



Научная статья

УДК 633.1

doi: 10.55186/25876740_2024_67_2_196

РАЗРАБОТКА ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАЮЩЕГО ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ, ТЕХНОГЕННЫХ УГРОЗ И КЛИМАТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НА ЮГЕ РОССИИ

И.А. Приходько, М.А. Бандурин, А.Э. Сергеев, И.Д. ЕвтееваКубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
Краснодар, Россия

Аннотация. В настоящее время в сельскохозяйственной отрасли Юга России складываются неблагоприятные природно-климатические и техногенные условия для производства сельскохозяйственной продукции, в особенности ресурсозатратных культур, одной из которых является рис. Наблюдаемый в последние годы дефицит пресной воды ставит перед работниками агропромышленного комплекса трудно решаемую задачу по разработке и внедрению ресурсосберегающих технологий в условия крайней изношенности объектов водохозяйственного комплекса Нижней Кубани и участвующих климатических аномалий. Одним из решений сложившейся ситуации является разработка природоподобных технологий. Целью природоподобных технологий является минимизация антропогенного воздействия на земли сельскохозяйственного назначения, снижение ресурсоемкости и повышение экологичности производства сельскохозяйственной продукции. В статье представлены результаты разработки рисовых карт нового поколения по ресурсосберегающей технологии производства риса на основе природоподобных технологий. Внедрение природоподобных технологий на рисовых оросительных системах позволит повысить продуктивность культуры риса на 20-25% относительно традиционных способов возделывания риса, с сокращением оросительной нормы на 45-60%. На основании полученных теоретических исследований, вычислительного эксперимента и изучения в лабораторных и опытно-полевых условиях количественных связей параметров и факторов, влияющих на процесс производства риса на Юге России, предлагается разработка новой методологии повышения продуктивности возделывания риса, расширяющей представление о комплексном использовании рисовых оросительных систем, в основу которой положено использование математических моделей (математическая модель функционирования рисовых агроландшафтов, математическая модель процесса загрязнения дренажно-сбросных вод на рисовых оросительных системах) и ресурсосберегающих технологий возделывания риса.

Ключевые слова: природоподобные технологии, рисовая карта, урожайность риса, ресурсосберегающие технологии, климатические аномалии

Благодарности: исследование выполнено при поддержке РФФИ и Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № 22-17-20001.

Original article

DEVELOPMENT OF NATURE-LIKE TECHNOLOGIES IN CONDITIONS OF INCREASING SCARCITY OF WATER RESOURCES, MAN-MADE THREATS AND CLIMATIC ANOMALIES IN THE SOUTH OF RUSSIA

I.A. Prikhodko, M.A. Bandurin, A.E. Sergeev, I.D. Evteeva

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Abstract. Currently, in the agricultural sector of the South of Russia, unfavorable natural, climatic and technogenic conditions are developing for the production of agricultural products, especially resource-intensive crops, one of which is rice. The shortage of fresh water observed in recent years poses a difficult task for the workers of the agro-industrial complex to develop and implement resource-saving technologies in the conditions of extreme deterioration of the facilities of the water management complex of the Lower Kuban and more frequent climatic anomalies. One of the solutions to this situation is the development of nature-like technologies. The goal of nature-like technologies is to minimize the anthropogenic impact on agricultural land, reduce resource intensity and increase the environmental friendliness of agricultural production. The article presents the results of the development of rice maps of a new generation on resource-saving rice production technology based on nature-like technologies. The introduction of nature-like technologies in rice irrigation systems will increase the productivity of rice crops by 20-25% relative to traditional methods of rice cultivation, with a reduction in irrigation rates by 45-60%. Based on the theoretical studies obtained, a computational experiment and a study in laboratory and experimental field conditions of quantitative relationships between parameters and factors affecting the rice production process in the South of Russia, it is proposed to develop a new methodology for increasing the productivity of rice cultivation, expanding the understanding of the integrated use of rice irrigation systems, based on which requires the use of mathematical models (a mathematical model of the functioning of rice agricultural landscapes, a mathematical model of the process of pollution of drainage and waste water in rice irrigation systems) and resource-saving technologies for rice cultivation.

Keywords: nature-like technologies, rice map, rice productivity, resource-saving technologies, climate anomalies

Acknowledgments: the research was carried out with the financial support of the Russian Foundation and the Kuban Science Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 22-17-20001.

Введение. Большинство рисовых оросительных систем в Краснодарском крае исчерпало свой былой потенциал и устарело, частично или полностью они нуждаются в реконструкции [1-3], что и является сдерживающим фактором орошаемых систем на Кубани на сегодняшний день. Например, КПД рисовых оросительных систем в хозяйствах левого берега Кубани снизился до 0,48-0,72, для Крымского

и Абинского районов этот показатель составил 0,66 и 0,62 соответственно [4]. Показатель КПД рисовой оросительной системы Краснодарского края составил 0,76, что значительно ниже нормы [5]. На рисовых оросительных системах происходит нарушение экологической ситуации, снижение плодородия почв, загрязнение дренажно-сбросными водами водных источников, которое приходится возмещать огромными

дополнительными материальными и трудовыми затратами [6-8]. В Краснодарских рисоводческих хозяйствах в основном применяют технологию выращивания риса при затоплении [9].

В результате использования этой технологии затраты поливной воды составляют около 20-30 тыс. м³/га оросительной воды [10], а при неправильном водопользовании они могут достигать 30-40 тыс. м³/га [11]. При таком



орошении расход поливной воды на возделывание риса значительно превосходит биологическую потребность растений, которая составляет 4-5 тыс. м³/га [12], при этом основная часть ее теряется на фильтрацию, сброс и боковой отток [13]. Фильтрационные потери являются основной расходной статьёй из непродуктивных потерь на рисовых полях [14]. Кроме того, орошение риса затоплением сопровождается и другими нежелательными последствиями [15]: 1) усиление выноса питательных веществ из почвы; 2) усиление минерализации органического вещества почвы; 3) усиление водной и ветровой эрозии почв; 4) изменение условий почвообразования от автоморфных к гидроморфным или полугидроморфным; 5) загрязнение поверхностных водоемов и рек химическими и биологическими веществами, поступающими в них с дренажными водами и поверхностным стоком из рисовых чеков; 6) изменение гидрогеологической и гидрологической обстановки на сопредельных с рисовой оросительной системой территориях. Поэтому приходится отмечать, что сложившаяся система земледелия риса в Краснодарском крае, как гарант продовольственной безопасности России, не отвечает современным требованиям инновационного развития научно-технического прогресса, в том числе использованию ресурсосберегающих технологий возделывания риса в условиях возрастающего дефицита водных ресурсов, техногенных угроз и климатических аномалий на Юге России.

Строительство водохозяйственного комплекса в Краснодарском крае и Республике Адыгея было начато с 1930-х годов, во главе которого строится Краснодарское водохранилище. Водохозяйственный комплекс Нижней Кубани включает 3 основных системы: Азовскую оросительную систему, площадью 7,1 тыс. га, строительство которой завершилось в 1979 г.; Темрюкскую правобережную оросительную систему, площадью 6,3 тыс. га, строительство которой завершилось в 1970 г.; Темрюкскую левобережную оросительную систему, площадью 6,2 тыс. га, строительство которой завершилось в 1969 г. Большинство водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) в водохозяйственном комплексе Нижней Кубани эксплуатируется без ремонта, реконструкции и перевооружения более 50 лет, многие гидротехнические сооружения различных водохозяйственных объектов давно требуют капитального ремонта, или находятся в критическом состоянии. За более чем 50-летний период эксплуатации и использования водных ресурсов для целей гидроэнергетики, водоснабжения, орошения, промышленности, рыбного хозяйства, жилищно-коммунального и сельского хозяйства в водохозяйственном комплексе Нижней Кубани образовался ряд проблем, связанных с износом объектов водохозяйственного комплекса, о чем ярко свидетельствует техногенная катастрофа в апреле 2022 г. на Федоровском гидроузле, которая привела к длительной остановке производственного и сельскохозяйственного процессов, снижению плановых посевных площадей риса и создала угрозу стабильности продовольственной безопасности как региона, так и страны в целом. В связи с аварией на Федоровском гидроузле посевные площади риса в Краснодарском крае были сокращены на 25% (с 119 тыс. га до 90 тыс. га) и валовой сбор составил 582,5 тыс. т.

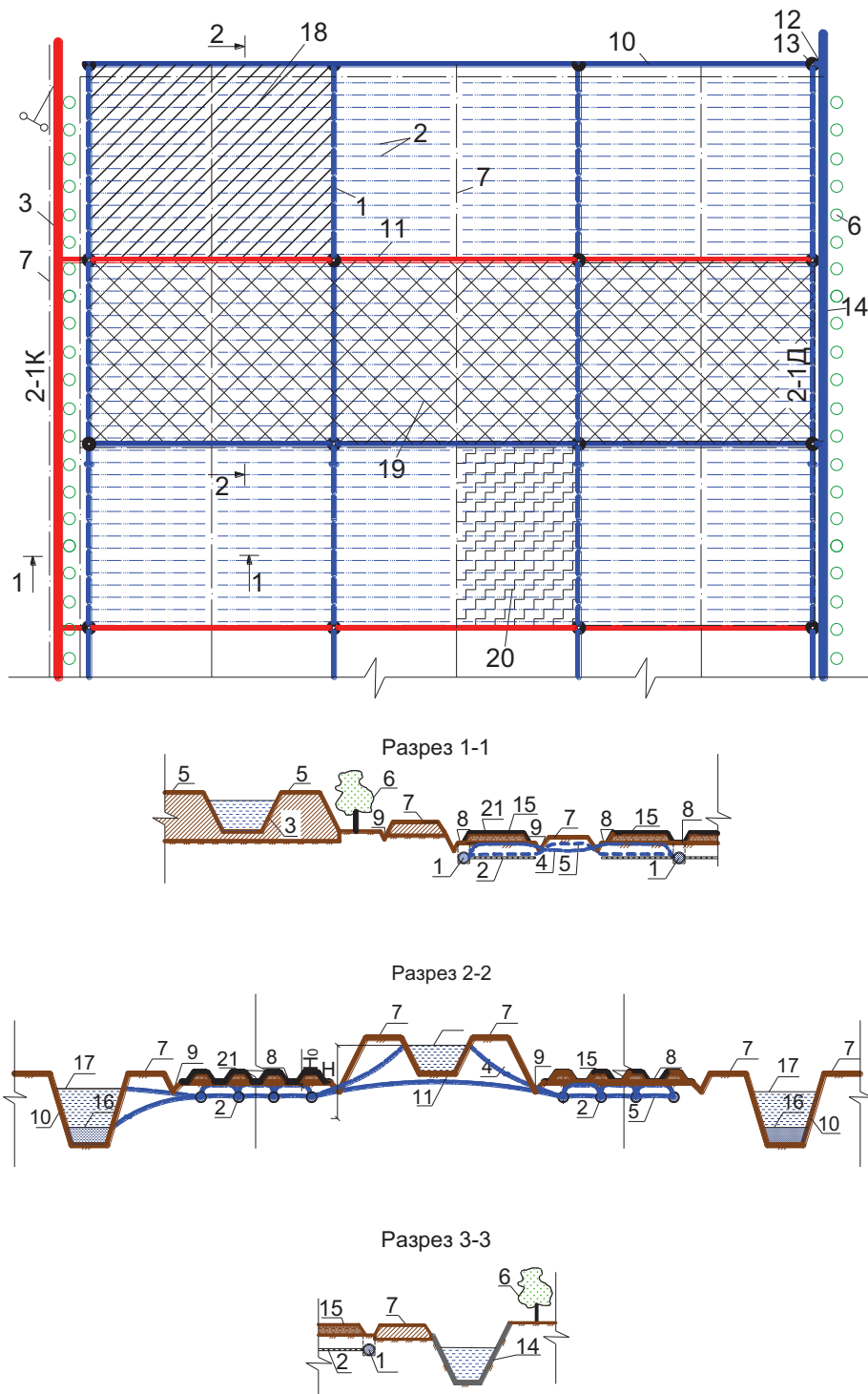


Рисунок. Экологически устойчивая рисовая осушительно-увлажнительная система:

1 — закрытый картный ороситель-сброс; 2 — осушительно-увлажнительные дрены; 3 — севооборотный распределитель; 4 — положение уровня депрессионной кривой в вегетационный период; 5 — положение уровня депрессионной кривой в межвегетационный период; 6 — лесополоса; 7 — полевая дорога; 8 — межрядовые промежутки, покрытые фильтрующим геотекстилем; 9 — водоотводная канавка вдоль дорог; 10 — участковый сброс; 11 — распределитель последнего порядка; 12 — устье коллектора; 13 — распределительный колодец; 14 — групповой коллектор; 15 — гряда; 16 — уровень воды в межвегетационный период; 17 — уровень воды в вегетационный период; 18 — поливная карта; 19 — поле севооборота; 20 — рисовый чек; 21 — пластиковая и/или биоразлагаемая мульчирующая пленка.

Figure. Environmentally sustainable rice drainage and humidification system:

1 — closed kart irrigation-discharge; 2 — drainage-humidifying drains; 3 — crop rotation distributor; 4 — position of the level of the depression curve during the growing season; 5 — position of the depression curve level during the non-vegetation period; 6 — forest belt; 7 — field road; 8 — inter-ridge spaces covered with filtering geotextile; 9 — drainage groove along the roads; 10 — district fault; 11 — distributor of the last order; 12 — the mouth of the collector; 13 — distribution well; 14 — group collector; 15 — ridge; 16 — water level during the non-vegetation period; 17 — water level during the growing season; 18 — irrigation map; 19 — crop rotation field; 20 — rice check; 21 — plastic and/or biodegradable mulching film.



В 2023 г. планируют засеять под рис в Краснодарском крае 92 тыс. га (в 2021 г. — 90 тыс. га), то есть для этого потребно $W = 3 \cdot 10^3 \cdot 600 \cdot 10^3 = 1,8 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ воды ($W=1,8$ млрд $\text{м}^3 = 1,80 \text{ км}^3$ воды, при ожидаемом валовом сборе 600 тыс. т). При этом объем воды Краснодарского водохранилища при установленном НПУ=32,75 м БС $W=1,93 \text{ км}^3$. Не следует забывать, что надо обеспечивать руслоформирующий расход р. Кубань, а также есть и другие водопользователи в Краснодарском крае.

Следовательно, при существующих, традиционно используемых, технологиях возделывания риса, дефиците пресной воды и высокой изношенности объектов водохозяйственного комплекса Нижней Кубани существует реальная угроза продовольственной безопасности России.

Поэтому в настоящее время в агропромышленном комплексе Юга России сложилась критическая ситуация, требующая разработки новой ресурсосберегающей методологии возделывания риса с учетом сложившихся природно-климатических и техногенных условий.

Материалы и методы. Для реализации природоподобных технологий в первый год на рисовой оросительной системе после уборки риса и сопутствующих культур рисового севооборота выполняется реконструкция карты рисовой оросительной системы Краснодарского типа в границах трех севооборотных полей, которая включает: строительство по верхней границе севооборотного поля и далее перпендикулярно друг другу через одно севооборотное поле участков сбросов; строительство по нижней границе севооборотного поля и далее перпендикулярно друг другу через одно севооборотное поле распределителей последнего порядка (рис.).

Затем осуществляется строительство вдоль длинной стороны рисового чека четырех закрытых картовых оросителей-сбросов длиной 900 м из полиэтиленовых труб марки ПЭ 100 (PN 6,3), диаметром 560 мм, к которому перпендикулярно под уклоном 0,0003 протяженностью 197 м, на расстоянии 0,7 м друг от друга на глубине 0,3 м укладываются и подсоединяются к нему осушительно-увлажнительные дрены диаметром 50 мм, вылив которых составляет 10 л/ч на 1 п. м.

После этого выполняется устройство распределительных колодцев на пересечениях закрытого картового оросителя-сброса с распределителем последнего порядка, которые выполняют функцию водовыпуска из оросителя в чек и закрытого картового оросителя-сброса с участковым сбросом, которые выполняют функцию водовыпуска из чека в сброс.

Далее формируются гряды путем выполнения технологических дорожек шириной по дну 0,4 м в виде трапециевидальной выемки глубиной 0,25 м, с заложением откосов от 1:1 до 1:0,85, которые покрываются фильтрующим геотекстилем, причем оси симметрии гряд и осушительно-увлажнительных дрен должны совпадать.

После чего выполняется укрытие гряд полиэтиленовой перфорированной мульчирующей пленкой или полиэтиленовой биоразлагаемой мульчирующей пленкой, с закреплением (придавливанием) краев пленки фильтрующим геотекстилем.

На следующий и в последующие годы на осушительно-увлажнительной системе в межвегетационный период распределительные колодцы переключаются на режим осушения, при котором влажность корнеобитаемого слоя почвы в течение всего периода поддерживается не выше 65% от наименьшей влагоемкости, что осуществляется путем сбора и удаления через осушительно-увлажнительные дрены избыточной поверхностной и грунтовой воды в закрытый картовый ороситель-сброс, который располагается перпендикулярно с уклоном 0,003 к участковому сбросу и далее через групповой коллектор в водоприемник. В вегетационный период распределительные колодцы переключают на режим увлажнения корнеобитаемого слоя почвы и поддерживают влажность в нем в интервале от 65 до 100% от наименьшей влагоемкости путем подачи воды из севооборотного распределителя в распределитель последнего порядка, далее в закрытый картовый ороситель-сброс и затем в осушительно-увлажнительные дрены.

Для поддержания оптимальной влажности в корнеобитаемом слое почвы в 2020-2022 гг. были заложены в ООО КХ «Пугач С.Г.» Абинского района Краснодарского края и изучены следующие варианты соотношения диаметра и расстояния между осушительно-увлажнительными дренами (табл. 1): 25 мм — 0,5 м; 25 мм — 0,7 м; 25 мм — 1,0 м; 25 мм — 1,5 м; 50 мм — 0,5 м; 50 мм — 0,7 м; 50 мм — 1,0 м; 50 мм — 1,5 м; 75 мм — 0,5 м; 75 мм — 0,7 м; 75 мм — 1,0 м; 75 мм — 1,5 м.

Из данных таблицы 1 видно, что первый год исследований показал наилучшие результаты как в вегетационный период, так и в межвегетационный период, при этом наилучший процент однородности увлажнения достигнут при диаметре увлажнительно-осушительного дренажа 25 мм и расстоянии между дренами — 0,5 м, а осушения — 50 мм и 0,7 м соответственно. Однако в последующие годы, в связи с быстрым заиливанием увлажнительно-осушительного дренажа диаметром 25 мм, он показал свою

Таблица 1. Оценка неравномерности в % увлажнения (осушения) пахотного горизонта почвы при работе увлажнительно-осушительного дренажа на рисовой оросительной системе
Table 1. Estimation of non-uniformity in % of moistening (drainage) of the arable soil horizon during the operation of humidifying-draining drainage on the rice irrigation system

Годы исследования	Расстояние между дренами, м	Диаметр дрены, мм	Средний процент неравномерности увлажнения (осушения) пахотного горизонта почвы от заданного параметра, % от НВ	
			вегетационный период	межвегетационный период
2020	0,5	25	6	17
		50	7	7
		75	8	6
	0,7	25	6	18
		50	8	7
		75	12	6
	1,0	25	12	8
		50	18	7
		75	23	14
	1,5	25	35	28
		50	21	23
		75	24	19
2021	0,5	25	16	21
		50	12	10
		75	8	9
	0,7	25	14	24
		50	8	6
		75	12	7
	1,0	25	20	8
		50	23	9
		75	26	9
	1,5	25	40	36
		50	31	29
		75	34	24
2022	0,5	25	23	29
		50	20	15
		75	14	7
	0,7	25	17	25
		50	11	8
		75	15	7
	1,0	25	26	19
		50	22	24
		75	30	20
	1,5	25	52	43
		50	45	38
		75	42	37



Таблица 2. Изменение мелиоративного состояния почв рисовых чеков на 3-й год исследований при диаметре дренажа 50 мм
Table 2. Changes in the ameliorative state of soils in rice paddies for the 3rd year of research with a drainage diameter of 50 mm

Глубина отбора, см	Расстояние между дренами, м	Содержание агрегатов 0,25-10 мм, % от массы воздушно-сухой почвы	Сумма водопрочных агрегатов >0,25 мм, %	Гидролизруемый азот, мг/100 г	Фосфор подвижный, мг/100 г	Калий подвижный, мг/100 г
Новая РОС	0,5	47,6	30,1	3,83	2,22	7,5
РОС Краснодарского типа		43,2	28,3	3,15	1,97	7,2
Новая РОС	0,7	49,4	32,5	4,12	2,52	7,8
РОС Краснодарского типа		43,4	29,4	3,38	2,03	7,4
Новая РОС	1,0	48,3	31,6	3,93	2,30	7,7
РОС Краснодарского типа		43,2	29,5	3,25	2,19	7,5
Новая РОС	1,5	42,7	29,2	3,54	2,05	7,3
РОС Краснодарского типа		39,8	27,2	3,03	1,85	7,0

неэффективность, которая выразилась в резком снижении однородности увлажнения и осушения. В результате полевых испытаний было установлено, что наиболее оптимальным вариантом соотношения диаметра и расстояния между осушительно-увлажнительными дренами является 50 мм и 0,7 м соответственно. Увеличение расстояния между дренами диаметром 25 мм до 1,0 и 1,5 м в последующие годы положительного эффекта не дали, и заданные показатели однородности увлажнения и осушения не были достигнуты. Также и другие варианты соотношения диаметра и расстояния между осушительно-увлажнительными дренами были менее эффективны варианта с диаметром дрены 50 мм и расстояниями между ними — 0,7 м, при котором были получены наилучшие значения однородности увлажнения и осушения корнеобитаемого слоя почвы (табл. 1), при этом гранулометрический состав почвы также улучшился, а процесс вымыва микроэлементов из корнеобитаемого слоя происходил медленнее чем при традиционном способе производства риса (табл. 2). К тому же было рассчитано, что увеличение диаметра осушительно-увлажнительных дрен в целях снижения стоимости и трудоемкости реализации проекта реконструкции рисовой карты Краснодарского типа приводит к повышению стоимости на 15% и трудоемкости на 23%.

Проведенные на опытных участках исследования показали, что использование полиэтиленовой перфорированной мульчирующей пленки позволит на 5-7 дней раньше осуществить сроки посадки рассады риса за счет более быстрого прогрева почвы под пленкой, повысить до 98-100% выживаемость растений риса и его биометрические показатели, в том числе за счет снижения сорной растительности и роста концентрации CO₂ на 10% под мульчирующей пленкой. Использование мульчирующей пленки позволит отказаться от применения гербицидов при выращивании риса, что, в свою очередь, снизит себестоимость и повысит экологичность производства риса. Использование биоразлагаемой полиэтиленовой мульчирующей пленки обладает всеми теми же преимуществами, что и полиэтиленовая мульчирующая пленка. К положительным особенностям ее использования можно отнести отсутствие необходимости ее уборки с поверхности гряд, в связи с тем, что при обработке гряд она захватывается в почву, что благотворно влияет на мелиоративное состояние почв и снижает трудоемкость процесса производства риса, при этом особое внимание требуется к строгому соблюдению плоскости

поверхности гряд во избежание образования «блюдец» на грядах, которые разрушительно воздействуют на биоразлагаемую полиэтиленовую пленку.

Выводы. В результате применения осушительно-увлажнительной рисовой оросительной системы себестоимость производимого зерна риса уменьшилась на 10%. Оросительная норма риса снизилась более чем в 3 раза и составила в среднем 6,5-7,0 тыс. м³/га. Использование осушительно-увлажнительной рисовой оросительной системы позволит увеличить коэффициент земельного использования на 5%, а также повысить экологическую безопасность на рисовой оросительной системе за счет улучшения мелиоративного состояния почв рисовых полей (табл. 2), которое выразилось в повышении гумуса в корнеобитаемом слое почвы и уменьшении доз минеральных удобрений в 2 раза за счет применения системы фертигации, при этом лучшие показатели достигнуты с междерным расстоянием 0,7 м. Потребление электроэнергии на сбросных насосных станциях за вегетационный период риса снизилось на 35-40%.

Список источников

1. Prikhodko, I.A., Vladimirov, S.A., Alexandrov, D.A. (2021). Improving the elements of organic farming in rice cultivation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production". Zernograd, Rostov region, August 27-28, 2020. Zernograd, Rostov region, p. 012062. doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012062
2. Владимиров С.А. Общая теория и практика экологически безопасного устойчивого рисоводства: монография. Майкоп: Изд-во ГОУ ВПО «МГТУ», 2012. 349 с.
3. Амелин В.П., Владимиров С.А. Эколого-ландшафтные основы устойчивого рисоводства: монография. Краснодар: КубГАУ, 2008. 447 с.
4. Владимиров С.А., Приходько И.А. Опыт планирования и реализации инновационного проекта эффективного рисоводства // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 6. С. 75-79. doi: 10.24411/2587-6740-2019-16111
5. Патент № 2364681 С1 Российская Федерация, МПК E02B 13/00. Устройство для диагностики и прогнозирования технического состояния лотковых каналов оросительных систем: № 2007142799/03: заявл. 19.11.2007: опубл. 20.08.2009 / М.А. Бандурин, В.А. Волосухин, А.В. Шестаков; заявитель ФГОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия», НГМА.
6. Приходько И.А., Парфенов А.В., Александров Д.А. Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования в рисоводстве Кубани // Научно-обра-

зовательная среда как основа развития интеллектуального потенциала сельского хозяйства регионов России: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ, Чебоксары, 22 октября 2021 г. Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2021. С. 150-152.

7. Приходько И.А., Бандурин М.А., Степанов В.И. Задача выбора рациональных технологических операций при возделывании риса // International Agricultural Journal. 2021. Т. 64. № 5. doi: 10.24411/2588-0209-2021-10359

8. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Mikheev, A.V. et al. (2018). Finite-element simulation of possible natural disasters on landfill dams with changes in climate and seismic conditions taken into account. Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 032011. doi: 10.1088/1742-6596/1015/3/032011

9. Приходько И.А., Анненко А.Д. Инновационные технологии возделывания риса в условиях Краснодарского края // Экология речных ландшафтов: сборник статей по материалам V Международной научной экологической конференции, Краснодар, 30 декабря 2020 г. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. С. 139-145.

10. Бандурин М.А., Приходько И.А., Бандурин И.П. Современные методы управления поливами на оросительных системах Юга России // Научная жизнь. 2021. Т. 16. № 8 (120). С. 986-997. doi: 10.35679/1991-9476-2021-16-8-986-997

11. Демьянов С.И., Владимиров С.А. Основные направления перехода рисоводства Кубани на экологически безопасное устойчивое производство // Инновационные решения социальных, экономических и технологических проблем современного общества: сборник научных статей по итогам круглого стола со всероссийским и международным участием, Москва, 15-16 августа 2021 г. Т. 4. М.: ООО «Конверт», 2021. С. 23-25.

12. Prikhodko, I., Vladimirov, S., Alexandrov, D. (2021). Application of ecologically balanced technologies of rice cultivation in the Krasnodar Territory. E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, Interagromash 2021, Rostov-on-Don, February 24-26, 2021. Vol. 273. Rostov-on-Don: EDP Sciences. doi: 10.1051/e3sconf/202127301017

13. Владимиров С.А., Коркота Д.К., Хилько А.С., Александров Д.А. Концепция устойчивого экологического рисоводства как основа развития мелиорации // Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна: материалы Национальной научной конференции, Волгоград, 29-30 октября 2020 г. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2020. С. 247-251.





14. Солодунов А.А., Бандурин М.А., Волосухин В.А. Математическое моделирование влияния дефектов сооружений рисовых систем на их эксплуатационную надежность // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 12-2. С. 304-311. doi: 10.17513/snt.37876

15. Приходько И.А., Бандурин М.А., Якуба С.Н. Пути решения совершенствования рационального природопользования в границах мелиоративно-водохозяйственного комплекса Нижней Кубани // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности, Москва, 14-15 апреля 2022 г. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2022. С. 100-107.

16. Бандурин М.А., Волосухин В.А., Гумбаров А.Д., Приходько И.А. Мониторинг безопасности водопроводящих сооружений оросительных рисовых систем юга России при возрастающих климатических изменениях. М.: ООО «Русайнс», 2022. 194 с.

References

1. Prikhodko, I.A., Vladimirov, S.A., Alexandrov, D.A. (2021). Improving the elements of organic farming in rice cultivation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production". Zernograd, Rostov region, August 27-28, 2020. Zernograd, Rostov region, p. 012062. doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012062

2. Vladimirov, S.A. (2012). *Obshchaya teoriya i praktika ehkologicheskii bezopasnogo ustoichivogo risovodstva: monografiya* [General theory and practice of environmentally safe sustainable rice farming: monograph]. Maikop, GOU VPO "MGU", 349 p.

3. Amelin, V.P., Vladimirov, S.A. (2008). *Ehkologo-landshaftnye osnovy ustoichivogo risovodstva: monografiya* [Ecological and landscape foundations of sustainable rice farming: monograph]. Krasnodar, KubSAU, 447 p.

4. Vladimirov, S.A., Prikhod'ko, I.A. (2019). Opyt planirovaniya i realizatsii innovatsionnogo proekta ehffektivnogo risovodstva [Experience in planning and implementing an innovative project of effective management]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 6, pp. 75-79. doi: 10.24411/2587-6740-2019-16111

5. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Shestakov, A.V. Ustroistvo dlya diagnostiki i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya lotkovykh kanalov orositel'nykh sistem [Device for diagnostics and forecasting of technical condition of tray channels of irrigation systems]. Applicant and patentee NGMA. No. 2007142799/03; app. 19/11/2007; publ. 20/08/2009.

6. Prikhod'ko, I.A., Parfenov, A.V., Aleksandrov, D.A. (2021). Ehkologo-meliorativnye aspekty ratsional'nogo

pririodopol'zovaniya v risovodstve Kubani [Ecological and meliorative aspects of rational nature management in the Kuban rice growing]. *Nauchno-obrazovatel'naya sreda kak osnova razvitiya intellektual'nogo potentsiala sel'skogo khozyaistva regionov Rossii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu FGBOU VO Chuvashskii GAU, Cheboksary, 22 oktyabrya 2021 g.* [Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Chuvash State Agrarian University "Scientific and educational environment as the basis for the development of the intellectual potential of agriculture in the regions of Russia", Cheboksary, October, 22, 2021]. Cheboksary, Chuvash SAU, pp. 150-152.

7. Prikhod'ko, I.A., Bandurin, M.A., Stepanov, V.I. (2021). Zadacha vybora ratsional'nykh tekhnologicheskikh operatsii pri vozdeleyanii risa [The task of choosing rational technological operations in rice cultivation]. *International Agricultural Journal*, vol. 64, no. 5. doi: 10.24411/2588-0209-2021-10359

8. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Mikheev, A.V. et al. (2018). Finite-element simulation of possible natural disasters on landfall dams with changes in climate and seismic conditions taken into account. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 — Enterprise Information Systems*. Tomsk, Institute of Physics Publishing, p. 032011. doi: 10.1088/1742-6596/1015/3/032011

9. Prikhod'ko, I.A., Annenko, A.D. (2021). Innovatsionnye tekhnologii vozdeleyanii risa v usloviyakh Krasnodarskogo kraya [Innovative technologies of rice cultivation in the conditions of the Krasnodar territory]. *Ehkologiya rechnykh landshaftov: sbornik statei po materialam V Mezhdunarodnoi nauchnoi ehkologicheskoi konferentsii, Krasnodar, 30 dekabrya 2020 g.* [Collection of articles based on the materials of the V International Scientific Ecological Conference "Ecology of river landscapes", Krasnodar, December, 30, 2020]. Krasnodar, Kuban SAU, pp. 139-145.

10. Bandurin, M.A., Prikhod'ko, I.A., Bandurina, I.P. (2021). Sovremennye metody upravleniya polivami na orositel'nykh sistemakh Yuga Rossii [Modern methods of irrigation management in irrigation systems of the South of Russia]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific life], vol. 16, no. 8 (120), pp. 986-987. doi: 10.35679/1991-9476-2021-16-8-986-997

11. Dem'yanov, S.I., Vladimirov, S.A. (2021). Osnovnye napravleniya perekhoda risovodstva Kubani na ehkologicheski bezopasnoe ustoichivoe proizvodstvo [The main directions of the transition of Kuban rice farming to environmentally safe sustainable production: Innovative solutions to social, economic and technological problems of modern society]. *Innovatsionnye resheniya sotsial'nykh, ehkonomicheskikh i tekhnologicheskikh problem sovremennogo ob-*

shchestva: sbornik nauchnykh statei po itogam kruglogo stola so vsereossiiskim i mezhdunarodnym uchastiem, Moskva, 15-16 avgusta 2021 g. [Innovative solutions to social, economic and technological problems of modern society: a collection of scientific articles based on the results of the round table with All-Russian and international participation]. Moscow, vol. 4, pp. 23-25.

12. Prikhodko, I., Vladimirov, S., Alexandrov, D. (2021). Application of ecologically balanced technologies of rice cultivation in the Krasnodar Territory. E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, Interagromash 2021, Rostov-on-Don, February 24-26, 2021. Vol. 273. Rostov-on-Don: EDP Sciences. doi: 10.1051/e3sconf/202127301017

13. Vladimirov, S.A., Korkota, D.K., Khil'ko, A.S., Aleksandrov, D.A. (2020). Kontseptsiya ustoichivogo ehkologicheskogo risovodstva kak osnova razvitiya melioratsii [The concept of sustainable ecological rice farming as the basis for the development of land reclamation]. *Lesnaya melioratsiya i ehkologo-gidrologicheskie problemy Donskogo vodosbornogo basseina: materialy Natsional'noi nauchnoi konferentsii, Volgograd, 29-30 oktyabrya 2020 g.* [Materials of the National scientific conference "Forest Reclamation and ecological and hydrological problems of the Don catchment basin", Volgograd, October, 29-30, 2020]. Volgograd, FSC of Agroecology RAS, pp.247-251.

14. Solodunov, A.A., Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A. (2019). Matematicheskoe modelirovanie vliyaniya defektov sooruzhenii risovykh sistem na ikh ehkspluatatsionnyu nadezhnost' [Mathematical modeling of the effect of defects in rice systems structures on their operational reliability]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high-tech technologies], no. 12-2, pp. 304-311, doi: 10.17513/snt.37876

15. Prikhod'ko, I.A., Bandurin, M.A., Yakuba, S.N. (2022). Puti resheniya sovershenstvovaniya ratsional'nogo prirodopol'zovaniya v granitsakh meliorativno-vodokhozyaistvennogo kompleksa Nizhnei Kubani [Ways of solving the improvement of rational nature management within the boundaries of the reclamation and water management complex of the Lower Kuban]. *Rol' melioratsii v obespechenii prodovol'stvennoi bezopasnosti, Moskva, 14-15 aprelya 2022 g.* [The role of land reclamation in ensuring food security, Moscow, April, 14-15, 2022]. Moscow, VNIIGiM, pp. 100-107.

16. Bandurin, M.A., Volosukhin, V.A., Gumbarov, A.D., Prikhod'ko, I.A. (2022). *Monitoring bezopasnosti vodoprovodyashchikh sooruzhenii orositel'nykh risovykh sistem yuga Rossii pri vozrastayushchikh klimaticheskikh izmeneniyakh* [Monitoring of the safety of water supply facilities of irrigation rice systems in the South of Russia with increasing climatic changes]. Moscow, Rusains LLC, 194 p.

Информация об авторах:

Приходько Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru

Бандурин Михаил Александрович, доктор технических наук, доцент, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, декан факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, chepura@mail.ru

Сергеев Александр Эдуардович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий и систем, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7178-8788>, galua1979@yandex.ru

Евтеева Ирина Дмитриевна, бакалавр факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8168-0698>, missevteeva@yandex.ru

Information about the authors:

Igor A. Prikhodko, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of construction and operation of water facilities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, prihodkoigor2012@yandex.ru

Mikhail A. Bandurin, doctor of technical sciences, associate professor, Honored inventor of the Russian Federation, dean of the faculty of hydro-reclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, chepura@mail.ru

Alexander E. Sergeev, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, associate professor of the department of computer technologies and systems, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7178-8788>, galua1979@yandex.ru

Irina D. Evteeva, bachelor of the faculty of hydro-reclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8168-0698>, missevteeva@yandex.ru