

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 633.11:631.559:631.67; 551.583

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-58-72

Урожайность озимой пшеницы при различных технологиях орошения и минерального питания в условиях изменяющегося климата в Центральной орошаемой зоне Ростовской области

Дмитрий Петрович Сидаренко¹, Александр Павлович Тищенко²

¹Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, sidarenko1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3273-6499>

²Крымский филиал Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации, Симферополь, Российская Федерация, siriusat@mail.ru

Аннотация. Цель: изучение влияния различных технологий орошения и внесения минеральных удобрений на продуктивность озимой пшеницы по годам с различными климатическими условиями и исследование изменений климатических показателей Центральной орошаемой зоны Ростовской области за период 2012–2021 гг. **Материалы и методы.** Полевые исследования в 2019–2021 гг. проводились в Багаевском районе Ростовской области на орошаемых землях. В опыте изучались три варианта технологии орошения и три варианта технологии минерального питания озимой пшеницы. По гранулометрическому составу почвы опытного участка по всему профилю представлены в основном суглинками тяжелыми. Содержание гумуса в пахотном слое (0,3 м) составляет 3,7 %. Климат района проведения исследований характеризуется как засушливый. В ходе проведения исследований определялись запасы влаги в слое почвы 0–100 см по фазам вегетации озимой пшеницы, проводился учет площади листовой поверхности, учет урожайности озимой пшеницы осуществлялся по вариантам опыта. **Результаты.** Применение прецизионной технологии орошения позволило обеспечить запасы влаги в фазе колошения на уровне 102,4–110,4 мм. Прецизионная технология орошения без внесения и с использованием различных технологий внесения минеральных удобрений обеспечила получение максимальной урожайности до 4,83–8,69 т/га. **Выводы.** Определено преимущество прецизионной технологии орошения и внесения минеральных удобрений, которое обеспечивает наибольший рост листовой поверхности озимой пшеницы и способствует получению максимальной урожайности даже в условиях дефицита доступных водных ресурсов в критический период вегетации озимой пшеницы.

Ключевые слова: изменение климата, количество осадков, влажность почвы, вегетация

Для цитирования: Сидаренко Д. П., Тищенко А. П. Урожайность озимой пшеницы при различных технологиях орошения и минерального питания в условиях изменяющегося климата в Центральной орошаемой зоне Ростовской области // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 1. С. 58–72. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-58-72>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Winter wheat yield under various irrigation technologies and mineral nutrition under changing climate in Central irrigated zone of Rostov region

Dmitry P. Sidarenko¹, Alexander P. Tishchenko²

¹Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, sidarenko1@mail.ru, <https://orcid./org/0000-0002-3273-6499>

²Crimean Branch of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Simferopol, Russian Federation, siriusat@mail.ru

Abstract. Purpose: to study the impact of various irrigation technologies and the mineral fertilizers application on winter wheat productivity for years with different climatic conditions and to study changes in climatic indicators of the Central irrigated zone Rostov region for the period 2012–2021. **Materials and methods.** Field research in 2019–2021 were carried out in Bagaevsky district Rostov region on irrigated lands. In the experiment, three options for irrigation technology and three options for the technology of mineral nutrition of winter wheat were studied. According to soil texture of the experimental plot throughout the profile, they are represented mainly by heavy loams. The humus content in the arable layer (0.3 m) is 3.7 %. The climate of the study area is characterized as arid. In the course of the research, the moisture deposits in the soil layer of 0–100 cm were determined by the phases of winter wheat vegetation, the leaf area duration was taken into account, and the winter wheat yield was carried out according to the experimental options. **Results.** The use of precision irrigation technology made it possible to ensure moisture reserves in the heading phase at the level of 102.4–110.4 mm. Precision irrigation technology without and with the use of various technologies for applying mineral fertilizers ensured maximum yields of up to 4.83–8.69 t/ha. **Conclusions.** The advantage of precision irrigation technology and the application of mineral fertilizers, which ensures the greatest growth of the leaf area duration of winter wheat and contributes to obtaining maximum yields, even under conditions of scarcity of available water resources during the critical period of winter wheat vegetation, has been determined.

Keywords: climate change, amount of precipitation, soil moisture, vegetation

For citation: Sidarenko D. P., Tishchenko A. P. Winter wheat yield under various irrigation technologies and mineral nutrition under changing climate in Central irrigated zone of Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(1):58–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-58-72>.

Введение. Как известно, одной из наиболее важных стратегических задач АПК России является устойчивое производство зерновых культур. Вследствие этого оказывается большое влияние на окружающую среду. Значительно возросла распаханность земельных угодий, нарушена прежняя система почвообразования, основанная на естественных процессах и деятельности микроорганизмов. Следовательно, нужна продуманная система мер по регулированию почвообразовательных процессов в новых условиях. Для многих районов с расширением распаханности потенциально возрастает угроза проявления негативных природных явлений [1–5].

Ростовская область относится к зоне рискованного земледелия, так как она в значительной степени подвержена влиянию различных неблаго-

приятных метеорологических явлений, оказывающих вредное действие на развитие сельскохозяйственных культур. Основными из них являются: засухи, суховеи, сильные ветры, пыльные бури, град, заморозки, метели и гололед [6].

Следует отметить, что в Ростовской области с недавнего времени наметилась тенденция к существенным изменениям параметров климата. Отмечается устойчивое уменьшение степени обеспеченности осадками на фоне роста температуры воздуха и увеличение разницы между суммарным водопотреблением и количеством выпавших осадков [7].

Для формирования структуры площадей, отводимых под различные сельскохозяйственные культуры в том или ином регионе, хозяйствующему субъекту (земледельцу) необходимо знать, как изменились в количественном отношении агроклиматические условия не только сезонов года в целом, но и внутри вегетационного периода.

Ростовская область располагается в зоне недостаточного увлажнения. Для получения высоких и стабильных урожаев на значительной территории области возделывание озимой пшеницы целесообразно на орошаемых землях [8–10].

На фоне орошения создаются благоприятные условия для влияния удобрений, которое в этом случае в 1,5–2 раза выше, чем при возделывании сельскохозяйственных культур на богаре. Особенно высокий эффект достигается в засушливых районах. Установлено, что прибавки урожайности от использования удобрений на поливе достигают для зерновых колосовых культур 7–10 ц/га [11].

Для более эффективного использования орошаемых земель необходимо рассмотреть вопрос применения технологии прецизионного (точного) земледелия. Технология точного земледелия предусматривает внесение минеральных и органических удобрений и обработку почвы при учете начального ее состояния, чего при применении стандартных технологий

добиться невозможно. Большое значение в последнее время в системах точного земледелия приобретает возможность дозирования воды каждым дождевателем и внесения удобрений по сегментам (микроучасткам) с выравниванием свойств почв по этим показателям по всему полю.

Основой технологии является программное обеспечение, которое должно автоматизировать выполнение технологических операций с учетом оптимизации агротехнических решений в пределах поля [12–15].

Цель исследований состояла в изучении влияния различных технологий орошения и внесения минеральных удобрений на продуктивность озимой пшеницы по годам с различными климатическими условиями и изучении изменений климатических показателей Центральной орошаемой зоны Ростовской области за период 2012–2021 гг.

Материалы и методы. Полевые исследования в 2019–2021 гг. проводились в Багаевском районе Ростовской области на орошаемых землях. По гранулометрическому составу почвы опытного участка по всему профилю представлены в основном суглинками тяжелыми. Содержание гумуса в пахотном слое (0,3 м) составляет 3,7 %, мощность гумусового горизонта до 0,65 м. Плотность почвы в слое 0,6 м составляет 1,27 т/м³, а в метровом слое – 1,33 т/м³. Пахотный слой почвы опытного участка (0–25 см) характеризуется высоким содержанием нитратов (18,2 мг/кг почвы), средним содержанием подвижного фосфора (27,6 мг/кг почвы) и высоким содержанием обменного калия (378 мг/кг почвы). Подпахотный слой почвы (25–60 см) характеризуется высоким содержанием азота и низким фосфора (18,5 и 11,7 мг/кг почвы соответственно), повышенным содержанием калия (247 мг/кг почвы).

Климат района проведения исследований характеризуется как засушливый. Данная территория относится к агроклиматическому району III (жаркий), подрайону IIIб (недостаточного увлажнения). Гидротермический коэффициент (ГТК) колеблется в пределах 0,7–0,8, сумма темпера-

тур за период активной вегетации составляет 3200–3400 °С. Продолжительность безморозного периода 175–180 дней [16].

В таблице 1 представлены метеорологические данные по годам проведения исследований.

Таблица 1 – Метеорологические данные по годам проведения исследований за период 2019–2021 гг. (метеостанция г. Семикаракорск)

Table 1 – Meteorological data by research years for the period 2019–2021 (weather station in Semikarakorsk)

Месяц	Температура воздуха, °С			Относительная влажность, %			Сумма осадков, мм		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Май	18,1	15,1	18,1	71	71	67	75	67	70
Июнь	24,3	22,7	21,6	48	59	72	2	41	108
Июль	22,4	25,7	26,3	62	45	54	76	49	34
Август	22,7	22,9	25,4	51	46	56	2	19	15
Сентябрь	16,3	19,3	15,4	56	39	64	37	0,8	21

Анализ данных таблицы 1 показывает, что средняя температура воздуха в мае по годам проведения исследований различалась несущественно, в июне отмечается уменьшение средней температуры воздуха с 24,3 °С в 2019 г. до 21,6 °С в 2021 г., этот показатель ниже среднемноголетнего показателя за период 2012–2021 гг. на 0,9 °С. По количеству выпавших осадков также отмечается их увеличение. Наблюдалось в 2019 г. уменьшение данного показателя в июне до 2 мм при среднемноголетнем значении 27 мм и последующее увеличение количества выпавших осадков в 2021 г. до максимального значения 108 мм, что выше показателя 2012–2021 гг. в 4 раза. То есть можно сделать вывод, что в годы проведения исследований сложились благоприятные метеорологические условия для формирования урожая озимой пшеницы.

Крайне неблагоприятные метеорологические условия для нормального роста озимой пшеницы сложились в сентябре 2020 г., количество выпавших осадков было практически равно нулю. Это отразилось на всхожести озимой пшеницы, хотя в последующем осадки, выпавшие в критиче-

ский период с мая по июнь 2021 г., существенно исправили положение по влиянию на урожайность.

В опыте изучалось влияние различных технологий орошения при различной обеспеченности минеральными удобрениями на продуктивность озимой пшеницы. Схема опыта включает три повторности. Опыт двухфакторный.

Фактор А. Технологии орошения представлены тремя вариантами:

- без орошения;
- рекомендованная зональными системами земледелия (ЗСЗ) технология (оросительная норма 2400 м³/га);
- прецизионная технология (оросительная норма 2028 м³/га).

Работа выполнялась в рамках Междисциплинарного проекта № 20-69-47110 «Система мониторинга сельскохозяйственных показателей в видимом, инфракрасном и гиперспектральном режимах съемки».

Использованная в опыте технология прецизионного орошения позволяет обеспечивать дифференциацию поливной нормы для потребностей каждого микросегмента орошаемого участка, обеспечивая соблюдение принципов и понятий «сбалансированных» с точки зрения экологии агроландшафтов [17].

В таблице 2 представлены показатели изучаемых технологий орошения.

Таблица 2 – Технологии орошения озимой пшеницы, изучаемые в опыте

Table 2 – Winter wheat irrigation technologies studied in the experiment

Показатель	Технология орошения	
	Рекомендованная ЗСЗ	Прецизионная
Критерий для назначения полива	Порог 80 % наименьшей влагоемкости (НВ) в слое 0,6 м	Порог 80 % НВ в слое 0,6 м
Способ полива	Дождевание	Дождевание
Глубина увлажнения	0,6 м	
Оросительная норма	2400	2028
Поливная норма	400	338
Количество поливов	6	

Поливы по рассматриваемым вариантам опыта проводились в одни и те же сроки, поливными нормами 400 м³/га (рекомендуемая ЗСЗ технология) и 338 м³/га (прецизионная технология). Оросительная норма по рекомендуемой ЗСЗ технологии орошения изменялась от 2000 м³/га (четыре полива) в более влажном 2021 г. до 2800 м³/га (семь поливов) в более засушливом 2019 г. При прецизионной технологии орошения соответственно 1352–2336 м³/га.

Фактор В. Минеральное питание представлено тремя вариантами:

- без удобрений;
- рекомендованная ЗСЗ технология (N₁₈₀P₆₅K₄₀);
- прецизионная технология внесения минеральных удобрений (N₁₆₀P₆₅K₄₀).

Азотные удобрения вносились в подкормку в виде аммиачной селитры (34,5 %) в фазах кущения и выхода в трубку. Фосфорные и калийные удобрения вносились под основную обработку. Дифференцированные дозы удобрений при прецизионной технологии рассчитывались на основе данных листовой диагностики и вносились с использованием портативных N-сенсоров, установленных на подкормочных агрегатах.

Влажность почвы по слоям определялась в соответствии с ГОСТ 28268-89¹. Учет площади листовой поверхности и урожайности озимой пшеницы проводился по общепринятым методикам [18].

Результаты и обсуждения. Среднемноголетние метеорологические данные района проведения исследования за период 2012–2021 гг. по фазам активного роста и развития озимой пшеницы, в период формирования урожая и перед посевом представлены в таблице 3.

¹ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Введ. 1990-06-01. М.: Стандартиформ, 2006. 6 с.

Таблица 3 – Среднемноголетние метеорологические данные за период 2012–2021 гг. по данным метеостанции г. Семикаракорск
Table 3 – Average long-term meteorological data for the period 2012–2021 according to the weather station in Semikarakorsk

Месяц	Температура воздуха, °С			Относительная влажность, %			Сумма осадков, мм		
	2012–2016	2017–2021	2012–2021	2012–2016	2017–2021	2012–2021	2012–2016	2017–2021	2012–2021
Май	17,6	17,2	17,4	66	66	66	54	34	44
Июнь	22,5	22,5	22,5	58	57	58	23	32	27
Июль	24,5	24,9	24,8	54	54	54	21	44	32
Август	24,8	24,1	24,5	48	47	48	15	21	18
Сентябрь	16,7	17,7	17,2	63	53	58	27	25	26

Согласно данным таблицы 3 метеорологические показатели за период с мая по сентябрь 2012–2016 и 2017–2021 гг. отличались несущественно.

Метеорологические условия мая за период 2017–2021 гг. более жесткие, чем аналогичный период 2012–2016 гг., так, средняя температура воздуха отличалась от среднемноголетнего показателя на 0,4 °С в сторону уменьшения, количество осадков было на 10 мм ниже, чем данный показатель за период 2012–2021 гг. Аналогичная закономерность наблюдалась и в июне за период 2017–2021 гг. Характеристику увлажнения территории с учетом количества выпавших осадков и испарения дает ГТК Г. Т. Селянинова. Нами был произведен расчет ГТК за период 2012–2016 и 2017–2021 гг., представленный в таблице 4.

Таблица 4 – Гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова по данным за период 2012–2021 гг. (метеостанция г. Семикаракорск)

Table 4 – G. T. Selyaninov's hydrothermal coefficient based on data for the period 2012–2021 (weather station Semikarakorsk)

Период	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Май – сентябрь
2012–2016	1,0	0,3	0,3	0,2	0,5	0,5
2017–2021	0,6	0,5	0,6	0,3		
2012–2021	0,8	0,4	0,4	0,2		

Среднемноголетнее значение ГТК за период 2012–2021 гг. составило 0,5, при этом его показатель варьировал от 0,2 до 1,0. Среднеквадратиче-

ское отклонение составило $\sigma = 0,37$, коэффициент вариации $Cv = 0,45$. В целом за период май – сентябрь 2012–2016 и 2017–2021 гг. ГТК не отличался, при этом следует отметить, что за период 2017–2021 гг. ежемесячно изменения ГТК более равномерные по сравнению с аналогичным периодом 2012–2016 гг.

На рост и развитие озимой пшеницы оказали влияние изучаемые технологии орошения и внесения минеральных удобрений. В таблице 5 представлены данные о запасах влаги по фазам ее вегетации.

Таблица 5 – Запасы влаги под озимой пшеницей по вариантам опыта в слое почвы 0–100 см (среднее за 2019–2021 гг.)

В мм

Table 5 – Moisture reserves under winter wheat by experiment options in the soil layer 0–100 cm (average for 2019–2021)

In mm

Вариант опыта		Запас продуктивной влаги			
Орошение (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Посев	Выход в трубку	Колошение	Уборка
А1. Без орошения	В1. Без удобрений	86,3	97,4	82,1	64,7
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	88,7	96,5	91,7	78,1
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	93,5	97,4	92,2	80,6
А2. 80 % НВ в слое 0,6 м (рекомендованный ЗСЗ)	В1. Без удобрений	92,1	103,6	97,5	87,4
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	95,4	105,9	102,3	91,7
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	99,3	112,4	109,4	94,3
А3. Прецизионное орошение	В1. Без удобрений	94,7	107,1	102,4	100,3
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	96,5	112,6	107,6	105,2
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	102,1	115,0	110,4	108,6

Полученные результаты свидетельствуют о преимуществе вариантов опыта, в которых применялось орошение. Недостаток влаги в межфазный период от выхода в трубку до колошения может оказывать существенное влияние на число зерен в колосе, вследствие чего урожайность резко снижается.

Применение прецизионной технологии орошения позволило обеспечить запасы влаги в фазе колошения на уровне 102,4–110,4 мм, в то время как в вариантах опыта, где применялась рекомендуемая ЗСЗ технология орошения, содержание влаги в метровом слое почвы составляло 97,5–109,4 мм, в вариантах опыта без орошения содержание влаги в фазе колошения равно 82,1–92,2 мм.

Величина урожая озимой пшеницы находится в прямой зависимости от площади листовой поверхности, а нарастание листовой поверхности тесно связано с применением удобрений. Данные о величине этого показателя представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Величина площади листовой поверхности по вариантам опыта (среднее за 2019–2021 гг.)

В тыс. м²/га

Table 6 – The value of the leaf-area duration by experiment options (average for 2019–2021)

In thousand m²/ha

Вариант опыта		Площадь листовой поверхности	
Орошение (фактор А)	Удобрение (фактор В)	Выход в трубку	Цветение
А1. Без орошения	В1. Без удобрений	20,5	21,9
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	22,6	24,1
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	23,0	25,3
А2. 80 % НВ в слое 0,6 м (рекомендованный ЗСЗ)	В1. Без удобрений	22,6	27,1
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	23,3	29,1
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	24,6	30,5
А3. Прецизионное орошение	В1. Без удобрений	24,3	29,5
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	25,1	33,6
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	27,3	35,1

Анализ данных таблицы 6 свидетельствует о преимуществе прецизионной технологии орошения и внесения минеральных удобрений, так как она обеспечила максимальный прирост листовой поверхности. По вариан-

там опыта без орошения в фазе выхода в трубку площадь листовой поверхности составляла 20,5–23,0 тыс. м²/га. В вариантах, где применялась рекомендуемая ЗСЗ технология орошения без внесения минеральных удобрений, она изменялась от 22,6 до 24,6 тыс. м²/га. В варианте, где применялась прецизионная технология внесения удобрений, прецизионная технология орошения обеспечила увеличение площади листовой поверхности без внесения удобрений до 24,3 тыс. м²/га, а в сочетании с прецизионной технологией внесения минеральных удобрений до 27,3 тыс. м²/га. Аналогичная закономерность нарастания площади листовой поверхности по вариантам опыта отмечалась и в фазе цветения озимой пшеницы.

Урожайность озимой пшеницы по годам проведения исследований варьировала очень существенно, данные представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Урожайность озимой пшеницы по вариантам опыта (среднее)

В т/га

Table 7 – Winter wheat yield by experiment options (average)

In t/ha

Вариант опыта		Год		
Орошение (фактор А)	Удобрение (фактор В)	2019	2020	2021
А1. Без орошения	В1. Без удобрений	2,43	2,39	2,41
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	3,56	3,50	3,51
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	3,84	3,71	3,78
А2. 80 % НВ в слое 0,6 м (рекомендованный ЗСЗ)	В1. Без удобрений	4,28	4,10	4,17
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	6,80	6,53	6,59
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	7,90	7,48	7,54
А3. Прецизионное орошение	В1. Без удобрений	4,83	4,34	4,52
	В2. N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	7,20	7,06	7,18
	В3. N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	8,69	8,25	8,41
НСР ₀₅ (А)		0,21	0,17	0,18
НСР ₀₅ (В)		0,11	0,09	0,21
НСР ₀₅ (АВ)		0,34	0,22	0,31

Наименьшая урожайность озимой пшеницы была получена в вариантах без орошения, в 2020 г. она составила 2,39–3,71 т/га, наибольшая урожайность в вышеуказанном варианте опыта была получена в условиях 2019 г., она находилась в пределах 2,43–3,84 т/га. Применение рекомендуемой ЗСЗ технологии орошения позволило увеличить урожайность в условиях 2020 г. до 4,10–7,48 т/га, а в условиях 2019 г. до 4,28–7,90 т/га. Прецизионная технология орошения без применения и с использованием различных технологий внесения минеральных удобрений обеспечила повышение урожайности до 4,34–8,25 и 4,83–8,69 т/га соответственно.

Выводы. Анализ результатов проведенных исследований выявил, что годы исследований 2019–2021 гг. существенно отличались по погодным условиям от среднемноголетних показателей. В таких различных погодных условиях определено преимущество прецизионной технологии орошения и внесения минеральных удобрений, обеспечивающей наибольший рост листовой поверхности озимой пшеницы, которая сказалась на урожайности. В среднем за 3 года урожайность озимой пшеницы при прецизионной технологии составила 8,45 т/га, а при рекомендуемой ЗСЗ – 6,64 т/га.

Список источников

1. Климатическая система и обеспечение гидрометеорологической безопасности жизнедеятельности в России / А. И. Бедрицкий, А. А. Коршунов, Л. А. Хандожко, М. З. Шаймарданов // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 120–129.
2. Страшная А. И., Максименкова Т. А., Чуб О. В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды Гидрометцентра России. 2011. Вып. 345. С. 194–214.
3. Ксенофонтов М. Ю., Ползиков Д. А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // Проблемы прогнозирования. 2020. № 5(182). С. 153–164.
4. Vilfand R. M., Kulikova I. A., Makarova M. E. Weather and climate features of the Norton Hemisphere in 2019 in the context of long-period variability // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 606. Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and management. 2020. 012067. DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012067.
5. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство. 2019. № 6(66). С. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.
6. Агроклиматические ресурсы Ростовской области: справочник / Гл. упр. гид-

рометеорол. службы при Совете Министров СССР, Сев.-Кавк. упр. гидрометеорол. службы, Рост. гидрометеорол. обсерватория. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 251 с.

7. Влияние элементов технологии возделывания на продуктивность новых сортов озимой пшеницы при усилении флуктуации климата / К. Н. Бирюков, М. А. Фоменко, О. В. Бирюкова, И. В. Ляшков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3(89). С. 47–52. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-47-52.

8. Стратегия успешного развития мелиорации – прецизионное орошение / С. М. Васильев, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 3(39). С. 1–22. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1135> (дата обращения: 01.09.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-1-22.

9. Сидаренко Д. П., Бабенко А. А. Дифференцированное управление орошением сельскохозяйственных культур // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. Саратов: Амирит, 2021. С. 76–79.

10. Сидаренко Д. П. Показатели норм водопотребления зерновых культур по субъектам Южного федерального округа // Научные известия. 2022. № 26. С. 289–292.

11. Шевченко П. Д., Дробилко А. Д. Эффективные севообороты // Научный журнал КубГАУ. 2008. № 35. С. 25–40.

12. Ольгаренко В. И., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Научная концепция и алгоритм реализации элементов прецизионного земледелия в условиях оросительной сельскохозяйственной мелиорации // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 160–169. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=536> (дата обращения: 01.09.2022).

13. Бабичев А. Н., Ольгаренко В. Иг., Монастырский В. А. Способ совершенствования элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4(72). С. 48–53.

14. Опыт применения технологии прецизионного орошения в Ростовской области / А. Н. Бабичев, В. Иг. Ольгаренко, В. А. Монастырский, Д. П. Сидаренко // Технологии и технологические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 4(101). С. 75–86. DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10214.

15. Чураев А. А., Юченко Л. В. Прецизионное орошение и современные средства для его реализации // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 2(62). С. 75–79.

16. Полуэктов Е. В., Цвылев Е. М. Почвенно-земельные ресурсы Ростовской области: учеб. пособие. Новочеркасск: НГМА, 1999. 201 с.

17. Балакай Г. Т., Васильев С. М., Бабичев А. Н. Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 2(26). С. 1–18. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=312> (дата обращения: 01.09.2022).

18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. Изд. 6-е. М.: Альянс, 2011. 350 с.

References

1. Bedritsky A.I., Korshunov A.A., Khandozhko L.A., Shaimardanov M.Z., 2004. *Klimaticheskaya sistema i obespechenie gidrometeorologicheskoy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti v Rossii* [Climate system and hydrometeorological safety for societal and economic systems in Russia]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], no. 4, pp. 120-129. (In Russian).

2. Strashnaya A.I., Maksimenkova T.A., Chub O.V., 2011. *Agrometeorologicheskie osobennosti zasukhi 2010 goda v Rossii po sravneniyu s zasukhami proshlykh let* [Agrometeorological features of a drought of 2010 in Russia in comparison with droughts of last years]. *Trudy Gidromettsentra Rossii* [Proc. of the Hydrometeorological Center of Russia], iss. 345, pp. 194-214. (In Russian).

3. Ksenofontov M.Yu., Polzikov D.A., 2020. *K voprosu o vliyaniy klimaticheskikh izmeneniy na razvitie sel'skogo khozyaystva Rossii v dolgosrochnoy perspektive* [On issue of the climate change impact on the development of Russian agriculture in the long term]. *Problemy prognozirovaniya* [Forecasting Issues], no. 5(182), pp. 153-164. (In Russian).

4. Vilfand R.M., Kulikova I.A., Makarova M.E., 2020. Weather and climate features of the Norton Hemisphere in 2019 in the context of long-period variability. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 606. Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and management, 012067, DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012067.

5. Ionova E.V., Likhovidova V.A., Lobunskaya I.A., 2019. *Zasukha i gidrotermicheskii koeffitsient uvlazhneniya kak odin iz kriteriev stepeni ee intensivnosti (obzor literatury)* [Drought and hydrothermal humidity factor as one of the criteria to estimate its intensity degree (literature review)]. *Zernovoe khozyaystvo* [Grain Economy], no. 6(66), pp. 18-22, DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22. (In Russian).

6. *Agroklimaticheskie resursy Rostovskoy oblasti: spravochnik* [Agro-climatic Resources of Rostov region: a reference book]. Chief Hydrometeorological Department under the Council of Ministers of the USSR, North Caucasus Hydrometeorological Department, Rostov Hydrometeorological Observatory, Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1972, 251 p. (In Russian).

7. Biryukov K.N., Fomenko M.A., Biryukova O.V., Lyashkov I.V., 2021. *Vliyaniye elementov tekhnologii vozdeystviya na produktivnost' novykh sortov ozimoy pshenitsy pri usilenii fluktuatsii klimata* [Influence of elements of cultivation technology on the productivity of new varieties of winter wheat with increasing climate fluctuations]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Orenburg State Agrarian University], no. 3(89), pp. 47-52, DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-47-52. (In Russian).

8. Vasiliev S.M., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.Ig., 2020. [Precision irrigation - strategy for successful development of reclamation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(39), pp. 1-22, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1135> [accessed 01.09.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-1-22. (In Russian).

9. Sidarenko D.P., Babenko A.A., 2021. *Differentsirovannoe upravlenie orosheniem sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Differentiated management of agricultural crops irrigation]. *Innovatsii v prirodoobustroytve i zashchite v chrezvychaynykh situatsiyakh: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovations in Environmental Management and Protection in Emergency Situations: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Saratov State Agrarian University, Saratov, Amiri Publ., pp. 76-79. (In Russian).

10. Sidarenko D.P., 2022. *Pokazateli norm vodopotrebleniya zernovykh kul'tur po sub'ektam Yuzhnogo federal'nogo okruga* [Indicators of norms of water consumption of grain crops in the subjects of the Southern Federal District]. *Nauchnye Izvestiya* [Scientific News], no. 26, pp. 289-292. (In Russian).

11. Shevchenko P.D., Drobilko A.D., 2008. *Effektivnyye sevooboroty* [Efficient crop rotation]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of KubGAU], no. 35, pp. 25-40. (In Russian).

12. Olgarenko V.I., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2018. [Scientific concept and implementation algorithm of precision farming elements under irrigated agricultural reclamation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(29), pp. 160-169, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=536> [accessed 01.09.2022]. (In Russian).

13. Babichev A.N., Olgarenko V.Ig., Monastyrsky V.A., 2018. *Sposob sovershenstvovaniya elementov tekhnologii vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [A method for improving the elements of crop cultivation technology]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(72), pp. 48-53. (In Russian).

14. Babichev A.N., Olgarenko V.Ig., Monastyrsky V.A., Sidarenko D.P., 2019. *Opyt primeneniya tekhnologii pretsizionnogo orosheniya v Rostovskoy oblasti* Experience in precision irrigation technology application in Rostov region]. *Tekhnologii i tekhnologicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenyevodstva i zhivotnovodstva* [Technologies and Technological Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products], no. 4(101), pp. 75-86, DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10214. (In Russian).

15. Churaev A.A., Yuchenko L.V., 2016. *Pretsizionnoe oroshenie i sovremennye sredstva dlya ego realizatsii* [Precision irrigation and modern means for its implementation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(62), pp. 75-79. (In Russian).

16. Poluektov E.V., Tsvylev E.M., 1999. *Pochvenno-zemel'nye resursy Rostovskoy oblasti: uchebnoe posobie* [Soil and Land Resources of Rostov Region: textbook]. Novocherkassk, NGMA, 201 p. (In Russian).

17. Balakay G.T., Vasiliev S.M., Babichev A.N., 2017. [The concept of a new generation sprinkling machine for precision irrigation technology]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(26), pp. 1-18, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=312> [accessed 01.09.2022]. (In Russian).

18. Dospikhov B.A., 2011. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): uchebnyy* [Methodology of Field Experience (with the Basics of Statistical Processing of Research Results): textbook]. 6th ed., Moscow, Alliance Publ., 350 p. (In Russian).

Информация об авторах

Д. П. Сидаренко – научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;

А. П. Тищенко – начальник отдела, доктор сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

D. P. Sidarenko – Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;

A. P. Tishchenko – Head of the Department, Doctor of Agricultural Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.09.2022; одобрена после рецензирования 02.11.2022; принята к публикации 10.11.2022.

The article was submitted 06.09.2022; approved after reviewing 02.11.2022; accepted for publication 10.11.2022.