

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-156-169>

УДК 633.15:632.51:631.582:631.517



Фотосинтетическая деятельность и эффективность использования солнечной энергии гибридами кукурузы в условиях Краснодарского края

А.А. Макаренко, С.В. Коковихин✉

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»;
Краснодар, Российская Федерация
✉serg.ac@mail.ru*

Аннотация. Введение. Исследования эффективности использования солнечной радиации современными гибридами кукурузы в зависимости от действия агроприемов и особенностей погодных условий, складывающихся в отдельные годы, имеют важное научное и практическое значение. **Цель исследования.** Изучить влияние гибридного состава, средств химической защиты растений от сорняков, сроков посева и количества междурядных культиваций на показатели фотосинтетической деятельности растений кукурузы и эффективность использования инсоляции, тепловых и водных ресурсов при выращивании культуры в условиях Краснодарского края. **Объекты и методы исследования.** Закладка и анализ экспериментальных данных, расчёты фотосинтетических показателей были проведены по методике опытного дела в агрономии. **Результаты и обсуждение.** Гибрид ДКС 4590 при раннем сроке сева показал максимальную чистую продуктивность фотосинтеза (6,9 г/м²), а проведение культиваций снижало этот показатель. Максимальный коэффициент полезного действия ФАР 2,8% получен на варианте с гибридом ДКС 4590, применения гербицидов Титус Плюс и Элюмис при раннем сроке сева и проведении одной или двух междурядных культиваций. Посев в ранний срок гибрида кукурузы ДКС 4590 обеспечил наивысшую хозяйственную эффективность фотосинтеза – 0,48%, а применение культивации на неё практически не влияло. В целом установлено, что использование разных гербицидов для защиты растений от сорняков слабо влияло на продуктивность и потенциал фотосинтеза. Выявлена очень сильная математическая связь между урожайностью зерна и показателями КПД_{ФАР}, что позволяет использовать его в селекционной работе для создания высокопродуктивных гибридов и разработки сортовых агротехнологий. **Заключение.** Таким образом, гибрид кукурузы ДКС 4590 обеспечил максимально высокий коэффициент полезного действия ФАР (больше 3,0%) при урожайности больше 67 ц/га. У всех гибридов отмечен минимальный показатель эффективности использования инсоляции при минимальной урожайности зерна – 30-40 ц/га.

Ключевые слова: кукуруза, продуктивность растений, фотосинтез, гибрид, агроприемы, гербицид, срок сева, культивации, чистая продуктивность фотосинтеза, фотосинтетический потенциал посевов, коэффициент полезного действия ФАР, коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза

Для цитирования: Макаренко А.А., Коковихин С.В. Фотосинтетическая деятельность и эффективность использования солнечной энергии гибридами кукурузы в условиях Краснодарского края. *Новые технологии / New technologies*. 2025; 21(4): 156-169. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-156-169>

Photosynthetic activity and efficiency of solar energy utilization by corn hybrids in the Krasnodar Territory

A.A. Makarenko, S.V. Kokovikhin✉

*Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin;
Krasnodar, the Russian Federation,
✉serg.ac@mail.ru*

Abstract. Introduction. Investigations of the efficiency of solar energy utilization by modern corn hybrids, depending on agricultural practices and weather conditions in individual years, are of significant scientific and practical importance. **The goal of the research** was to study the influence of hybrid composition, chemical plant protection products against weeds, sowing time, and the number of inter-row cultivations on the photosynthetic activity of corn plants and the efficiency of insolation, heat, and water resources during crop cultivation in the Krasnodar Territory. **The objectives and methods.** Experimental data collection and analysis, as well as calculations of photosynthetic parameters, were conducted using experimental agronomy methods. **The results and discussion.** The DKC 4590 hybrid, sown early, demonstrated the highest net photosynthetic productivity (6.9 g/m^2), while cultivation reduced this indicator. The maximum PAR efficiency of 2.8% was obtained with the DKC 4590 hybrid, using Titus Plus and Elumis herbicides at early sowing and one or two inter-row cultivations. Early sowing of the DKC 4590 corn hybrid provided the highest photosynthetic efficiency of 0.48%, while cultivation had virtually no effect on it. Overall, it was established that the use of various herbicides for plant protection from weeds had little effect on productivity and photosynthetic potential. A very strong mathematical relationship was found between grain yield and the PAR efficiency indices, enabling its use in breeding to create highly productive hybrids and develop varietal agricultural technologies. **Conclusion.** Thus, the DKC 4590 corn hybrid demonstrated the highest PAR efficiency (over 3.0%) with a yield exceeding 67 c/ha. All hybrids demonstrated minimal solar efficiency with minimal grain yield – 30-40 c/ha.

Keywords: corn, plant productivity, photosynthesis, hybrid, agricultural practices, herbicide, sowing date, cultivation, net photosynthetic productivity, photosynthetic potential of crops, PAR efficiency, photosynthesis economic efficiency coefficient

For citation: Makarenko A.A., Kokovikhin S.V. Photosynthetic activity and efficiency of solar energy utilization by corn hybrids in the Krasnodar Territory. *Novye tehnologii / New technologies*. 2025; 21(4): 156-169. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-156-169>

Введение. Продуктивность сельскохозяйственных культур, в том числе и кукурузы, обуславливается элементами продукционного процесса, который позволяет растениям реализовать свой генетический и биологический потенциал в зависимости от составляющих элементов системы земледелия, дифференцированным влиянием почвенно-климатических условий, которые складываются и существенно отличаются в отдельные годы, интенсификации или биологизации применяемых технологий возделывания, хозяйственно-экономических и других факторов [1-5]. Значения отдельных факторов агротехнологического процесса по их влиянию на продуктивность куку-

рузы, а также других культур севооборотов определяется по отклонению фенологических и морфо-биологических показателей в различных вариантах опыта. Исследования отечественных ученых [6-9] показывают, что элементы технологического возделывания в разной степени влияют на продукционный процесс, что требует идентификации их действия и взаимодействия.

Глобальные климатические изменения, выражающиеся в потеплении, нестабильности осадков и росте числа аномальных погодных явлений, вынуждают аграриев пересматривать и предельно точно определять сроки сева кукурузы [10, 11]. Неправильный выбор времени посева чреват се-

рзными негативными последствиями. Так, слишком ранний сев, особенно на низких участках, при сочетании избыточной влаги и пониженных температур затрудняет прорастание семян, способствует распространению опасных заболеваний, таких как корневая гниль, и подвергает молодые растения угрозе заморозков [12, 13]. С другой стороны, отсрочка сева в условиях высоких температур приводит к иссушению почвы и падению всхожести. Стремительный рост температуры почвы и воздуха, в сочетании с нехваткой влаги, может вызвать стресс у растений, что негативно скажется на их развитии, урожайности и рентабельности производства зерна. Следовательно, научно обоснованный выбор сроков сева кукурузы является ключевым фактором для снижения рисков, обусловленных изменением климата [14, 15].

Цель исследований. Изучить влияние гибридного состава, средств химической защиты растений от сорняков, сроков посева и количества междурядных культиваций на показатели фотосинтетической деятельности растений кукурузы и эффективность использования инсоляции, тепловых и водных ресурсов при выращивании культуры в условиях Краснодарского края.

Для достижения цели были поставлены такие задачи:

- изучить влияние гибридного состава, гербицидов, сроков сева и количества междурядных обработок на чистую продуктивность фотосинтеза и фотосинтетический потенциал посевов;
- определить эффективность использования солнечной энергии растениями кукурузы в зависимости от исследуемых факторов и рассчитать коэффициенты полезного действия ФАР и коэффициенты хозяйственной эффективности фотосинтеза;
- для каждого исследуемого гибрида создать модель эффективности использования солнечной энергии (КПД_{ФАР}) и урожайности зерна.

Методы исследований. Полевые исследования провели на территории учебно-Новые технологии / New Technologies, 2025; 21 (4)

опытного хозяйства «Кубань» ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ в 2017-2019 гг. Схема опыта включала:

- 1) гибриды (фактор А): Ладожский 291, ДКС 4590; Феномен;
- 2) гербициды (фактор В): Люмакс (4,0 л/га, в фазу 1-3 листа у кукурузы), Элюмис (2,0 л/га, в фазу 4-5 листьев); Титус Плюс (0,38 л/га) с добавлением Тренд 90 (в фазу 4-5 листьев);
- 3) сроки сева (фактор С): ранний (при первой возможности проведения предпосевной культивации); средний (при температуре почвы 10°C, не ранее чем через 14 дней после раннего); поздний (не ранее, чем через 14 дней после среднего);
- 4) междурядная культивация (фактор D): без культивации; однократная культивация плоскорезными органами на глубину 3-5 см (в фазу 4-5 листьев); двукратная культивация на глубину 3-5 см (в фазы 4-5 и 6-7 листьев).

Для проведения расчётов использовали архивные данные погодных условий на территории учебно-опытного хозяйства «Кубань» КубГАУ [16]. Для установления прихода солнечной энергии и эвапотранспирации при выращивании гибридов кукурузы использовали компьютерную программу CropWat и методические подходы ФАО ООН [17].

Закладка полевых опытов, математическая обработка экспериментальных данных, установление показателей чистой продуктивности фотосинтеза, фотосинтетического потенциала посевов кукурузы, коэффициентов полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД_{ФАР}) и коэффициентов хозяйственной эффективности фотосинтеза (К_{хоз}) проводили по методике опытного дела в агрономии [18].

Предшественником кукурузы на зерно была озимая пшеница. Агротехника выращивания кукурузы в полевых опытах была рекомендованной для Краснодарского края, кроме изучаемых факторов и вариантов.

Результаты. Гидротермические условия существенно варьировали в годы проведе-

ния исследований с гибридами кукурузы, особенно по количеству и равномерности выпадения осадков в летние месяцы (рис. 1).

Установлено, что по среднесуточной температуре воздуха наиболее жарким был вегетационный период растений кукурузы в 2018 г., в котором она увеличилась до 21,5°C. В 2017 г. этот показатель снизился до 21,0°C (на 2,2%), а в 2019 г. – до 20,3°C (на 6,0%). Количество атмосферных осад-

ков за вегетационный период исследуемой культуры, наоборот, было минимальным (206 мм) в 2018 г., в 2019 г. – возросло на 46,6%, а в 2017 г. было наибольшим – 324 мм. Следует отметить, что распределение осадков по отдельным месяцам было крайне неравномерным и отличалась по годам проведения полевых экспериментов: в 2017 г – в 3,8 раза; 2018 г. – в 13,0 раз; 2019 г. – в 8,9 раза.

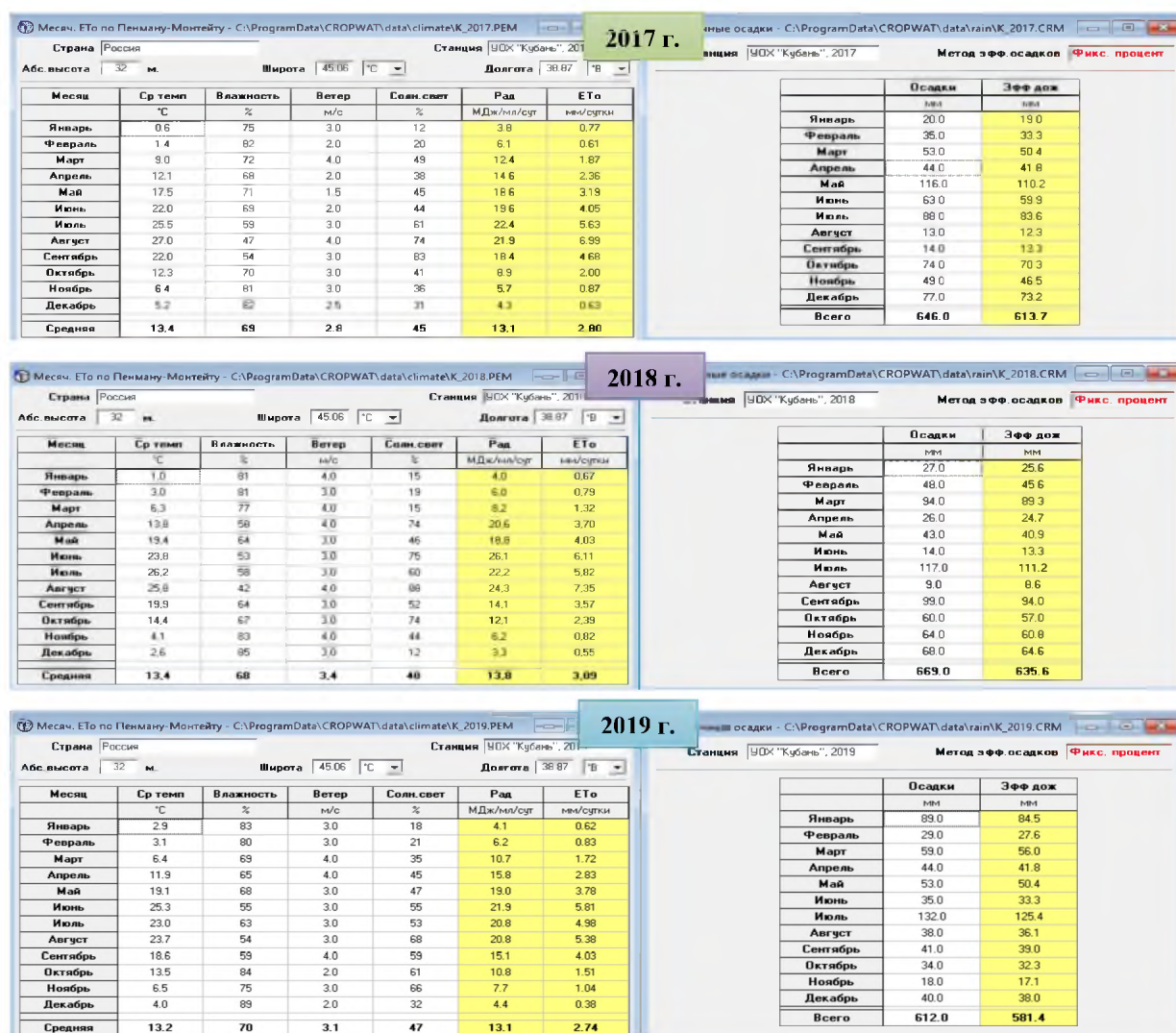


Рис. 1. Температура (°C) и относительная влажность воздуха (%), скорость ветра (м/с), продолжительность солнечного сияния (%), количество осадков и смоделированные программой CropWat показатели прихода солнечной радиации (МДж/м² в сутки), эвапотранспирации (мм/сутки) и эффективных осадков (мм) по месяцам в годы проведения исследований с гибридами кукурузы

Fig. 1. Temperature (°C) and relative humidity (%), wind speed (m/s), sunshine duration (%), precipitation amount, and CropWat-simulated solar radiation (MJ/m² per day), evapotranspiration (mm/day), and effective precipitation (mm) monthly during the years of the corn hybrid studies

Минимальный приход солнечной радиации во все года исследований был в зимний период в январе и декабре и находился в диапазоне от 3,3 до 4,4 МДж/м² в сутки. Наибольшим данный показатель на уровне 26,1 МДж/м² в сутки был в июне 2018 г., что превышало наименьшие значения в 5,9-7,7 раза. Во все годы проведения полевых экспериментов в летние месяцы приход солнечной радиации превышал 20 МДж/м² в сутки, кроме июня 2017 г., когда он из-за прохладной с осадками погоды был равен 19,6 МДж/м² в сутки.

Среднесуточное испарение (эвапотранспирация) также была тесно взаимосвязана с календарными периодами с минимальными показателями зимой – 0,38-0,83 мм/сутки и наибольшими величинами в августе 2017 и 2018 гг. (6,99 и 7,35 мм/сутки), и в июне 2019 г. – 5,81 мм/сутки.

Чистая продуктивность фотосинтеза исследуемых гибридов кукурузы как комплексный показатель, который дает глубокое понимание биологических процессов в растении, его реакции на окружающую среду и отдельные элементы агротехники, существенно изменялась по вариантам сроков сева и количества культиваций, но практически не зависела от гербицидов (табл. 1).

Этот показатель увеличился до наибольшей величины 6,9 г/м² на варианте с гибридом ДКС 4590, который выращивали с применением гербицида Люмакс с применением раннего срока сева и без междурядных культиваций. Чистая продуктивность фотосинтеза снизилась на 46,8% (до 4,7 г/м²) при высевании в поздний срок гибрида Феномен, также с использованием для борьбы с сорняками гербицида Люмакс и проведении одной междурядной обработки.

Таблица 1. Чистая продуктивность фотосинтеза гибридов кукурузы в зависимости от гербицидов, сроков сева и количества междурядных культиваций, г/м², 2017-2019 гг.

Table 1. Net photosynthetic productivity of corn hybrids depending on herbicides, sowing time and the number of inter-row cultivations, g/m², 2017-2019.

Гибрид (фактор А)	Гербицид (фактор В)	Срок сева (фактор С)	Культивации (фактор D)			Среднее по факторам			
			без культивации	одна культивация	две культивации	С	В	А	
Ладожский 291	Люмакс	Ранний	6,3	6,4	6,6	6,3	5,7	5,9	
		Средний	6,0	6,2	5,7	5,8			
		Поздний	5,3	5,6	5,2	5,2			
	Элюмис	Ранний	6,4	6,3	6,7		5,7		
		Средний	5,9	5,6	5,6				
		Поздний	5,3	5,1	4,8				
	Титус Плюс	Ранний	6,5	6,2	6,5		5,7		
		Средний	6,0	5,7	5,9				
		Поздний	5,6	5,3	5,2				
ДКС 4590	Люмакс	Ранний	6,9	6,5	6,0			5,9	
		Средний	6,5	5,8	5,5				
		Поздний	5,9	5,1	4,9				
	Элюмис	Ранний	6,7	6,5	5,9				
		Средний	6,4	6,4	5,4				
		Поздний	5,5	5,6	5,0				
	Титус Плюс	Ранний	6,7	6,2	6,3				
		Средний	6,0	5,6	5,7				
		Поздний	5,4	4,8	5,3				
Феномен	Люмакс	Ранний	6,2	5,6	5,4				5,4
		Средний	5,7	5,4	5,3				
		Поздний	5,0	4,7	4,8				
	Элюмис	Ранний	6,4	5,6	5,7				
		Средний	5,8	5,3	5,2				
		Поздний	5,3	4,9	5,0				
	Титус Плюс	Ранний	6,4	6,1	5,9				
		Средний	5,8	5,5	5,4				
		Поздний	5,2	4,8	4,8				
Среднее по фактору D			6,0	5,7	4,8				
НСР ₀₅ по факторам ABCD – 0,12 г/м ²									

В среднем по первому исследуемому фактору (гибрид – А) проявилось преимущество выращивания гибридов Ладожский 291 и ДКС 4590, у которых чистая продуктивность фотосинтеза повысилась в среднем до 5,9 г/м². У гибрида Феномен он существенно (на 9,3%) снизился и был равен 5,4 г/м².

По вариантам применения гербицидов (фактор В) исследуемый показатель был одинаковой и составлял 5,7 г/м², что объясняется слабым диапазоном отличий по приросту сырой массы сухого вещества и площади ассимиляционной поверхности на вариантах с разными препаратами.

Следует отметить, что сроки проведения посевных работ в максимальной степени влияли на величину чистой продуктивности фотосинтеза. Так, при раннем сроке этот показатель достиг максимального значения 6,3 г/м². На втором сроке сева он уменьшился до 5,8 г/м² или на 8,6%. Минимальная чистая продуктивность фотосинтеза была зафиксиро-

вана при позднем сроке сева – 5,2 г/м², что было меньше первого варианта фактора С на 21,2%, а второго варианта – на 11,5%.

Количество междурядных культиваций существенно влияло на чистую продуктивность фотосинтеза. Так, на контрольном варианте фактора D (без культивации междурядий) данный показатель возрос в среднем до 6,0 г/м². При проведении одной междурядной культивации он снизился на 5,3% до 5,7 г/м², а при двух культивациях – до 4,8 г/м², что было меньше контрольного варианта на 25,0%.

Фотосинтетический потенциал отображал тенденции и закономерности, которые были установлены относительно показателей чистой продуктивности фотосинтеза, кроме фактора D, где фотосинтетический потенциал, наоборот, увеличивался при переходе от контрольного варианта (без обработок) к вариантам с одной и двумя культивациями (табл. 2).

Таблица 2. Фотосинтетический потенциал посевов кукурузы в зависимости от гибридного состава, гербицидов, сроков сева и количества междурядных культиваций, млн м²-дней/га, 2017-2019 гг

Table 2. Photosynthetic potential of corn crops depending on hybrid composition, herbicides, sowing time and the number of inter-row cultivations, million m²-days/ha, 2017-2019

Гибрид (фактор А)	Гербицид (фактор В)	Срок сева (фактор С)	Культивации (фактор D)			Среднее по факторам		
			без культивации	одна культивация	две культивации	С	В	А
Ладожский291	Люмакс	Ранний	2,8	3,1	3,0	3,0	2,7	2,8
		Средний	2,7	2,9	2,9	2,7		
		Поздний	2,4	2,6	2,5	2,4		
	Элюмис	Ранний	2,9	3,1	3,1		2,7	
		Средний	2,6	2,8	2,8			
		Поздний	2,4	2,4	2,5			
	Титус Плюс	Ранний	2,9	3,1	3,1		2,7	
		Средний	2,7	2,9	2,9			
		Поздний	2,5	2,6	2,6			
ДКС 4590	Люмакс	Ранний	3,1	3,0	3,1		2,8	
		Средний	2,7	2,7	2,9			
		Поздний	2,5	2,5	2,5			
	Элюмис	Ранний	3,0	3,0	3,1			
		Средний	3,0	2,8	2,9			
		Поздний	2,6	2,6	2,6			
	Титус Плюс	Ранний	2,9	3,2	3,1			
		Средний	2,6	2,8	2,8			
		Поздний	2,3	2,6	2,6			
Феномен	Люмакс	Ранний	2,6	2,7	2,8		2,6	
		Средний	2,5	2,6	2,7			
		Поздний	2,2	2,4	2,3			
	Элюмис	Ранний	2,6	2,8	2,9			
		Средний	2,5	2,6	2,7			
		Поздний	2,2	2,4	2,4			
	Титус Плюс	Ранний	2,9	2,9	3,0			
		Средний	2,6	2,7	2,7			
		Поздний	2,2	2,3	2,4			
Среднее по фактору D			2,6	2,7	2,8			
НСР ₀₅ по факторам ABCD – 0,08 млн м ² -дней/га								

Применение одной междурядной культивации способствовало получению наибольшего фотосинтетического потенциала кукурузы на уровне 3,2 млн м²-дней/га. Минимальным (2,2 млн м²-дней/га) этот показатель был при выращивании гибрида Феномен с использованием гербицида Титус Плюс, проведении сева в поздний срок и без применения междурядной культивации (контроль фактора D), что было на 45,5% меньше лучшего варианта.

Гибриды кукурузы Ладожский 291 и ДКС 4590 сформировали одинаковую величину фотосинтетического потенциала посевов – в среднем по фактору А 2,8 млн м²-дней/га, а у гибрида Феномен зафиксировано его снижение до 2,6 млн м²-дней/га, или на 7,5%.

Применение гербицидов не влияло на фотосинтетический потенциал исследуемой культуры. На всех вариантах он был одинаковым – 2,7 млн м²-дней/га.

Сроки сева в значительной степени влияли на формирование показателей фотосинтетического потенциала посевов кукурузы. Сев в ранние сроки способствовал получению наибольшего показателя, в среднем по фактору С 3,0 млн м²-дней/га. Перенос посевных работ на средний и поздний срок обусловил снижение фотосинтетического потенциала посевов до 2,7 и 2,4 млн м²-дней/га или на 11,1 и 25,0% соответственно.

Минимальный фотосинтетический потенциал посевов кукурузы, в среднем по четвертому изучаемому фактору, зафиксирован на контрольном варианте (без механических обработок) – 2,6 млн м²-дней/га. При проведении одной междурядной культивации он возрос до 2,7 млн м²-дней/га или на 3,9%, а при двух культивации – 2,8 млн м²-дней/га, или на 7,7%.

Установление показателей коэффициента полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД_{ФАР}) имеет важное научное и практическое значение, поскольку позволяет количественно оце-

нить эффективность использования растениями солнечной энергии для синтеза органических веществ. Применение более эффективных агротехнических приемов или их усовершенствование, создание новых сортов и гибридов, а также развитие точного земледелия, где параметры окружающей среды автоматически регулируются для поддержания оптимального КПД_{ФАР}, является важной частью научно-исследовательских работ в агрономии.

В наших полевых опытах коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации в разной степени изменялся под действием изучаемых факторов агроприемов возделывания и их вариантов (табл. 3). Максимальным, на уровне 2,8%, он был на варианте с проведением двух междурядных культиваций, при высеве в ранний срок гибрида ДКС 4590 и защите от сорняков с помощью гербицида Титус Плюс. КПД_{ФАР} существенно, в 1,9 раза, снизился и составлял 1,5% на варианте с гибридом Феномен, применении препарата Люмакс, севе в поздний срок и без междурядных обработок.

При выращивании гибрида кукурузы ДКС 4590 КПД_{ФАР} достиг максимального уровня (2,3%). На варианте с гибридом Ладожский 291 он несущественно увеличился до 2,2%, или на 0,1 процентный пункт. На опытных делянках с гибридом кукурузы Феномен коэффициент полезного действия ФАР снизился до 2,0%, что было на 0,2-0,3 процентных пунктов ниже, чем на других изучаемых гибридах.

На вариантах с внесением гербицидов Элюмис и Титус Плюс отмечено возрастание изучаемого показателя, в среднем до 2,2%. При использовании для контроля сорняков препарате Люмакс он несущественно снизился на 0,1 процентный пункт.

Минимальный изучаемый показатель на уровне 2,0% был получен при позднем севе гибридов кукурузы. При среднем и раннем сроках сева КПД_{ФАР} увеличился до 2,3 и 2,5%, или на 0,3-0,5 процентных пунктов.

Таблица 3. Коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД_{ФАР}) в зависимости от изучаемых факторов, %, 2017-2019 гг
Table 3. Efficiency of photosynthetically active radiation (EC_{phAR}) depending on the factors studied, %, 2017-2019

Гибрид (фактор А)	Гербицид (фактор В)	Срок сева (фактор С)	Культивации (фактор D)			Среднее по факторам		
			без культивации	одна культивация	две культивации	С	В	А
Ладожский 291	Люмакс	Ранний	2,3	2,4	2,6	2,5	2,1	2,2
		Средний	2,2	2,3	2,4	2,3		
		Поздний	1,7	2,0	2,1	2,0		
	Элюмис	Ранний	2,3	2,4	2,6		2,2	
		Средний	2,1	2,2	2,3			
		Поздний	1,9	1,9	1,9			
	Титус Плюс	Ранний	2,4	2,5	2,6		2,2	
		Средний	2,2	2,3	2,4			
		Поздний	2,0	2,0	2,1			
ДКС 4590	Люмакс	Ранний	2,7	2,7	2,6		2,3	
		Средний	2,5	2,2	2,2			
		Поздний	2,0	1,8	1,9			
	Элюмис	Ранний	2,5	2,6	2,5			
		Средний	2,4	2,6	2,2			
		Поздний	1,9	2,2	2,0			
	Титус Плюс	Ранний	2,5	2,6	2,8			
		Средний	2,2	2,2	2,4			
		Поздний	1,9	1,8	2,1			
Феномен	Люмакс	Ранний	2,2	2,2	2,2			2,0
		Средний	2,0	2,1	2,1			
		Поздний	1,5	1,8	1,9			
	Элюмис	Ранний	2,3	2,2	2,3			
		Средний	2,1	2,0	2,1			
		Поздний	1,8	1,7	1,9			
	Титус Плюс	Ранний	2,3	2,4	2,4			
		Средний	2,0	2,1	2,2			
		Поздний	1,8	1,8	1,9			
Среднее по фактору D			2,1	2,2	2,2			

Культивации междурядий способствовали увеличению коэффициента полезного действия фотосинтетически активной радиации на 4,8% – с 2,1 до 2,2%.

Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза (К_{хоз}), который является важным показателем продуктивности и определяющееся как отношение количества сухого вещества, накопленного в хозяйственно более ценных органах растения (зерно), к общему количеству сухого вещества [30]. Данный показатель увеличился до 0,48% при севе гибрида ДКС 4590 в ранний срок на вариантах с применением гербицида Люмакс без культиваций, а также на делянках с защитой от сорняков с помощью препарата Титус Плюс и проведении двух междурядных обработок посевов (табл. 4).

На 26,3% (до 0,38%) коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза снизился на варианте с гибридом Феномен, который выращивали на делянках с внесением гербицида Люмакс при позднем

сроке сева и без проведения междурядных культиваций.

В среднем по гибриднему составу кукурузы наибольшую величину К_{хоз} зафиксировали у гибрида ДКС 4590, где он увеличился до 0,45%. При выращивании гибридов Ладожский 291 и Феномен коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза несущественно снизился до 0,44 и 0,43%, или на 0,01-0,02 процентных пункта.

Ранний срок сева также способствовал некоторому повышению, в среднем до 0,45%, показателя К_{хоз}. При среднем сроке он снизился до 0,44% (на 0,01 процентный пункт), а при позднем – до 0,43% (на 0,02 процентный пункт).

Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза по фактору D был одинаковый на всех вариантах междурядных культиваций посевов кукурузы и составил 0,44%, что можно объяснить очень слабой разницей в показателях сбора сухого вещества на вариантах этого фактора.

Таблица 4. Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{\text{ХОЗ}}$) в зависимости от изучаемых факторов, %, 2017-2019 гг
Table 4. Coefficient of economic efficiency of photosynthesis (C_{EE}) depending on the studied factors, %, 2017-2019

Гибрид (фактор А)	Гербицид (фактор В)	Срок сева (фактор С)	Культивации (фактор D)			Среднее по факторам		
			без культивации	одна культивации	две культивации	С	В	А
Ладожский 291	Люмакс	Ранний	0,45	0,44	0,44	0,45	0,43	0,44
		Средний	0,45	0,45	0,45	0,44		
		Поздний	0,39	0,43	0,43	0,43		
	Эломис	Ранний	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	
		Средний	0,44	0,43	0,44			
		Поздний	0,43	0,43	0,43			
	Титус Плюс	Ранний	0,45	0,45	0,46		0,44	
		Средний	0,44	0,45	0,45			
		Поздний	0,44	0,43	0,43			
DKC 4590	Люмакс	Ранний	0,48	0,47	0,46	0,45	0,45	
		Средний	0,47	0,43	0,43			
		Поздний	0,41	0,40	0,41			
	Эломис	Ранний	0,46	0,45	0,45			
		Средний	0,45	0,45	0,43			
		Поздний	0,43	0,43	0,43			
	Титус Плюс	Ранний	0,46	0,47	0,48			
		Средний	0,46	0,45	0,46			
		Поздний	0,43	0,42	0,43			
Феномен	Люмакс	Ранний	0,44	0,43	0,44	0,43	0,43	
		Средний	0,44	0,43	0,43			
		Поздний	0,38	0,43	0,42			
	Эломис	Ранний	0,44	0,43	0,45			
		Средний	0,44	0,43	0,43			
		Поздний	0,41	0,40	0,42			
	Титус Плюс	Ранний	0,44	0,44	0,45			
		Средний	0,43	0,43	0,43			
		Поздний	0,43	0,42	0,43			
Среднее по фактору D			0,44	0,44	0,44			

Урожайность сельскохозяйственных культур, в том числе кукурузы, является основным показателем продуктивности агрофитоценоза, который напрямую зависит от эффективности использования растением ключевых факторов внешней среды, в первую очередь солнечной радиации. Высокий показатель КПД_{ФАР} свидетельствует о более эффективном функционировании фотосинтетического аппарата растений, оптимальной архитектонике посева, рациональном распределении ассимилятов и, как следствие, о потенциально более высокой продуктивности [18].

Установлено, что очень высокий уровень корреляционной связи (близкий к единице) в математической модели между урожайностью зерна и коэффициентом полезного действия ФАР (рис. 2). Гибрид Ладожский 291 по полиномиальной линии тренда показывает лучший потенциал повышения урожайности при увеличении урожайности зерна, особенно в диапазоне

урожайности больше 70 ц/га, когда КПД_{ФАР} превышает 2,5%.

Гибрид кукурузы DKC 4590 обладает максимально высоким уровнем использования солнечной энергии и повышении КПД_{ФАР} больше 3,0% при теоретической урожайности зерна больше 67 ц/га.

Гибрид Феномен также показывает высокий потенциал формирования урожайности зерна (62 ц/га и выше) при превышении КПД_{ФАР} больше 2,0%.

Следует отметить, что у всех исследуемых гибридов зафиксированы минимальные значения КПД_{ФАР} (1,0-1,6%) при наименьшей урожайности зерна на уровне 30-40 ц/га.

Таким образом, построение корреляционно-регрессионной модели позволяет прогнозировать потенциальную урожайность кукурузы на основе показателей КПД_{ФАР}, рассчитанных в разные фазы вегетации. Это важно для планирования производства, оценки эффективности применяе-

мых технологий и заблаговременного принятия управленческих решений. Снижение КПД_{ФАР} может служить индикатором воздействия стрессовых факторов (засуха, дефицит питания, болезни, экстремальные температуры), что позволит своевременно реагировать и принимать корректирующие меры для минимизации потерь урожая зерна кукурузы.

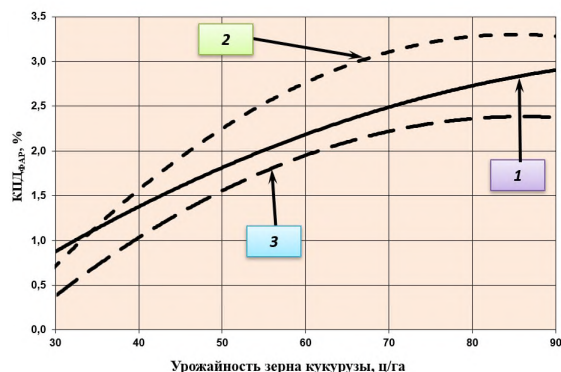


Рис. 2. Корреляционно-регрессионная зависимость между урожайностью зерна кукурузы (ц/га) и коэффициентом полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД_{ФАР}, %) у гибридов:

1 – Ладожский 291

$$(y = 0,00005x^2 + 0,0316x + 0,1457; R^2 = 0,9887);$$

2 – DKC 4590

$$(y = 0,0005x^2 + 0,0331x + 0,0858; R^2 = 0,9928);$$

3 – Феномен

$$(y = -0,0002x^2 + 0,0585x - 0,595; R^2 = 0,9843)$$

Fig. 2. Correlation-regression relationship between corn grain yield (centners/ha) and the efficiency of photosynthetically active radiation (EC_{PAR}, %) in hybrids:

1 – Ladozhskiy 291

$$(y = 0,00005x^2 + 0,0316x + 0,1457; R^2 = 0,9887);$$

2 – DKC 4590

$$(y = 0,0005x^2 + 0,0331x + 0,0858; R^2 = 0,9928);$$

3 – Phenomenon

$$(y = -0,0002x^2 + 0,0585x - 0,595; R^2 = 0,9843)$$

Заключение. Доказано, что вегетационный период гибридов кукурузы в 2018 г. характеризовался максимальной температурой воздуха (21,5°C) и наименьшим количеством осадков (206 мм), в 2017 и 2019 гг. температура снизилась до 21,0° и 20,3°C. Распределение осадков было крайне неравномерным во все годы, осо-

бенно в 2018 г. (существенное различие в 13 раз). Солнечная радиация достигала пика в летние месяцы (до 26,1 МДж/м² в июне 2018 г.), а минимального значения (3,3-4,4 МДж/м²) достигало зимой.

Чистая продуктивность фотосинтеза максимального уровня 6,9 г/м² достигала у гибрида DKC 4590 при раннем сроке сева, применении гербицида Люмакс и отсутствии междурядных культиваций. Минимальное значение (4,7 г/м²) наблюдалось у гибрида Феномен при позднем севе, гербициде Люмакс и одной культивации. Отсутствие междурядных культиваций повысило этот показатель до 6,0 г/м², тогда как одна или две культивации снижали его до 5,7 и 4,8 г/м². В среднем по четвертому фактору установлено, что варианты применения гербицидов не оказали существенного влияния на чистую продуктивность фотосинтеза.

Наибольший фотосинтетический потенциал кукурузы (3,2 млн м²-дней/га) достигнут при одной междурядной культивации. Минимальный (2,2 млн м²-дней/га) зафиксирован при комбинации гибрида Феномен, позднего сева, гербицида Титус Плюс и отсутствии междурядной культивации, что на 45,5% ниже максимума. Среди гибридов кукурузы Ладожский 291 и DKC 4590 сформировали более высокий потенциал – 2,8 млн, чем гибрид Феномен 2,6 млн м²-дней/га. Междурядные культивации увеличивают потенциал (до 2,8 млн м²-дней/га при двух культивациях) по сравнению с их отсутствием. Применение гербицидов не влияет на фотосинтетический потенциал посевов.

Максимальный коэффициент полезного действия ФАР (2,8%) получен при раннем посеве гибрида DKC 4590, применении гербицида Титус Плюс и проведении двух междурядных культиваций. Зафиксировано увеличение КПД_{ФАР} при севе гибрида DKC 4590 (до 2,3%) по сравнению с Феноменом (2,0%); при раннем и среднем сроках сева (до 2,3-2,5%) относительно позднего (2,0%); на вариантах с гербици-

дом Элюмис и Титус Плюс (в среднем до 2,2%); при проведении междурядных культиваций с увеличением на 4,8%.

Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{\text{хоз}}$) кукурузы был максимальным у гибрида ДКС 4590 (0,45%) по сравнению с гибридами Ладожский 291 (0,44%) и Феномен (0,43%). Ранний срок сева также повышал исследуемый показатель (в среднем до 0,45%), тогда как средний и поздний сроки его снижали (до 0,44 и 0,43%). При этом междурядные культивации не оказали существенного влияния на $K_{\text{хоз}}$, который был одинаковым на всех вариантах и составлял 0,44%.

Доказана очень сильная корреляция между урожайностью зерна и коэффициентом полезного действия фотосинтетически активной радиации. У гибрида Ладожский 291 отмечен лучший потенциал урожайности (больше 70 ц/га) при КПД_{ФАР} больше 2,5%. Гибрид кукурузы ДКС 4590 обеспечил максимально высокий КПД_{ФАР} (больше

3,0%) при урожайности больше 67 ц/га. Гибрид Феномен – высокий потенциал урожайности (больше 62 ц/га) при КПД_{ФАР} больше 2,0%. У всех гибридов отмечен минимальный показатель (1,0-1,6%) при низкой урожайности (на уровне 30-40 ц/га). Выявление сильной и стабильной корреляционной связи позволит использовать КПД_{ФАР} как важный селекционный признак при создании новых высокопродуктивных гибридов кукурузы. Это даст возможность целенаправленно отбирать генотипы, способные максимально эффективно трансформировать солнечную энергию в урожай, что особенно актуально в условиях изменения климата и необходимости повышения продуктивности на единицу площади. Доказано, что с помощью оптимизации сортовой агротехники каждого гибрида кукурузы можно создать условия, которые позволят в максимальной степени повысить эффективность использования солнечной энергии и других ресурсов при выращивании исследуемой культуры.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коковихин С.В., Бойко Е.С., Магомедтагиров А.А. Влияние изменений климата и погодных условий на урожайность озимой пшеницы в условиях Центральной зоны Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 106. С. 104-115.
 2. Влияние системы основной обработки почвы на структуру чернозема выщелоченного Западного Предкавказья / Т.В. Логойда [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 112. С. 155-166.
 3. Влияние факторов агротехники на физиолого-биохимические параметры растений озимой пшеницы, возделываемой по различным предшественникам / Ю.П. Федулов [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 74. С. 158-168.
 4. Коковихин С.В., Василько В.П., Сташкина А.Ф. Оптимизация систем земледелия на территории Северного Причерноморья в условиях изменения климата и эколого-мелиоративного состояния почв // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 36 (199). С. 71-89.
 5. Баландин В.С., Василько В.П. Влияние системы удобрения на урожайность и качество зерна кукурузы в условиях низинно-западного агроландшафта // Современные векторы развития науки: сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год (Краснодар, 06 февр. 2024 г.). Краснодар: КубГАУ им. И.Т. Трубилина, 2024. С. 3-4.
 6. Эффективность применения интенсивной и биологизированной технологии выращивания гибридов кукурузы при капельном орошении / О.В. Макуха [и др.] // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2024. № 38 (201). С. 101-116.
- Новые технологии / New Technologies, 2025; 21 (4)

7. Modeling safflower seed productivity in dependence on cultivation technology by the means of multiple linear regression model / R. Vozhehova [et al.] // Journal of Ecological Engineering. 2019. Vol. 20, No. 4. P. 8-13.
8. Адамень Ф.Ф., Коковихин С.В., Сташкина А.Ф. Эффективность применения искусственного увлажнения с учётом метеорологических факторов при выращивании основных сельскохозяйственных культур в условиях Северного Причерноморья // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 33 (196). С. 34-43.
9. Коковихин С.В., Макаренко А.А., Логойда Т.В. Оптимизация орошаемых севооборотов и агроэкологическое обоснование климатически ориентированных систем земледелия // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2024. № 39 (202). С. 80-99.
10. Energy efficiency of sweet corn cultivation at drip irrigation in dependence on depth of plowing, fertilization and plants density / R. Vozhehova [et al.] // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 26, No. 4. P. 885.
11. Василько В.П., Баландин В. С. Динамика агрегатного состава почвы под кукурузой в зависимости от системы основной обработки почвы // Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2024 год: сборник трудов конференции (Краснодар, 05 февр. 2025 г.). Краснодар: КубГАУ им. И.Т. Трубилина, 2025. С. 8-10.
12. Эффективность применения гербицидов в посевах кукурузы на зерно в зависимости от срока посева на черноземе выщелоченном центральной зоны Краснодарского края / Т.В. Логойда [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 82. С. 90-96.
13. Калинин О.С., Баландин В.С., Ивлев А.С. Влияние способа основной обработки почвы на урожайность сахарной свеклы в условиях центральной зоны Краснодарского края // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: сборник статей V Международной научно-практической конференции (Пенза, 21-22 февр. 2020 г.). Пенза: Пензенский ГАУ, 2020. С. 67-69.
14. Эффективность применения гербицидов в посевах кукурузы на зерно в зависимости от срока посева на черноземе выщелоченном центральной зоны Краснодарского края / Т.В. Логойда [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 82. С. 90-96.
15. Позднякова А.В., Магомедтагиров А.А. Влияние гербицидов на урожайность кукурузы в центральной зоне Краснодарского края // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам LXXIV научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2018 год (Краснодар, 26 апр. 2019 г.) / отв. за вып. А.Г. Кощаев. Краснодар: КубГАУ имени И.Т. Трубилина, 2019. С. 61-62.
16. Архив погоды в Краснодаре. 2017, 2018, 2019 гг. [Электронный ресурс]. URL: https://meteo9.ru/archive_v_krasnodare/oJ6X.
17. Land & Water. CropWat [Electronic resource]. URL: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en>.
18. Дисперсионный и корреляционный анализ в растениеводстве и луговодстве: монография / Ушкаренко В.А. [и др.]. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. 336 с.

REFERENCES

1. Kokovikhin, S.V., Boyko, E.S., Magomedtagirov, A.A. The impact of climate change and weather conditions on winter wheat yield in the central zone of Krasnodar territory // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2023. Issue 106. P. 104-115. [In Russ.]
2. The impact of primary tillage system on the structure of leached chernozem in the Western Caucasasia / T.V. Logoida [et al.] // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2024. Issue 112. P. 155-166. [In Russ.]
3. The impact of agricultural technology factors on the physiological and biochemical parameters of winter wheat plants cultivated after different predecessors / Yu.P. Fedolov [et al.] // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2018. Issue 74. P. 158-168. [In Russ.]

4. Kokovikhin S.V., Vasilko, V.P., Stashkina, A.F. Optimization of farming systems in the Northern Black Sea region under changing climate conditions and the ecological and meliorative state of soils // News of the agricultural science of Tavrida. 2023. Issue 36 (199). P. 71-89. [In Russ.]
5. Balandin, V.S., Vasilko, V.P. Influence of the fertilization system on the yield and quality of corn grain in the conditions of a lowland-western agricultural landscape // Modern vectors of science development: a collection of articles based on the materials of the annual scientific and practical conference of teachers on the results of research for 2023 (Krasnodar, February 6, 2024). Krasnodar: KubSAU im. I.T. Trubilina, 2024. P. 3-4. [In Russ.]
6. Efficiency of using intensive and biologized technology for growing corn hybrids with drip irrigation / O.V. Makukha [et al.] // News of agricultural science of Tavrida. 2024. Issue 38 (201). P. 101-116. [In Russ.]
7. Modeling safflower seed productivity in dependence on cultivation technology by the means of multiple linear regression model / R. Vozhehova [et al.] // Journal of Ecological Engineering. 2019. Vol. 20, No. 4. P. 8-13.
8. Adamen, F.F., Kokovikhin, S.V., Stashkina, A.F. Efficiency of using artificial moisture taking into account meteorological factors in growing the main agricultural crops in the conditions of the Northern Black Sea region // News of agricultural science of Tavrida. 2023. No. 33 (196). P. 34-43.
9. Kokovikhin S.V., Makarenko A.A., Logoida T.V. Optimization of irrigated crop rotations and agroecological substantiation of climate-oriented farming systems // News of the agricultural science of Tavrida. 2024. Issue 39 (202). P. 80-99. [In Russ.]
10. Energy efficiency of sweet corn cultivation at drip irrigation in dependence on depth of plowing, fertilization and plants density / R. Vozhehova [et al.] // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 26, Issue 4. P. 885. [In Russ.]
11. Vasilko, V.P., Balandin, V.S. Dynamics of the aggregate composition of soil under corn depending on the primary tillage system // Collection of articles based on the materials of the annual scientific and practical conference of teachers on the results of research for 2024: collection of conference papers (Krasnodar, February 5, 2025). Krasnodar: Kuban State Agricultural University named after I.T. Trubilin, 2025. P. 8-10. [In Russ.]
12. Efficiency of herbicide application in grain corn crops depending on the sowing time on leached chernozem in the central zone of Krasnodar Krai / T.V. Logoida [et al.] // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. No. 82. Pp. 90-96. [In Russ.]
13. Kalinin, O.S., Balandin, V.S., Ivlev, A.S. The influence of the primary tillage method on the yield of sugar beet in the central zone of the Krasnodar Territory // Resource-saving technologies and technical means for the production of crop and livestock products: a collection of articles of the V International scientific and practical conference (Penza, February 21-22, 2020). Penza: Penza State Agrarian University, 2020. P. 67-69. [In Russ.]
14. Efficiency of herbicide application in grain corn crops depending on the sowing time on leached chernozem in the central zone of the Krasnodar Territory / T.V. Logoida [et al.] // Transactions of the Kuban State Agrarian University. 2020. Issue 82. P. 90-96. [In Russ.]
15. Pozdnyakova, A.V., Magomedtagirov, A.A. The impact of herbicides on corn yields in the central zone of the Krasnodar Territory // Scientific support for the agro-industrial complex: a collection of articles based on the materials of the lxxiv scientific and practical conference of students on the results of R&D for 2018 (Krasnodar, April 26, 2019) / Responsible for the Issue is A.G. Koshchaev. Krasnodar: KubSAU named after I.T. Trubilin, 2019. P. 61-62. [In Russ.]
16. Weather Archive in Krasnodar. 2017, 2018, 2019 [Electronic Resource]. URL: https://meteo9.ru/archive_v_krasnodare/oJ6X. [In Russ.]
17. Land & Water. CropWat [Electronic Resource]. URL: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en>.
18. Dispersion and correlation analysis in crop production and meadow cultivation: a monograph / Ushkarenko V.A. [et al.]. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2011. 336 p. [In Russ.]

Информация об авторах / Information about the authors

Макаренко Александр Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, декан факультета агрономии и экологии, доцент кафедры общего и орошаемого земледелия, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»; 350044, Российская федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6728-3058>, e-mail: agronomic@kubsau.ru

Коковихин Сергей Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой общего и орошаемого земледелия, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»; 350044, Российская федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1687-6889>, e-mail: agronomic@kubsau.ru

Aleksandr A. Makarenko, PhD (Agr.), Associate Professor, Dean of the Faculty of Agronomy and Ecology, Associate Professor, the Department of General and Irrigated Agriculture, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin; 350044, the Russian Federation, Krasnodar, 13 Kalinin, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6728-3058>, e-mail: agronomic@kubsau.ru

Sergey V. Kokovikhin, Dr Sci. (Agr.), Professor, Head of the Department of General and Irrigated Agriculture, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin; 350044, the Russian Federation, Krasnodar, 13 Kalinina St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1687-6889>, e-mail: agronomic@kubsau.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Claimed contribution of the authors

All authors have contributed equally to the publication.

Поступила в редакцию 14.09.2025

Поступила после рецензирования 17.10.2025

Принята к публикации 20.10.2025

Received 14.09.2025

Revised 17.10.2025

Accepted 20.10.2025