вегетации в период исследований (2019–2022 годы)

Год	Сумма $t > 10$ °С, градусов		Сумма осадков, мм		Гидротермический коэффициент Селянинова
	фактическая	отклонение от средней многолетней	фактическая	отклонение от средней многолетней	
Лесолуговая зона					
2019	1903	34	391	65	2,05
2020	2036	167	360	34	1,77
2021	2313	444	114	-212	0,49
2022	2058	189	209	-117	1,01
Южная лесостепная зона					
2019	2236	42	186	-40	0,83
2020	2408	214	149	-77	0,62
2021	2552	358	102	-124	0,40
2022	2275	81	210	-16	0,95

Таблица 2 – Связь продолжительности вегетационного периода кукурузы с числами ФАО в условиях Среднего и Южного Урала (2019–2022 годы)

Показатели	Год				
	2019	2020	2021	2022	2019–2022
Лесолуговая зона					
Период «всходы – цветение початка», дней:					
Средняя продолжительность	68	64	58	63	63
min	58	56	51	56	58
max	74	72	66	69	69
Коэффициент корреляции (r)	0,92	0,86	0,91	0,88	0,96
Коэффициент регрессии (b)	0,25	0,23	0,30	0,23	0,25
Критерий Стьюдента t_r ($t_{05} = 2,06$)	11,5	8,36	11,0	9,20	16,8
Южная лесостепная зона					
Период «всходы – цветение початка», дней:					
Средняя продолжительность	59	57	62	56	59
min	52	50	54	48	51
max	63	62	69	62	63
Коэффициент корреляции (r)	0,94	0,97	0,97	0,95	0,98
Коэффициент регрессии (b)	0,17	0,19	0,24	0,20	0,20
Критерий Стьюдента t_r ($t_{05} = 2,06$)	12,9	19,0	18,3	14,0	25,3

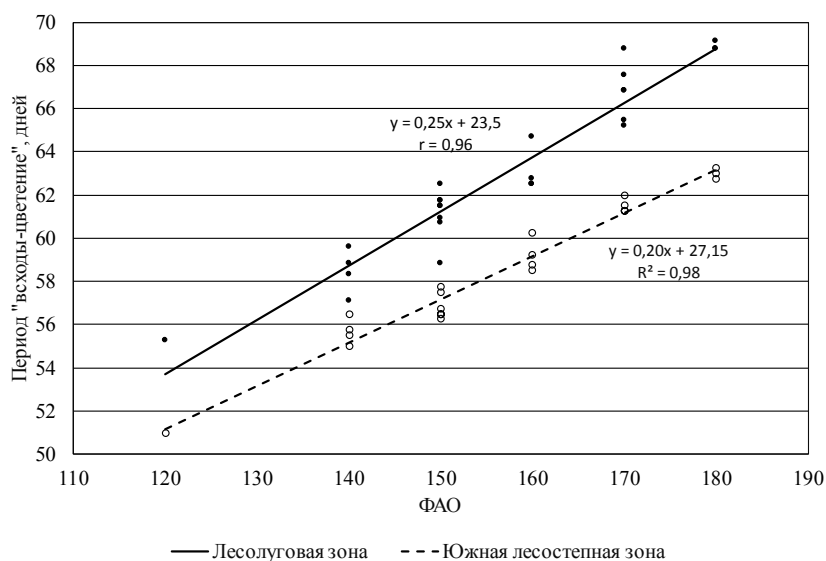


Рис. 1. Связь чисел ФАО и продолжительности периода от всходов до цветения початка для различных по скороспелости гибридов кукурузы в двух почвенно-климатических зонах (среднее за 2019–2022 годы)

Таблица 3 – Урожайность зерна различных по скороспелости гибридов кукурузы в пересчете на 14% влажность в условиях Среднего и Южного Урала (2019–2022 годы)

Гибрид	ФАО	Лесостепная зона					Южная лесостепная зона				
		2019	2020	2021	2022	среднее	2019	2020	2021	2022	среднее
Кубанский 102 МВ	120	3,98	3,29	2,47	3,93	3,42	5,08	3,59	2,94	4,10	3,93
Росс 130 МВ	140	1,83	1,73	1,82	4,46	2,48	5,28	5,34	4,25	5,72	5,15
К 140	140	2,75	2,65	3,46	4,90	3,45	5,04	4,15	3,77	5,26	4,55
Нур	140	2,93	2,92	3,85	4,33	3,51	4,38	4,83	4,05	4,83	4,52
Обский 140 СВ	150	1,87	2,71	4,07	5,40	3,52	5,13	4,90	4,18	5,12	4,83
Кубанский 141 МВ	150	2,00	2,44	4,08	4,78	3,36	5,46	5,14	3,84	5,37	4,95
Машук 140	150	3,09	2,90	3,91	4,25	3,55	5,49	4,19	3,28	4,89	4,46
Северина	150	1,77	3,16	3,51	5,43	3,49	5,32	4,32	3,62	5,29	4,64
К 150	150	2,74	2,86	3,89	4,84	3,59	5,01	4,42	3,20	4,66	4,32
Машук 150 МВ	150	1,66	2,47	3,91	5,33	3,36	4,79	4,87	4,28	4,36	4,57
Уральский 150	150	1,90	2,49	3,23	3,52	2,78	5,08	4,41	2,55	5,08	4,28
Берта	150	1,65	2,54	5,16	5,30	3,67	5,93	4,17	4,60	5,91	5,15
Таганай	150	1,97	2,48	4,02	5,80	3,58	4,19	3,96	4,10	5,23	4,37
Ладожский 148 СВ	160	1,40	2,65	3,66	5,41	3,29	4,79	5,18	4,32	5,06	4,84
К 160	160	3,06	2,52	4,32	6,16	4,02	5,13	3,93	3,65	5,77	4,62
Билляр 160	160	2,07	2,92	3,07	4,60	3,19	4,94	3,46	3,16	5,60	4,29
К 165	160	1,59	3,27	3,77	5,71	3,55	5,56	5,00	4,05	4,52	4,78
Байкал	170	1,39	3,18	3,24	5,05	3,24	5,18	4,61	4,50	5,18	4,87
Катерина СВ	170	1,54	2,64	3,84	4,31	3,09	5,76	4,97	3,54	4,93	4,80
Машук 170 МВ	170	2,19	3,91	3,71	5,32	3,80	5,63	5,45	3,36	6,14	5,14
Машук 172	170	1,40	2,84	3,25	5,38	3,23	5,32	4,42	4,74	6,22	5,18
К 170	170	2,10	4,10	3,84	5,04	3,78	5,44	4,87	4,57	6,86	5,43
Прохладенский 175	170	1,85	3,23	4,30	5,69	3,80	4,85	4,28	4,67	6,75	5,14
Шихан	180	1,13	2,64	3,36	5,04	3,06	5,07	4,23	4,36	5,29	4,74
Агата СВ	180	1,16	2,78	3,21	4,18	2,84	4,98	4,84	4,15	5,70	4,92
Дарина МВ	180	0,58	2,59	4,16	5,44	3,20	5,38	5,96	4,30	6,05	5,42
Среднее по гибридам		1,98 ±0,20	2,84 ±0,34	3,66 ±0,63	4,98 ±0,28	3,38 ±0,17	5,16 ±0,25	4,60 ±0,38	3,92 ±0,34	5,38 ±0,45	4,77 ±0,19
НСР ₀₅		0,29	0,47	0,90	0,40	0,23	0,36	0,54	0,48	0,64	0,27
Корреляция с числом ФАО		-0,73	0,23	0,23	0,31	0,05	0,22	0,35	0,42	0,56	0,61



Ограниченные ресурсы тепла Уральского региона корректируют характер описанных зависимостей. Так, по результатам корреляционного анализа в лесолуговой зоне средняя за годы исследований урожайность практически не связана с числами ФАО гибридов, но на фоне дефицита тепла 2019 года установлена тесная обратная связь между этими признаками; высокопродуктивные (с урожайностью выше верхней границы доверительного интервала для средней) гибриды располагались в основном в группе ФАО 120–150. Аналогичное распределение выявлено на удовлетворительном температурном фоне 2022 года. В условиях достаточной и высокой обеспеченности теплом эта связь трансформируется в прямую, но характеризуется как слабая; в 2020 году максимальная урожайность установлена для гибридов группы ФАО 160–170, а в наиболее теплом 2021 году этот интервал был расширен до значений ФАО 160–180.

В южной лесостепи, как правило, наблюдалась средняя положительная зависимость урожайности от чисел ФАО. Дефицит тепла в этой зоне приводил не к изменению направленности связи, а лишь к ее ослаблению. Как результат наиболее урожайные гибриды либо равномерно распределены по всему исследуемому диапазону ФАО, либо смещаются в группу ФАО 170–180. Обобщая данные за период исследований, необходимо выделить для лесолуговой зоны оптимальный по урожайности зерна интервал ФАО 140–160, тогда как для лесостепи в исследованном диапазоне ФАО оптимума не обнаружено.

Следует отметить, что выявленные закономерности существенно отличаются от результатов более ранних исследований, проведенных нами в условиях Южного Зауралья в 1986–1996 годах для диапазона ФАО 160–270 и показавших устойчивую тесную обратную зависимость уро-

жайности зерна от продолжительности вегетационного периода гибридов даже на благоприятном температурном фоне [35]. Одновременно было установлено, что в отличие от южной зоны кукурузосеяния, продуктивность кукурузы связана здесь не с числом зерен в початке, а с массой 1000 зерен. Как следствие этого низкая вероятность полноценного налива зерна у сравнительно позднеспелых гибридов и вызванный этим разрыв между потенциальной и фактической продуктивностью были указаны в качестве основной причины депрессии урожайности с удлинением вегетационного периода.

Тогда же было сделано предположение, что обратную зависимость урожайности от продолжительности вегетационного периода следует рассматривать как частный случай для достигнутого в этот период уровня скороспелости, а дальнейшее развитие селекции кукурузы на этот признак приведет к ослаблению этой зависимости или трансформации ее в прямую. Таким образом, проанализированные выше результаты последнего этапа исследований для диапазона ФАО 120–180 подтверждают эту гипотезу.

Нашла подтверждение и сопутствующая гипотеза, предполагавшая, что создание ультра-ранних гибридов (ФАО 150 и ниже) приведет к ослаблению связи урожайности с массой 1000 зерен [36]. В большинстве случаев (2020–2022 годы) в обеих зонах наблюдается слабая зависимость зерновой продуктивности от массы 1000 зерен (в 2021 году на максимально теплом фоне – не доказанная по критерию Стьюдента на 95 %-м уровне значимости). Напротив, в отношении числа зерен в початке в аналогичных условиях выявлена статистически доказанная средняя положительная связь с урожайностью. Оба отмеченных факта говорят о том, что современный уровень селекции кукурузы на скороспелость обеспечивает

Таблица 4 – Связь элементов структуры урожая с зерновой продуктивностью различных по скороспелости гибридов кукурузы в условиях Среднего и Южного Урала (2019–2022 годы)

Признаки	Коэффициент корреляции, r				Критерий Стьюдента (t_r) ($t_{05} = 2,06$)			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Лесолуговая зона								
Масса 1000 зерен	0,89±0,04	-0,10±0,09	0,06±0,09	0,07±0,09	47,84	2,5	1,4	1,59
Число зерен в початке	-0,68±0,04	0,51±0,04	0,35±0,08	0,29±0,08	21,99	14,41	8,86	7,34
Южная лесостепная зона								
Масса 1000 зерен	0,18±0,08	0,15±0,08	0,08±0,09	0,11±0,09	4,46	3,79	1,84	2,75
Число зерен в початке	0,06±0,09	0,46±0,08	0,59±0,07	0,46±0,08	1,44	12,44	17,32	12,50

достаточно высокую степень реализации генетического потенциала гибридов кукурузы в условиях Урала.

Исключение составили результаты, полученные в лесолуговой зоне на пониженном температурном фоне 2019 года. В этих условиях установлена тесная прямая зависимость урожайности от массы 1000 зерен и обратная, близкая к сильной – от числа зерен в початке, что воспроизводит закономерности, выявленные в ранних исследованиях. В лесостепной зоне подобного отклонения от общих тенденций не наблюдалось. Это говорит о большей значимости селекции на ультраскороспелость для Среднего, чем для Южного Урала.

Как уже отмечено, основной целью выращивания кукурузы на Урале является производство транзитного кормового крахмала, сбор которого

с площади посева обусловлен не только урожайностью, но и уборочной влажностью зерна как признака степени его созревания [15]. В условиях Уральского региона физиологическая спелость зерна, при достижении которой в основном завершается процесс отложения крахмала в эндосперме, сопоставляется влажности 38–40% [16], которую следует рассматривать как критическую при возделывании кукурузы на корм.

Корреляционный анализ, проведенный по результатам исследований 2019–2022 годов в обеих природных зонах, подтверждает сильную прямую связь уборочной влажности с продолжительностью вегетационного периода ($r = 0,71–0,91$). В южной лесостепи в годы исследования уровень влажности зерна при уборке 40% и ниже стабильно достигался у гибридов группы ФАО 120–150 (табл. 5).

Таблица 5 – Уборочная влажность зерна различных по скороспелости гибридов кукурузы в условиях Среднего и Южного Урала (2019–2022 годы)

Гибрид	ФАО	Лесолуговая зона					Южная лесостепь				
		2019	2020	2021	2022	среднее	2019	2020	2021	2022	среднее
Кубанский 102 МВ	120	50,9	47,0	26,0	36,0	40,0	34,7	30,5	17,3	21,3	25,9
Росс 130 МВ	140	61,2	52,5	35,6	44,8	48,5	41,0	32,2	35,5	27,0	33,9
К 140	140	60,3	50,5	27,0	39,6	44,3	34,2	35,5	31,7	29,2	32,6
Нур	140	51,8	50,7	32,1	41,3	44,0	37,6	33,2	31,1	28,3	32,6
Обский 140 СВ	150	63,4	55,8	29,3	47,0	48,9	38,6	30,8	29,4	32,4	32,8
Кубанский 141 МВ	150	62,0	54,3	29,2	41,5	46,8	39,9	31,1	31,2	30,6	33,2
Машук 140	150	55,9	49,8	24,9	37,6	42,0	35,2	27,3	24,1	27,4	28,5
Северина	150	68,9	57,2	32,8	37,8	49,2	38,8	30,8	27,3	23,7	30,1
К 150	150	62,6	53,9	31,8	43,1	47,8	38,6	31,3	38,3	27,2	33,8
Машук 150 МВ	150	62,5	53,0	30,9	40,2	46,7	38,7	33,0	35,5	26,7	33,5
Уральский 150	150	66,7	52,5	32,1	41,5	48,2	32,2	31,2	37,2	26,6	31,8
Берга	150	70,2	55,2	32,2	43,5	50,3	40,5	35,4	38,8	34,1	37,2
Таганай	150	60,8	53,4	35,4	38,2	47,0	39,4	34,7	33,9	24,7	33,2
Ладожский 148 СВ	160	71,0	54,7	41,4	46,2	53,4	42,8	38,0	34,7	33,6	37,3
К 160	160	64,5	52,1	36,1	40,8	48,4	38,3	31,8	44,2	33,2	36,9
Билляр 160	160	65,5	58,3	31,4	42,2	49,4	36,3	30,8	35,8	31,7	33,6
К 165	160	71,4	58,5	34,3	39,8	51,0	46,7	43,6	36,6	24,7	37,9
Байкал	170	75,8	57,4	39,3	48,3	55,2	47,9	40,4	46,2	28,6	40,8
Катерина СВ	170	72,9	56,3	36,5	45,5	52,8	40,6	41,4	31,1	34,4	36,9
Машук 170 МВ	170	73,2	58,4	40,0	44,8	54,1	39,8	37,2	37,7	26,7	35,3
Машук 172	170	75,8	62,2	39,1	47,6	56,2	47,5	42,0	41,9	36,4	41,9
К 170	170	75,1	59,6	41,1	45,3	55,3	40,1	42,5	45,9	32,1	40,1
Прохладенский 175	170	75,0	61,9	36,6	45,7	54,8	48,4	42,8	41,7	36,2	42,3
Шихан	180	80,4	64,1	42,4	48,8	58,9	50,1	48,8	51,0	37,5	46,9
Агата СВ	180	76,5	64,8	40,0	50,3	57,9	48,8	38,7	45,9	34,5	42,0
Дарина МВ	180	84,1	64,1	42,3	49,0	59,9	42,6	41,5	46,7	40,7	42,9
Среднее по гибридам		67,6	56,1	34,6	43,3	50,4	40,7	36,0	36,6	30,4	35,9
Корреляция с числом ФАО		0,91	0,89	0,81	0,77	0,93	0,71	0,74	0,80	0,72	0,87



В лесолуговой зоне вероятность достижения зерном критической влажности зависел от теплообеспеченности периода вегетации. Так, в 2019-м и 2020 годах даже наиболее скороспелый гибрид Кубанский 102 МВ (ФАО 120) показал уборочную влажность выше критической, соответственно 50,9 и 47,0%. В 2021 году практически все гибриды преодолели критический уровень за исключением некоторых образцов группы ФАО 160–180 (Ладожский 148 СВ, К 170, Шихан и Дарина). В 2022 году приемлемые результаты получены только у отдельных гибридов группы ФАО 120–160: Кубанский 102 МВ, К 140, Машук 140, Северина, Таганай и К 165. Поэтому решение проблемы концентрации крахмала в кормах из кукурузы для Среднего Урала заключается не только в обеспечении необходимого уровня скороспелости

гибридов, но и в применении технологий уборки, позволяющих снизить долю балластных вегетативных органов в заготавливаемой массе [37].

Таким образом, использование критериев «урожайность» и «влажность зерна» при обосновании выбора гибридов может приводить к противоречивым результатам. Для разрешения этого противоречия целесообразно использование интегрированного показателя оценки – селекционного индекса как отношение урожайности к уборочной влажности зерна [38]. Корреляционный анализ показал стабильную обратную связь селекционных индексов гибридов с числами ФАО, варьирующую по силе от слабой до тесной, что подтверждает приоритет признака скороспелости при выборе гибридов для Уральского региона (табл. 6).

Таблица 6 – Селекционный индекс различных по скороспелости гибридов кукурузы в условиях Среднего и Южного Урала (2019–2022 годы)

Гибрид	ФАО	Лесолуговая зона					Южная лесостепь				
		2019	2020	2021	2022	среднее	2019	2020	2021	2022	среднее
Кубанский 102 МВ	120	0,78	0,70	0,95	1,09	0,86	1,46	1,18	1,70	1,93	1,51
Росс 130 МВ	140	0,30	0,33	0,51	1,00	0,51	1,29	1,66	1,20	2,12	1,52
К 140	140	0,46	0,53	1,28	1,24	0,78	1,47	1,17	1,19	1,80	1,39
Нур	140	0,56	0,58	1,20	1,05	0,80	1,16	1,46	1,30	1,71	1,39
Обский 140 СВ	150	0,29	0,49	1,39	1,15	0,72	1,33	1,59	1,42	1,58	1,47
Кубанский 141 МВ	150	0,32	0,45	1,40	1,15	0,71	1,37	1,65	1,23	1,75	1,49
Машук 140	150	0,55	0,58	1,57	1,13	0,84	1,56	1,54	1,36	1,78	1,57
Северина	150	0,26	0,55	1,07	1,44	0,70	1,37	1,40	1,33	2,24	1,54
К 150	150	0,44	0,53	1,22	1,12	0,75	1,30	1,41	0,84	1,72	1,28
Машук 150 МВ	150	0,27	0,47	1,27	1,33	0,72	1,24	1,47	1,21	1,63	1,37
Уральский 150	150	0,29	0,48	1,01	0,85	0,58	1,58	1,41	0,68	1,91	1,35
Берга	150	0,23	0,46	1,60	1,22	0,73	1,46	1,18	1,19	1,73	1,38
Таганай	150	0,32	0,46	1,14	1,52	0,76	1,06	1,14	1,21	2,12	1,32
Ладожский 148 СВ	160	0,20	0,48	0,88	1,17	0,61	1,12	1,36	1,24	1,50	1,30
К 160	160	0,47	0,48	1,20	1,51	0,83	1,34	1,24	0,83	1,74	1,25
Билляр 160	160	0,32	0,50	0,98	1,09	0,64	1,36	1,12	0,88	1,77	1,28
К 165	160	0,22	0,56	1,10	1,43	0,70	1,19	1,15	1,11	1,83	1,26
Байкал	170	0,18	0,55	0,83	1,04	0,58	1,08	1,14	0,97	1,81	1,19
Катерина СВ	170	0,21	0,47	1,05	0,95	0,58	1,42	1,20	1,14	1,43	1,30
Машук 170 МВ	170	0,30	0,67	0,93	1,19	0,70	1,41	1,47	0,89	2,30	1,46
Машук 172	170	0,18	0,46	0,83	1,13	0,57	1,12	1,05	1,13	1,71	1,23
К 170	170	0,28	0,69	0,94	1,11	0,68	1,36	1,15	1,00	2,14	1,35
Прохладенский 175	170	0,25	0,52	1,18	1,24	0,69	1,00	1,00	1,12	1,86	1,22
Шихан	180	0,14	0,41	0,79	1,03	0,52	1,01	0,87	0,85	1,41	1,01
Агата СВ	180	0,15	0,43	0,80	0,83	0,49	1,02	1,25	0,90	1,65	1,17
Дарина МВ	180	0,07	0,40	0,98	1,11	0,53	1,26	1,44	0,92	1,49	1,27
Среднее по гибридам		0,31	0,51	1,08	1,16	0,68	1,28	1,30	1,11	1,80	1,34
Корреляция с числом ФАО		-0,79	-0,23	-0,32	-0,17	-0,64	-0,49	-0,39	-0,64	-0,29	-0,71

При этом наиболее благоприятное сочетание урожайности и уборочной влажности зерна в обеих природных зонах показывают гибриды Кубанский 102 МВ, Нур, К-140, Машук 140. Кроме того, в условиях Южного Урала – Кубанский 141СВ, К-150, Машук 170, Среднего Урала – Таганай и К 160. Следует отметить, что группа спелости ФАО 120, в настоящее время представленная лишь гибридом Кубанский 102 МВ, является основным условием получения стабильного сбора крахмала на Среднем Урале. Поэтому дальнейшее развитие селекции кукурузы должно быть направлено на расширение этой группы.

Выводы

1. В ходе фенологических наблюдений за одновременно созревающими гибридами кукурузы выявлена тесная прямая связь продолжительности периода от всходов до цветения початка с числами ФАО, что позволяет рассматривать эти числа ФАО как объективный показатель скороспелости гибридов. В лесолуговой зоне Урала разрыв в сроках цветения гибридов, различающихся по характеристике ФАО на 10 единиц, составлял в среднем 2,5 дня, в южной лесостепи – 2 дня. Это свидетельствует об углублении различий между гибридами при продвижении с юга на север и повышает требования к подбору гибридов по скороспелости.

2. В южной лесостепной зоне основным фактором, лимитирующим урожайность зерна кукурузы, являются ресурсы влаги, тогда как в лесолуговой – ресурсы тепла. В условиях низкой обеспеченности теплом формируется обратная зависимость урожайности от чисел ФАО, что свидетельствует о разрыве между потенциальной и фактической продуктивностью, прогрессирующем по мере удлинения вегетационного периода гибридов. Оптимальный с точки зрения реализации потенциала урожайности зерна уровень скороспелости гибридов для Среднего Урала соответствует интервалу ФАО 140–160, тогда как для лесостепи в исследованном диапазоне ФАО (120–180 единиц) оптимума не обнаружено.

3. Значительное варьирование уборочной влажности зерна в зависимости от условий вегетации свидетельствует о низкой вероятности достижения хозяйственно значимых фаз развития в условиях Среднего Урала даже для скороспелых гибридов (ФАО 120), что об-

условливает неустойчивость производства кормового крахмала как основного целевого компонента при выращивании кукурузы. Решение проблемы может заключаться в обеспечении необходимого уровня скороспелости гибридов и в применении технологий уборки, позволяющих снизить долю балластных вегетативных органов в заготавливаемой массе.

4. Наиболее благоприятное сочетание урожайности и уборочной влажности зерна в обеих природных зонах показывают гибриды группы ФАО 120-160 Кубанский 102 МВ, Нур, К-140, Машук 140, кроме того, в условиях Южного Урала – Кубанский 141СВ, К-150, Машук 170, Среднего Урала – Таганай и К 160.

Список литературы

1. Зезин, Н. Н. Оптимизация структуры посевов кормовых культур и особенности технологии их возделывания на Среднем Урале / Н. Н. Зезин, М. А. Намятов, М. Ю. Севостьянов // Кормопроизводство. – 2020. – № 4. – С. 25–29. – DOI: 10.25685/KRM.2020.2020.63666.

2. Adaptive approach in maize breeding for the Urals region / A. E. Panfilov, N. N. Zezin, N. I. Kazakova, M. A. Namyatov // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. – 2020. – Vol. 14. – P. 55–62. – DOI: 10.46300/91011.2020.14.9.

3. Han, X.-Z. Functional and microstructural aspects of soluble corn starch in pastes and gels / X.-Z. Han, B. R. Hamaker // Starke. – 2000. – Vol. 52. – № 2–3. – P. 76–80. – DOI:10.1002/(SICI)1521-379X(200004)52:2/33.3.CO;2-2.

4. SSR-локусы, потенциально ассоциированные с высоким содержанием амилопектина в эндосперме зерна кукурузы / С. И. Вакула, О. А. Орловская, Л. В. Хотылева, А. В. Кильчевский // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22. – № 6. – С. 640–647. – DOI: 10.18699/VJ18.405.

5. Пушкарев, И. А. Характеристика химического состава и влияние скармливания влажного дробленого зерна кукурузы на молочную продуктивность коров / И. А. Пушкарев, А. П. Косарев, К. В. Киреева // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2018. – № 12. – С. 25–32.

6. Характеристика химического состава влажного плющеного зерна кукурузы и его применение в кормлении коров / К. В. Киреева, Н. М. Костомахин, И. А. Пушкарев [и др.]



// Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2020. – № 9 (182). – С. 20–29. – DOI: 10.33920/sel-05-2009-03.

7. Кривошеев, Г. Я. Основные направления селекции кукурузы во ВНИИЗК им. И. Г. Калининко / Г. Я. Кривошеев, А. С. Игнатъев, Н. А. Шевченко // *Зерновое хозяйство России*. – 2016. – № 2. – С. 30–34.

8. Хатефов, Э. Б. Создание и оценка новых источников амилопектинового крахмала на основе линий восковидной кукурузы (*Zea mays ceratina*) из коллекции ВИР / Э. Б. Хатефов, С. П. Аппаев, А. Р. Коцева // *Успехи современного естествознания*. – 2019. – № 1. – С. 57–62. – DOI: 10.17513/use.37037.

9. Использование зернофуража из кукурузы, заготовленного по разной технологии, в кормлении бычков, выращиваемых на мясо / Н. М. Ширнина, М. А. Сулова, Б. Х. Галиев, К. Ш. Картекенев // *Вестник мясного скотоводства*. – 2011. – Т. 1. – № 64. – С. 112–118.

10. Демин, Е. А. Влияние минеральных удобрений на содержание белка и крахмала в зерне кукурузы, выращиваемой в лесостепной зоне Зауралья / Е. А. Демин, Д. И. Еремин // *Вестник АПК Ставрополя*. – 2018. – № 2 (30). – С. 130–133. – DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-130-133.

11. Харченко, Ю. В. Колекція Устимівської дослідної станції як джерело вихідного матеріалу для селекції кукурудзи з поліпшеними біохімічними показниками зерна / Ю. В. Харченко, Л. Я. Харченко // *Plant Varieties Studying and Protection*. – 2018. – Т. 14. – № 1. – С. 81–88. – DOI: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126514.

12. Шайтанов, О. Л. Итоги экологических испытаний новых гибридов кукурузы в экстремальных условиях 2017 г. / О. Л. Шайтанов, М. Ш. Тагиров, Х. З. Каримов // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2018. – Т. 13. – № 4 (51). – С. 96–102. – DOI: 10.12737/article_5c3de390aeb1b1.95182086.

13. Урожайность и качество кукурузы, выращиваемой на зерно и силос в условиях орошаемого земледелия в лесостепи Приобья / Г. В. Щемелева, Л. В. Цындра, Р. Р. Галеев, М. С. Шульга // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 4 (61). – С. 83–89. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-83-89.

14. Коконов, С. И. Оптимизация срока уборки кукурузы – основа получения высококачественного силоса / С. И. Коконов, А. В. Зи-

новьев // *Кормопроизводство*. – 2018. – № 10. – С. 41–44.

15. Кукуруза (Выращивание, уборка, консервирование и использование) / Д. Шпаар, Г. Гинапп, Д. Дрегер [и др.] ; под общ. ред. Д. Шпаара. – Москва : ООО «ДЛВ АГРОДЕЛО», 2014. – 390 с.

16. Скорость потери влаги зерном кукурузы в период созревания в зависимости от генотипа и условий среды / В. С. Сотченко, А. Э. Панфилов, А. Г. Горбачева [и др.] // *Сельскохозяйственная биология*. – 2021. – Т. 56. – № 1. – С. 54–65. – DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.54rus.

17. Characterization of maize germplasm for the chemical composition of the grain / N. Berardo, G. Mazzinelli, P. Valoti [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2009. Vol. 57. – P. 2378–2384. – DOI: 10.1021/jf803688t.

18. Characterization of corn landraces planted in the campos gerais region (Paraná, Brazil) for industrial utilization / A. T. B. Pinto, J. Pereira, T. R. de Oliveira [et al.] // *Brazilian Archives of Biology and Technology*. – 2009. – Vol. 52 (Special issue). – P. 17–28.

19. Grain quality of drought tolerant accessions within the MRI Zemun Polje maize germplasm collection / J. Vančetović, D. Ignjatović-Micić, S. Božinović [et al.] // *Spanish journal of agricultural re-search*. – 2014. – Vol. 12. – P. 186–194. – DOI: 10.5424/sjar/2014121-4392.

20. Panfilov, A. E. Climate change trends in the forest-meadow zone of the Middle Urals and their impact on technological approaches to corn cultivation / A. E. Panfilov, P. Yu. Ovchinnikov, E. L. Tikhanskaya // *International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture” (FSRAABA 2021)*. – 2021. – Vol. 36. – P. 07004. – DOI: 10.1051/bioconf/20213607004.

21. Заключительное звено селекции кукурузы для северных районов возделывания / Ю. В. Сотченко, Е. Ф. Сотченко, О. Л. Шайтанов, М. И. Хуснуллин // *Достижения науки и техники АПК*. – 2016. – № 30. С. 49–53.

22. Jumbo, M. B. Combining ability, maternal, and reciprocal effects of elite early-maturing maize population hybrids / M. B. Jumbo, M. J. Carena // *Euphytica*. – 2008. – Vol. 162. – P. 325–333. – DOI: 10.1007/s10681-007-9618-9.

23. Hyrkas, A. Response to long-term selection in early maturing maize synthetic varieties / A. Hyrkas, M. J. Carena // *Euphytica*. – 2005. – Vol. 143. – P. 43–49. – DOI: 10.1007/s10681-005-2238-3.

24. Панфилов, А. Э. Селекция кукурузы в Урало-Сибирском регионе: направления и тенденции / А. Э. Панфилов // Нивы Зауралья. – 2015. – № 11 (133). – С. 58–60.
25. Зезин, Н. Н. Результаты внедрения зерновой технологии возделывания кукурузы на Среднем Урале / Н. Н. Зезин, М. А. Намятов // Кормопроизводство. – 2018. – № 3. – С. 11–15. – DOI: 10.25685/KRM.2018.2018.11695.
26. Assessment of drought tolerance based impacts with over-expression of *zmltp3* in maize (*Zea mays* L.) / Y. Li, K. Zhou, M. Jiang [et al.] // Cereal research communications. – 2019. – Vol. 47 (1). – P. 22–31. – DOI: 10.1556/0806.46.2018.062.
27. Derieux, M. Different approaches to maturity ratings in maize in the world / M. Derieux, R. Bonhomme // *Zea*. – 1988. – № 3. – P. 15–21.
28. Yan, W. Simulation and Prediction of Plant Phenology for Five Crops Based on Photoperiod x Temperature Interaction / W. Yan, D. H. Wallace // *Annals of Botany*. – 1998. – Vol. 81. – P. 705–716.
29. Гурьев, Б. П. Селекция кукурузы на раннеспелость / Б. П. Гурьев, И. А. Гурьева. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 171 с.
30. Trends in productive abilities of maize hybrids from different FAO groups / S. Vulchinkov, D. Ilchovska, B. Pavlovska, K. Ivanova // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2013. – Vol. 19. – № 4. – P. 744–749.
31. Оценка новых гибридов кукурузы в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии / С. П. Аппаев, А. М. Кагермазов, А. В. Хачидогов, М. В. Бижоев // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2022. – Т. 52. – № 6. – С. 29–35. – DOI: 10.26898/0370-8799-2022-6-3.
32. Кривошеев, Г. Я. Параметры гибридов кукурузы, создаваемых для условий не-
- достаточного и неустойчивого увлажнения / Г. Я. Кривошеев, А. С. Игнатъев // *Зерновое хозяйство России*. – 2017. – № 1. – С. 29–34.
33. Шиманский, Л. П. Корреляционные связи у самоопыленных линий кукурузы / Л. П. Шиманский, В. И. Кравцов, Т. М. Говор // *Земледелие и селекция в Беларуси*. – 2017. – № 53. – С. 362–368.
34. Абельмасов, О. В. Особенности проявления основных элементов структуры урожайности самоопыленных линий кукурузы в разных условиях выращивания / О. В. Абельмасов, А. В. Бебех // *Plant Varieties Studying and Protection*. – 2018. – № 2. – С. 209–214. – DOI: 10.21498/2518-1017.14.2.2018.134771.
35. Панфилов, А. Э. Культура кукурузы в Зауралье : монография / А. Э. Панфилов. – Челябинск : ЧГАУ, 2004. – 356 с.
36. Панфилов, А. Э. Агроэкологическое обоснование зональной классификации гибридов кукурузы по скороспелости / А. Э. Панфилов // *Известия Челябинского научного центра*. – 2004. – № 4 (26). – С. 132–136.
38. Панфилов, А. Э. Биологическая продуктивность ультраранних гибридов кукурузы в различных почвенно-климатических зонах Уральского региона / А. Э. Панфилов, Н. Н. Зезин, П. Ю. Овчинников // *Аграрный вестник Урала*. – 2022. – № 3(218). – С. 35–47. – DOI: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-35-47.
39. Хангильдин, В. В. О принципах моделирования сортов интенсивного типа / В. В. Хангильдин // *Генетика качественных признаков сельскохозяйственных растений*. – Москва : [б. и.], 1978. – С. 11–116.

Панфилов Алексей Эдуардович, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник инновационного научно-исследовательского центра, ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: al_panfilov@mail.ru.

Овчинников Павел Юрьевич, младший научный сотрудник отдела земледелия и кормопроизводства, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук».

E-mail: ovchinnikov-paha@mail.ru.

* * *