



Научная статья

УДК 631.6

doi: 10.55186/25876740_2025_68_5_653

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ УГРОЗ И ВОЗРАСТАЮЩЕГО ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ЮГЕ РОССИИ

И.А. Приходько, Е.Ф. Чебанова, Г.А. Молчанова

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
Краснодар, Россия

Аннотация. Рисовые оросительные системы являются сложными объектами управления, так как имеют большое количество трудно контролируемых критериев и показателей, таких как уровень и минерализация грунтовых вод, вторичное засоление, мелиоративный и гранулометрический состав почвы и т.п. Управление такими показателями и критериями усложняется периодическим наличием слоя воды на рисовом чеке, продолжительность которого зависит от типа затопления рисового чека. В свою очередь, тип затопления зависит также от многих факторов и критериев, таких как почвенно-климатические условия региона, обеспеченность водными ресурсами, степень засоленности почвы, технология возделывания и сортовые особенности риса. Однако все эти критерии и показатели могут в той или иной степени контролироваться коллекторно-дренажной сетью рисовой оросительной системы. Следовательно, при правильном, рациональном использовании дренажа можно существенно снизить затраты на материальные и трудовые ресурсы при возделывании риса и уменьшить риски снижения или гибели урожая. Поэтому целью проведенных нами исследований является разработка рекомендаций рисосеющим хозяйствам Юга России по использованию коллекторно-дренажной сети для сохранения мелиоративного состояния почв и получения устойчивых урожаев риса путем изучения связи урожайности риса с засолением пахотного горизонта и анализа различных режимов работы дренажно-сбросной сети. Исследования проводились в КФХ «Головин Григорий Николаевич» Калининского района Краснодарского края в 2021-2024 гг. В статье даны практические рекомендации по оптимизации главных почвенно-мелиоративных факторов путем управления вертикальной фильтрацией, солевым режимом почв и уровнем грунтовых вод. Авторами проанализирована зависимость коэффициента фильтрации верхнего метра почв от содержания физической глины и установлено, что оптимальным является K_f от 0,217 до 0,331 м/сут, имеющий место на тяжелосуглинистых разновидностях почв. Установлено, что в течение нескольких суток после залива системы скорость вертикальной фильтрации уменьшается в результате происходящих в почве процессов, оптимальная средняя за вегетацию скорость вертикальной фильтрации ($V_{\text{верт}}$) на тяжелосуглинистых разновидностях почв составляет от 0,017 до 0,037 м/сут. Выполненные исследования вносят важный вклад в формирование новых элементов в методологии возделывания риса в новых сложившихся на Юге России условиях возрастающего дефицита водных ресурсов и техногенных угроз.

Ключевые слова: рисовая оросительная система, вертикальный дренаж, рисовые почвы, коэффициент фильтрации, скорость вертикальной фильтрации, урожайность риса

Благодарности: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 24-26-20003.

Original article

INCREASING THE EFFICIENCY OF RICE IRRIGATION SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF MAN-MADE THREATS AND INCREASING WATER SCARCITY IN THE SOUTH OF RUSSIA

I.A. Prikhodko, E.F. Chebanova, G.A. Molchanova

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

Abstract. Rice irrigation systems are complex management objects, as they have a large number of difficult-to-control criteria and indicators, such as the level and mineralization of groundwater, secondary salinization, melioration and granulometric composition of the soil, etc. Management of such indicators and criteria is complicated by the periodic presence of a water layer on the rice paddy, the duration of which depends on the type of flooding of the rice paddy. In turn, the type of flooding also depends on many factors and criteria, such as soil and climatic conditions of the region, water availability, degree of soil salinity, cultivation technology and varietal characteristics of rice. However, all these criteria and indicators can be controlled to one degree or another by the collector and drainage network of the rice irrigation system. Therefore, with the correct, rational use of drainage, it is possible to significantly reduce the costs of material and labor resources in rice cultivation and reduce the risk of crop decline or loss. Therefore, the goal of our research is to develop recommendations for rice-growing farms in the South of Russia on the use of a collector and drainage network to maintain the ameliorative state of soils and obtain sustainable rice yields by studying the relationship between rice yield and salinization of the arable horizon and analyzing various operating modes of the drainage and discharge network. The studies were carried out in the peasant farm «Golovin Grigory Nikolaevich» of the Kalinsky district of the Krasnodar region in 2021-2024. The article provides practical recommendations for optimizing the main soil-ameliorative factors by managing vertical filtration, soil salt regime and groundwater level. The authors analyzed the dependence of the filtration coefficient of the upper meter of soil on the content of physical clay and found that the optimal value is K_f from 0.217 to 0.331 m/day, which occurs on heavy loamy soil varieties. It was found that within a few days after flooding the system, the vertical filtration rate decreases as a result of processes occurring in the soil; the optimal average vertical filtration rate ($V_{\text{верт}}$) for vegetation on heavy loamy soil varieties is from 0.017 to 0.037 m/day. The studies carried out make an important contribution to the formation of new elements in the methodology of rice cultivation in the new conditions of increasing water shortage and man-made threats that have developed in the South of Russia.

Keywords: rice irrigation system, vertical drainage, rice soils, filtration coefficient, vertical filtration rate, rice yield

Acknowledgments: the research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation No. 24-26-20003.

Введение. Мелиоративное состояние рисового поля во многом обуславливается параметрами и режимом работы каналов дренажно-сбросной сети. В работах [1, 2, 3] установлена прямая связь урожайности риса с удельной протяженностью (м/га) дренажно-сбросных каналов. В условиях Петровско-Анастасиевской оросительной системы (Краснодарский край)

увеличение удельной протяженности дренажно-сбросной сети на 1 м/га дает прибавку урожая риса 0,164 т/га. Однако механизм влияния дренажно-сбросной сети на урожай риса изучен не в полной мере.

Рисовые оросительные системы (РОС) на Юге России, как правило, размещаются на заболоченных, засоленных, подтопленных, часто

бросовых землях, мало- или слабопригодных для возделывания других сельскохозяйственных культур. Если говорить о рисовых системах Краснодарского края, то это преимущественно низинные земли — низовья реки Кубань, а также территории бывших плавней и лиманов с малопродуктивными для возделывания других культур средне- и тяжелосуглинистыми почвами.

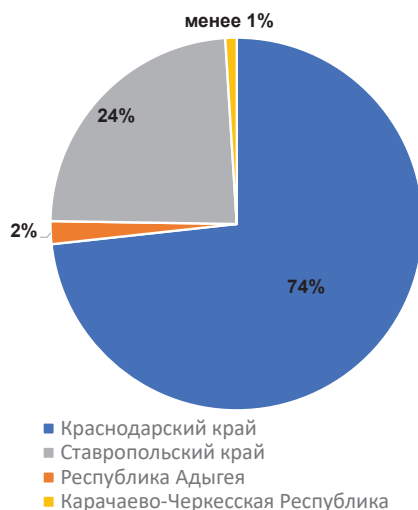


Рисунок 1. Использование водных ресурсов реки Кубань для сельского хозяйства по субъектам РФ в зоне деятельности Кубанского БВУ
Figure 1. Use of water resources of the Kuban River for agriculture in the subjects of the Russian Federation in the area of activity of the Kuban Basin Water Management Authority

Так, из имеющихся 240 тыс. га РОС под посевы риса ежегодно отводится около 110 тыс. га в Краснодарском крае, что связано с дефицитом оросительной воды (рис. 1) и состоянием водохозяйственного комплекса Кубани, в том числе оросительных и дренажно-сбросных каналов РОС.

Основная часть. Рисовая оросительная система Краснодарского края включает сеть открытых картвых оросителей обычной конструкции, оросительные и дренажно-сбросные каналы, в зависимости от почвенно-гидрогеологических условий расположенные через 200-500 м. Участки земли, отводимые под рисовые оросительные системы на Юге России, в основном с незначительным уклоном поверхности земли, порядка 0,001-0,002, как правило, за исключением дельтовых имеют с поверхности мощный слой слабводопроницаемых засоленных почвогрунтов. На рисовых оросительных системах со слабой естественной дренажностью при возделывании риса минерализованные грунтовые воды быстро поднимаются, происходит заболачивание и засоление этих земель, снижение их плодородия, а следовательно, и урожайности риса. На Юге России выявлено более 10% площадей, на которых урожайность риса не превышает 15-20 ц/га. На этих участках в вегетационный период уровень грунтовых вод поддерживается на глубине не выше 1,2 м, во вневегетационный период — не выше 2,0 м. Показатели окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) низкие (200-250 mv). Одним из факторов, обеспечивающих рассоление и рассолонцевание засоленных почв, является хорошая их дренированность. Урожайность риса на хорошо дренированных почвах значительно выше, чем на слабодренированных.

В результате проведенных исследований в КФХ «Головин Григорий Николаевич» Калининского района Краснодарского края в 2021-2024 гг. установлена зависимость урожайности риса от уровня грунтовых вод и величины окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в предпосевной период. Так, в условиях лугово-болотных почв при глубине залегания грунтовых вод в пределах 1 м в слое 0-20 см ОВП составил 240-300 mv, урожайность риса на этих участках — 20-30 ц/га,

а при 1,5 м ОВП составил 300-450 mv, а урожайность — 49-53 ц/га. При этом на солонцеватых почвах террас других хозяйств, расположенных в дельтах рек, урожайность составила, соответственно, 60 и 75 ц/га, а окислительно-восстановительный потенциал — 450-600 mv.

Рисовая оросительная система Краснодарского типа с ее разреженной и мелкой дренажно-сбросной сетью не может обеспечить благоприятное мелиоративное состояние на системе и должное регулирование водно-солевым и воздушным режимами почвогрунтов.

С целью улучшения мелиоративного состояния на РОС и регулирования водно-солевым и воздушным режимами почвогрунтов посредии поливной карты, вдоль ее длинной стороны устраивается закрытый горизонтальный дренаж глубиной заложения 2,2-3,2 м. Это объясняется тем, что, согласно многолетним исследованиям [1, 2, 3], существует прямая связь между урожайностью риса и глубиной грунтовых вод во вневегетационный период для различных почвенно-геологических условий. Причем такая зависимость наблюдается для глубин грунтовых вод в пределах 2,0-2,5 м, дальнейшее снижение уровня грунтовых вод на урожайность риса влияния не оказывает. Наиболее рациональной является поперечная схема устройства дренажа. Закрытый дренаж выполнен полумеханизированным способом из поливинилхлоридных витых труб с обмоткой геотекстилем. Диаметр закрытых дрен в зависимости от длины дрен изменялся от 100 до 200 мм. Для регулирования водно-воздушным и солевым режимами почвогрунтов в устье дрен устанавливается запорно-регулирующая арматура. По трассе закрытых дрен через 150-220 м устраиваются смотровые колодцы, совмещенные с чековыми валиками, которые обеспечивают нормальную эксплуатацию дренажа и проведение профилактических ремонтов на нем.

В рисовой оросительной системе с внутрикартовым дренажем разделены функции дренажа: закрытый внутрикартовый дренаж служит для регулирования уровня грунтовых вод на системе, а открытая сбросная сеть — для отвода поверхностных вод с чеков.

Как показали исследования, внутрикартовый закрытый управляемый горизонтальный дренаж обеспечил надежное регулирование водно-воздушным и солевым режимами почвогрунтов. Мощность зоны аэрации почвогрунта во вневегетационный период при дополнительном внутрикартовом дренаже увеличилась на 0,5-0,8 м. Уровни грунтовых вод снизились на 1,7-2,3 м, что способствовало усилению окислительных и микробиологических процессов и повышению плодородия почвы в урожайности риса на 20-40% в 50-метровой зоне по ширине карты, прилегающей к закрытой внутрикартовой дрени, о чем свидетельствуют данные полосного учета урожайности, проведенного методом сплошного комбайнирования. Годовой экономический эффект от внедрения закрытого внутрикартового дренажа составляет 15400-18100 руб./га. Интенсивность сработки грунтовых вод в период просушки чеков перед уборкой урожая увеличилась в 2,0-2,5 раза. Это позволило начать уборку риса на 2 недели раньше, что, в свою очередь, уменьшило потери зерна при уборке и дало возможность провести зяблевую пахоту в оптимальные агротехнические сроки. Степень засоленности почвогрунтов снизилась за 3 года (2020-2022 гг.) с 0,6 до 0,1% от массы абсолютно сухой почвы. В последующие годы степень засоленности почвогрунтов стабилизировалась.

На засоленных почвогрунтах при содержании токсичных водорастворимых солей больше допустимой нормы закрытая внутрикартовая дрени функционирует в течение года, отводя дренажные воды в коллектор. При степени засоленности почвогрунтов не выше 0,2% от массы абсолютно сухой почвы внутрикартовый закрытый дренаж перекрывается с помощью запорно-регулирующей арматуры на период вегетации риса и работает только во вневегетационный период, что дает возможность сэкономить за вегетационный период 6600-8800 м³/га оросительной воды. При этом не происходит реставрация засоления почвогрунтов. При возделывании сопутствующих культур дренаж работает круглосуточно. За 3-4 недели до начала посева риса внутрикартовая дрени перекрывается запорно-регулирующей арматурой, происходит искусственный подъем уровня грунтовых вод и примерно в 2 раза уменьшается мощность зоны насыщения почвогрунта в период первоначального затопления риса, что позволяет уменьшить пиковые расходы в оросительной сети в этот период на 800-600 м³/га.

Рассмотрим подробнее режимы работы дренажа в вегетационный период риса. Выполненный анализ работ по данной теме [1, 2, 3] позволяет сделать вывод, что у рисового растения имеется 2 периода роста, предъявляющие различные требования к среде произрастания.

От посева до кущения рис с трудом переносит затопление, и, если в среде содержится кислорода меньше 4%, то у прорастающей зерновки развивается только почечка, а рост корешка тормозится. С началом кущения растений риса образуются 120-180 придаточных корней в базальной области. Быстро развивающаяся в них аэренхима позволяет растениям риса не только обходиться без наличия свободного кислорода в затопленной почве, но и активно аэрировать почву.

Практикующийся в настоящее время режим работы дренажно-сбросной сети в непрерывном подпоре сочетает в себе как достоинства, так и недостатки. Первые заключаются в том, что из почв не вымываются элементы минерального питания растений. Второе сводится к тому, что в почве происходит накопление токсичных продуктов анаэробного процесса.

Перевод дренажно-сбросной сети в режим непрерывного оттока снижает процесс интоксикации растений или, во всяком случае, резко ослабляет его. Однако он же приводит к потере элементов минерального питания, вымываемых из почв.

Удовлетворительное решение достигается за счет управляемого режима работы дренажно-сбросной сети: свободного оттока в период от посева до кущения, когда растения риса особенно чувствительны к сероводородной интоксикации, и подпора на протяжении остальной части вегетационного периода.

Материалы и методы. Опыты по изучению трех изложенных вариантов работы дренажно-сбросной сети каналов проводились в КФХ «Головин Григорий Николаевич» Калининского района Краснодарского края в 2021-2024 гг.

Наиболее интенсивно и глубоко, начиная с первых дней затопления рисового поля, восстановительные процессы идут в варианте непрерывного подпора, что приводит к нежелательному накоплению в почве восстановительных токсичных продуктов, особенно в первоначальный период роста риса. Содержание сероводорода в почве при работе дренажа без фильтрации почти в 2 раза превышает его содержание при работе дренажа в непрерывном



оттоке и при управляемом режиме. Следствием этого является массовая гибель всходов растений риса при работе дренажа в режиме непрерывного подпора.

Повышение всхожести и выживаемости в вариантах непрерывного оттока и управляемого (отток-подпор) обеспечивается хорошей аэрацией почвы во время сбросов воды с поверхности чека и меньшей концентрацией токсичных восстановленных продуктов за счет снижения интенсивности восстановительных процессов и выноса некоторой части сероводорода фильтрационным током воды из корнеобитаемого слоя почвы (табл. 1).

Густые всходы являются залогом высокого урожая, но в дальнейшем растения риса необходимо обеспечить питательными веществами. Наиболее выгодно в этом смысле отличается вариант «отток-подпор» (рис. 2). На первом этапе роста были созданы условия для получения густых всходов, а на втором, начиная с фазы кущения, для обеспечения растений риса питательными веществами дренажно-сбросной канал был переведен в режим «подпора», что позволило ускорить восстановительные процессы в почве и тем самым усилить снабжение риса элементами минерального питания. Изложенное хорошо подтверждается продуктивностью растений риса (табл. 2). Наибольшая масса зерна с одного растения наблюдалась в варианте «отток-подпор». Это объясняется прежде всего большим числом выполненных зерен в метелке (на 45,1-69,3%) на варианте «отток-подпор», чем на вариантах с «непрерывным оттоком» и «непрерывным подпором» картового дренажно-сбросного канала.

Таким образом, применение режима работы картового дренажно-сбросного канала по типу «отток-подпор» увеличивает продуктивность растений риса. Это выражается в уменьшении пустозерности на 6,8-15,1% и увеличении массы зерна одного растения на 0,8-1,2 г.

Влияние картового дренажно-сбросного канала на формирование урожая риса складывается из двух периодов его работы: осенне-весеннего и вегетационного. Работа картового дренажно-сбросного канала в осенне-весенний период на всех изучаемых нами вариантах опыта была одинакова и обеспечивала отвод фильтрационных грунтовых вод.

Для выяснения влияния дренированности чека на урожай риса с каждой повторности производился учет урожая по метровкам на расстоянии 50, 100, 150 и 200 м от картового дренажно-сбросного канала.

Урожайность риса также снижается и при удалении от картового дренажа, что является результатом неравномерного его влияния.

В варианте «непрерывного подпора» фильтрационный отток из чека в дренажный канал на протяжении всего периода вегетации исключается. Поэтому более высокую урожайность риса в зоне активного действия дренажа и уменьшение ее при удалении от канала можно объяснить только работой дренажно-сбросного канала в невегетационный осенне-весенний период. Аналогичная подготовка для формирования урожая была проведена работой картового дренажно-сбросного канала и в других изучаемых вариантах. Следовательно, исключив урожайность, полученную в варианте «непрерывного подпора», мы получим прибавку урожая за счет влияния фильтрационного оттока в вегетационный период.

Наименьшие урожаи риса были получены в варианте «непрерывного подпора», так как здесь глубокое анаэробное состояние почвы,

особенно в начальные фазы развития риса, не позволило мобилизовать потенциальные возможности риса, хотя недостатка в питании растения не испытывали.

В варианте «непрерывного оттока» получена незначительная прибавка урожая по сравнению с вариантом «непрерывного подпора». Анализ данных таблиц 1 и 2 показывает, что прибавка урожайности в варианте «непрерывного оттока» была получена только за счет большей густоты растений риса.

Наиболее полно отвечает биологическим особенностям риса вариант с переменным режимом работы дренажно-сбросной сети каналов. При фильтрационном оттоке в период от посева до кущения также, как и у варианта с «непрерывным оттоком», в результате улучшения аэрации почвы и уменьшения содержания в ней токсичных восстановительных продуктов обеспечивается такая же густота всходов и нормальное развитие растений риса (табл. 3).

Во второй период от кущения, когда на смену одному-единственному зародышевому корешку приходят 120-180 придаточных, и корни риса окончательно формируют воздухоносную

ткань, рис приспосабливается к анаэробным условиям. Перевод картового дренажно-сбросного канала в режим «подпора» ускоряет восстановительные процессы, тем самым улучшая питательный режим растений риса.

Средняя прибавка урожая с чека на варианте «отток-подпор» по сравнению с вариантами «непрерывного оттока» и «непрерывного подпора» за 3 года наблюдений составила 1,12-1,22 т/га, или 24,5-26,6%

Предшественником на наших чеках была люцерна, поэтому самые высокие урожаи риса были получены в первый год возделывания риса после люцерны. В последующие 2022 и 2023 гг. возделывания риса по рису урожайность снижалась независимо от режима работы дренажа.

Если урожайность риса по пласу люцерны принять за единицу, то наблюдается такая закономерность снижения урожайности риса по годам (табл. 4).

Как видно из данных таблицы 4, закономерность снижения урожайности риса при повторном его возделывании в севообороте практически одинакова по всем вариантам. Данные этой таблицы можно использовать для обоснования

Таблица 1. Влияние работы дренажа на густоту стояния риса в среднем за 3 года (2021-2024 гг.), шт./м²
Table 1. The impact of drainage on rice density on average over 3 years (2021-2024), pcs/m²

Вариант	Число растений		Выживаемость, %
	По всходам	Перед уборкой	
Непрерывный подпор	244	181,7	74,2
Непрерывный отток	260	234,7	90,0
Отток-подпор	258	234,7	90,6

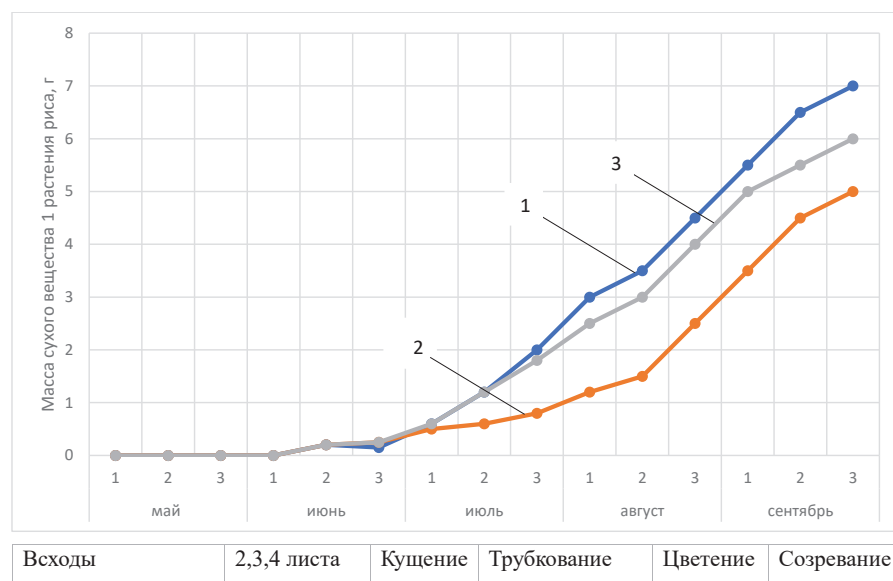


Рисунок 2. Влияние режима работы картового дренажно-сбросного канала на нарастание сухой массы надземной части растений риса: 1 — непрерывный подпор; 2 — непрерывный отток; 3 — отток-подпор
Figure 2. The influence of the operating mode of the drainage and discharge channel on the increase in dry mass of the above-ground part of rice plants: 1 — continuous backwater; 2 — continuous outflow; 3 — outflow-backwater

Таблица 2. Влияние режима работы дренажа на продуктивность растений риса в среднем за 3 года (2021-2024 гг.)
Table 2. Effect of drainage mode on rice plant productivity on average over 3 years (2021-2024)

Вариант	Высота растения, см	Длина метелки, см	Кустистость		Число зерен в метелке		Пустозерность, шт.	Масса зерна с 1 растения, г
			общая, шт.	продуктивная, шт.	полных, шт.	пустых, шт.		
Непрерывный подпор (контроль)	121	17,6	2,86	1,47	109,0	33,7	27,4	2,26
Непрерывный отток	100	16,8	2,40	1,17	92,7	19,3	20,7	1,92
Отток-подпор	109	18,6	2,62	1,38	125,7	21,7	17,1	2,84



плановой урожайности риса при проектировании севооборотов на рисовой системе.

Для сравнительного анализа затрат воды по вариантам сравниваемых режимов работы картового дренажно-сбросного канала (ДСК) лучше употреблять понятие «затраты воды на единицу урожая» ($\text{м}^3/\text{т}$), причем затраты, технологически предусмотренные, исключив неорганизованные потери на проточность и сбросы. Из данных

таблицы 5 видно, что на получение 1 т риса в варианте «отток-подпор» по сравнению с вариантом «непрерывного подпора» экономится более 1000 м^3 воды.

Дальнейшие наши исследования были направлены на установление степени влияния основных почвенно-мелиоративных факторов на урожайность риса с целью обоснования приемов их регулирования.

Таблица 3. Влияние режима работы картового сбросного канала на распределение урожая риса по ширине карты в среднем за 3 года (2021-2024 гг.), т/га

Table 3. The impact of the operating mode of the map discharge channel on the distribution of rice yield across the map width on average over 3 years (2021-2024), t/ha

Вариант	Биологический				Средний по чеку	Бункерный
	Удаленность от картового сброса, м					
	50	100	150	200		
Непрерывный подпор (контроль)	6,15	5,82	5,69	5,41	5,77	5,32
Непрерывный отток	6,59	5,85	5,47	5,41	5,81	5,60
Отток-подпор	7,70	6,45	6,13	5,68	6,49	6,23
НСР ₀₅ =0,236						

Таблица 4. Снижение уровня урожайности риса при повторном его возделывании в долях от урожайности, полученной по пласту люцерны, доли единицы

Table 4. Reduction in rice yield level with repeated cultivation as a share of the yield obtained from alfalfa layer, unit fractions

Режим работы дренажа	Год наблюдений	Удаленность от картового сброса, м				Средний по чеку
		50	100	150	200	
Непрерывный подпор	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	2	0,69	0,72	0,68	0,63	0,68
	3	0,65	0,57	0,55	0,57	0,56
Непрерывный отток	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	2	0,71	0,74	0,64	0,61	0,68
	3	0,53	0,58	0,61	0,61	0,58
Отток-подбор	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	2	0,78	0,84	0,65	0,61	0,73
	3	0,69	0,56	0,57	0,56	0,60

Таблица 5. Затраты воды в зависимости от режима работы ДСК на Кубанской РОС, $\text{м}^3/\text{т}$ (риса)

Table 5. Water consumption depending on the operating mode of the DSK in the Kuban rice irrigation system, $\text{м}^3/\text{т}$ (rice),

Вариант	Средний урожай за 3 года, т/га	Величина оросительной нормы, $\text{м}^3/\text{га}$	Затраты воды на производство 1 т риса, $\text{м}^3/\text{т}$
Непрерывный подпор	5,77	14000	4215
Непрерывный отток	5,81	15000-18000	4157-5000
Отток-подбор	6,49	14500-16000	3078-3397

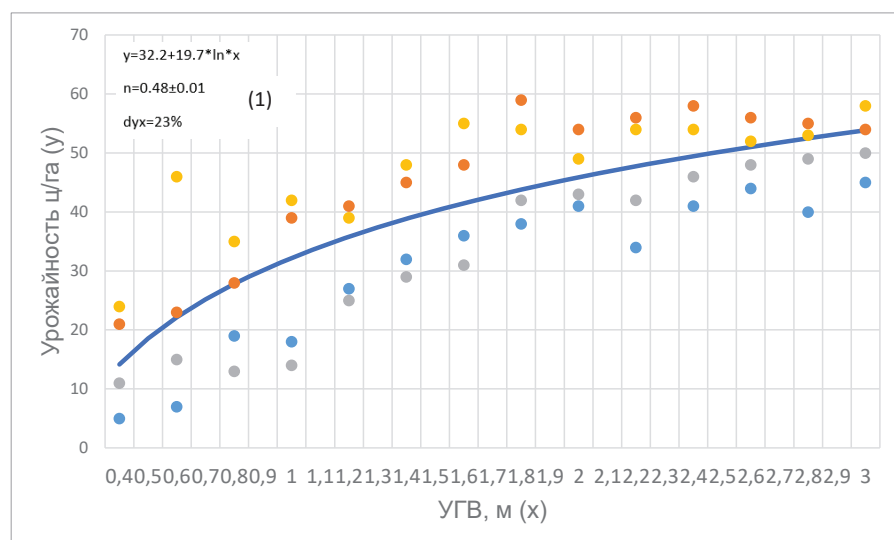


Рисунок 3. Зависимость урожайности риса от УГВ (x), м
Figure 3. Dependence of rice yield on GWL (x), m

В результате натурных исследований, выполненных с 2022 по 2024 гг. на Темрюкской и Азовской рисовых системах, установлено, что связь урожайности риса с уровнем грунтовых вод (УГВ) в межвегетационный период аппроксимируется уравнением кривой (1) (рис. 3). Связь близка к средней и существенна при $P=0,9$. При понижении УГВ с 0,5 до 1,5 м урожайность повышается в среднем на 10,8 ц/га; с 1,5 до 2,5 м — на 5 ц/га; а с 2,5 до 3,5 м — на 3,4 ц/га. Следовательно, с понижением УГВ более чем на 1,5 м в 2-3 раза уменьшается прибавка урожая риса.

Связь урожайности риса с засолением пахотного горизонта почв на Азовской рисовой системе описывается частной формой уравнения логистической функции — уравнением Ферхюльста (рис. 4). Анализ кривой, построенной по уравнению (2), позволил установить, что существенное снижение урожайности риса начинается при содержании в пахотном горизонте почв более 0,3% токсичных солей.

На Темрюкской рисовой системе связь урожайности риса с засолением почв не установлена. Это объясняется тем, что в 93% случаев сумма токсичных солей в них не превышает принятый порог токсичности для риса 0,3%.

Связь урожайности риса с содержанием физической глины в почвах аппроксимируется уравнением кривой (3), представленной на рисунке 5 (а). Зависимость тесная.

Влияние гранулометрического состава почв на урожайность риса объясняется отличием фильтрационных свойств исследуемых почв с различным содержанием частиц физической глины. Зависимость коэффициента вертикальной фильтрации (K_f) от содержания в почвах физической глины аппроксимируется уравнением экспоненциальной функции (4), представленным на рисунке 5 (б).

Обсуждение. Определенные опытным путем в межвегетацию K_f подтверждают эту зависимость и свидетельствуют, что оптимальным в этот период следует признать K_f от 0,217 до 0,331 м/сут, имеющий место на тяжелосуглинистых разновидностях почв.

В течение нескольких суток после залива системы скорость вертикальной фильтрации уменьшается в результате коагуляции пор, набухания коллоидной части почвы, адсорбции воздуха на поверхности почвенных частиц, жизнедеятельности растений риса [6], а также подпора грунтовых вод [4].

В этих условиях оптимальная средняя за вегетацию скорость вертикальной фильтрации ($V_{\text{хор}}$) на тяжелосуглинистых разновидностях почв составляет от 0,017 до 0,037 м/сут.

Наиболее высокая урожайность риса (55 ц/га) получена на тяжелосуглинистых разновидностях почв. На глинистых средне- и легкосуглинистых почвах получена меньшая урожайность.

Это объясняется тем, что при фильтрации меньше оптимальной на участках с почвами глинистого гранулометрического состава из-за недостаточного поступления в почву в период вегетации с оросительной водой свободного кислорода в пахотном горизонте накапливаются токсичные для риса (особенно его проростков) восстановленные соединения. После сброса воды с чеков в конце вегетации они медленно просыхают, что затягивает уборку. В межполивной период эти чеки находятся в переувлажненном состоянии, что препятствует окислению накопленных в почве за вегетацию токсичных продуктов, а также затрудняет своевременное проведение весенних полевых работ. В этих условиях постоянного переувлажнения прогрессирует оглеение

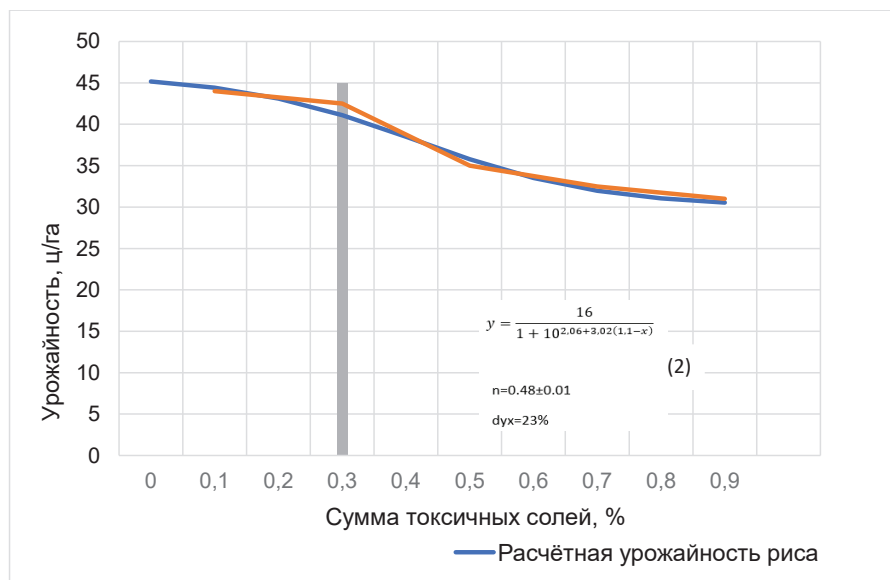
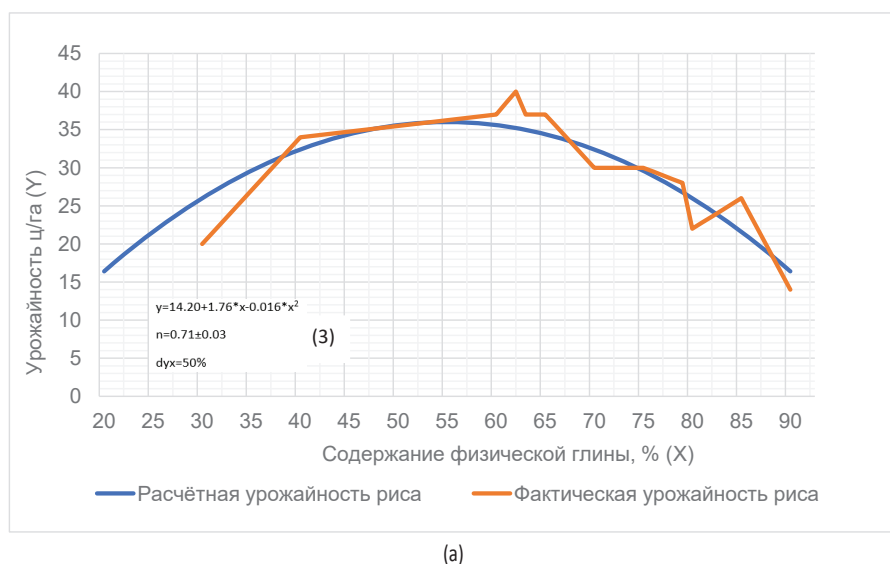
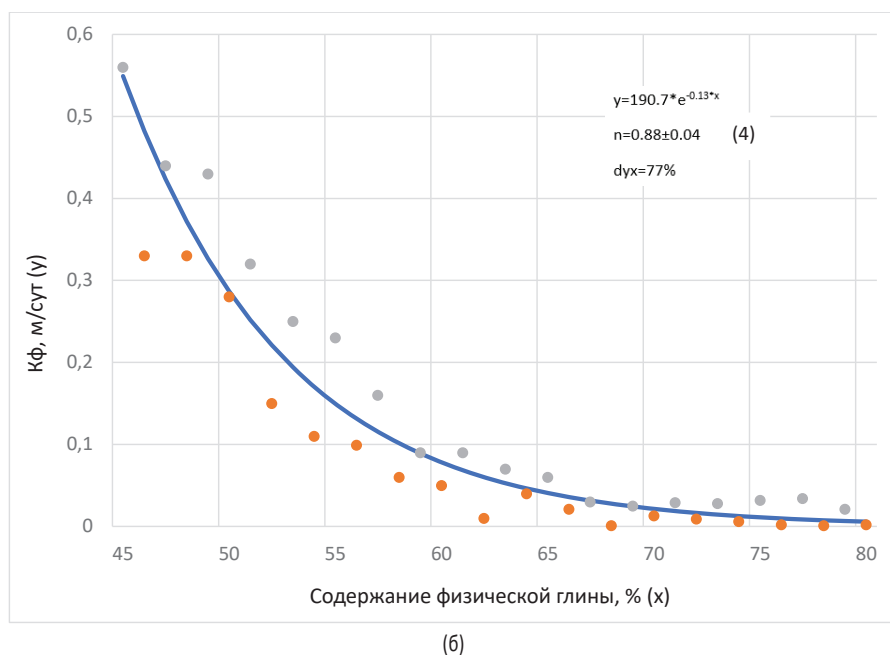


Рисунок 4. Зависимость урожайности риса от суммы токсичных солей в слое почв 0-25 см (x), %
Figure 4. Dependence of rice yield on the amount of toxic salts in the soil layer 0-25 cm (x), %



(a)



(б)

Рисунок 5. Зависимость коэффициента фильтрации верхнего метра почв от содержания физической глины
Figure 5. Dependence of the filtration coefficient of the upper meter of soil on the content of physical clay

и заболачивание почв, развивается сорная болотная растительность. При фильтрации больше оптимальной на участках с почвами среднего и легкого гранулометрического состава усиливается вынос не только токсичных соединений, но и питательных элементов, что снижает плодородие почв. Кроме того, высокие потери на фильтрацию приходится пополнять свежей оросительной водой, низкая температура которой задерживает рост и развитие риса. В результате урожайность риса снижается.

Выводы.

1. При возделывании риса со слоем воды перед рисоводом возникает противоречивая задача: с одной стороны, создать условия в почве рисового поля для обеспечения растений риса подвижными элементами минерального питания, а с другой — удалить из нее образующиеся продукты анаэробного процесса, токсичные для риса.

Оптимальное общее решение заключается в том, что в первый период жизни рисового растения дренажно-сбросную сеть необходимо держать в режиме свободного оттока, а с началом кущения дренажно-сбросная сеть должна быть переведена в режим подпора.

2. Устройство на тяжелых почвогрунтах рисовых оросительных систем Юга России дополнительного закрытого внутрикартового дренажа глубиной 2,2-3,2 м позволяет поддерживать на РОС необходимую «норму осушения» во вневегетационный период, что способствует улучшению мелиоративного состояния РОС, интенсификации окислительных, микробиологических процессов, фильтрационной и рассоляющей способности почвы, повышению плодородия рисовых полей и урожайности риса на 6-10 ц/га и более.

По почвенно-мелиоративным причинам изменение урожайности риса в 50% случаев связано с фильтрационными свойствами верхнего метрового слоя почв (их гранулометрическим составом), в 22% — с УГВ в межвегетационный период и в 22% — с засолением пахотного горизонта почв при условии содержания в нем более 0,3% токсичных солей.

3. С целью оптимизации главных почвенно-мелиоративных факторов, влияющих на урожай риса на рисовых системах дельты Кубани, необходима такая их реконструкция, которая обеспечит возможность управления вертикальной фильтрацией, солевым режимом почв и уровнем грунтовых вод.

Список источников

1. Safronova, T., Vladimirov, S., Prikhodko, I. (2020). Probabilistic assessment of the role of the soil degradation main factors in Kuban rice fields. *E3S Web of Conferences: 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020*. EDP Sciences, p. 09011. doi: 10.1051/e3sconf/202017509011
2. Вербицкий А.Ю., Приходько И.А., Мамась Н.Н. Оценка рационального использования водных ресурсов на примере реки Афипс // *Экология речных ландшафтов: сборник статей по материалам IV Международной научной экологической конференции*, Краснодар, 03 декабря 2019 г. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. С. 12-18.
3. Prikhodko, I., Verbitsky, A., Vladimirov, S., Safronova, T. (2020). Microflora microbiological characteristics of saline soils. *E3S Web of Conferences: 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020*. EDP Sciences, p. 09010. doi: 10.1051/e3sconf/202017509010
4. Bandurin, M.A., Rudenko, A.A., Bandurina, I.P., Prikhodko, I.A. (2022). Reducing the Anthropogenic Impact of Natural Risks on Small Rivers in the South of Russia. *IOP*





Conference Series: Earth and Environmental Science, January 10-12, 2022. Virtual, Online, p. 042037. doi: 10.1088/1755-1315/988/4/042037

5. Приходько И.А., Ткаченко В.Т., Гребенчиков И.В. и др. Способ очистки дренажного стока рисовых оросительных систем // 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. 275-278.

6. Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А. Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края // Природообустройство. 2022. № 4. С. 50-56. doi: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56

7. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prihodko, I.A. (2021). Probabilistic Approach to Soil Fertility Conservation by Mathematical Modeling of Technological Processes and Optimization of Resource Use. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vladivostok, October 6-9, 2020*. Vladivostok, p. 042063. doi: 10.1088/1755-1315/666/4/042063

8. Приходько И.А., Сафронова Т.И., Вербицкий А.Ю. Разработка методики оценки мелиорируемых земель // Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2019. № 15. С. 59-69.

9. Бандурин М.А., Приходько И.А., Бандурина 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

10. Приходько И.А., Владимиров С.А., Хатхоу Е.И. и др. Исследование окислительно-восстановительных процессов в ризосфере рисовых чеков в период вегетации риса // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 5. С. 5. doi: 10.24411/2588-0209-2020-10211

11. Патент № 2466522 С1 Российская Федерация, МПК А01В 79/02, G01N 33/24, A01G 16/00. Способ определения агроресурсного состояния почв по мелиоративной шкале рисовой оросительной системы: № 2011112267/13: заявл. 30.03.2011: опубл. 20.11.2012 / Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди, И.А. Приходько; заявитель ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет».

12. Приходько И.А., Парфенов А.В., Александров Д.А. Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования в рисоводстве Кубани // Научно-образовательная 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.

13. Владимиров С.А., Колесниченко В.В., Войтенко Д.А., Александров Д.А. Ресурсосберегающие и природоохранные технологии для решения экологических проблем на Кубани // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 73-3. С. 112-115. doi: 10.18411/IJ-05-2021-113

14. 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

15. Крылова Н.Н., Иванов Н.А., Огрызко В.А. Совершенствование способа полива риса // Академия педагогических идей «Новация». Серия: Студенческий научный

вестник. 2019. № 2 (февраль). URL: <http://akademnova.ru/page/875550>

16. Суров А.О., Владимиров С.А. Проблемы рационального использования водных и земельных ресурсов в рисоводстве // Аспирант. 2021. № 6 (63). С. 151-153.

References

1. Safronova, T., Vladimirov, S., Prihodko, I. (2020). Probabilistic assessment of the role of the soil degradation main factors in Kuban rice fields. *E3S Web of Conferences: 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020*. EDP Sciences, p. 09011. doi: 10.1051/e3sconf/202017509011

2. Verbitskii, A.Yu., Prihodko, I.A., Mamas, N.N. (2020). Otsenka ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh resursov na primere reki Afips [Assessment of rational use of water resources on the example of the Ahips River]. *Ehkologiya rechnykh landshaftov: sbornik statei po materialam IV Mezhdunarodnoi nauchnoi ehkologicheskoi konferentsii, Krasnodar, 03 dekabrya 2019 g.* [Ecology of river landscapes: collection of articles on the materials of the IV International scientific ecological conference, Krasnodar, 03 December 2019]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, pp. 12-18.

3. Prihodko, I., Verbitsky, A., Vladimirov, S., Safronova, T. (2020). Microflora microbiological characteristics of saline soils. *E3S Web of Conferences: 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020, Rostov-on-Don, February 26-28, 2020*. EDP Sciences, p. 09010. doi: 10.1051/e3sconf/202017509010

4. Bandurin, M.A., Rudenko, A.A., Bandurina, I.P., Prihodko, I.A. (2022). Reducing the Anthropogenic Impact of Natural Risks on Small Rivers in the South of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, January 10-12, 2022*. Virtual, Online, p. 042037. doi: 10.1088/1755-1315/988/4/042037

5. Prihodko, I.A., Tkachenko, V.T., Grebenshchikov, I.V. i dr. (2020). Sposob ochistki drenazhnogo stoka risovykh orositel'nykh sistem [Method of cleaning the drainage runoff of rice irrigation systems]. *Lesnaya melioratsiya i ehkologo-gidrologicheskie problemy Don'skogo vodosbornogo basseina: materialy Natsional'noi nauchnoi konferentsii, Volgograd, 29-30 oktyabrya 2020 g.* [Forest reclamation and ecological and hydrological problems of the Don watershed: proceedings of the National scientific conference, Volgograd, 29-30 October 2020]. Volgograd, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences, pp. 275-278.

6. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A., Prihodko, I.A. (2022). Izmenenie klimata: prichiny, riski dlya vodokhozyaystvennogo kompleksa Krasnodarskogo kraya [Climate change: causes, risks for the water management complex of Krasnodar Krai]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental engineering], no. 4, pp. 50-56. doi: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56

7. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prihodko, I.A. (2021). Probabilistic Approach to Soil Fertility Conservation by Mathematical Modeling of Technological Processes and Optimization of Resource Use. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vladivostok, October 6-9, 2020*. Vladivostok, p. 042063. doi: 10.1088/1755-1315/666/4/042063

8. Prihodko, I.A., Safronova, T.I., Verbitskii, A.Yu. (2019). Razrabotka metodiki otsenki melioriruemyykh zemel' [Development of a methodology for the assessment of the ameliorated lands]. *Vestnik Nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustroystvu i vodopol'zovaniyu* [Vestnik the Scientific

and Methodological Council in environmental engineering and water management], no. 15, pp. 59-69.

9. Bandurin, M.A., Prihodko, I.A., Bandurina, I.P. (2021). Sovremennyye 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

10. Prihodko, I.A., Vladimirov, S.A., Khatkhokhu, E.I. i dr. (2020). Issledovanie oksitel'no-vosstanovitel'nykh protsessov v rizoferie risovykh chekov v period vegetatsii risa [Study of oxidation-reduction processes in the rhizosphere rice checks during rice growing season]. *International Agricultural Journal*, vol. 63, no. 5, pp. 5. doi: 10.24411/2588-0209-2020-10211

11. Kuznetsov, E.V., Khadzidzi, A.E., Prihodko, I.A. (ed.) Patent № 2466522 С1 Rossiiskaya Federatsiya, МРК А01В 79/02, G01N 33/24, A01G 16/00. Sposob opredeleniya agroresursnogo sostoyaniya pochvy po mелиоративной shkale risovoi orositel'noi sistemy: № 2011112267/13: заявл. 30.03.2011: opubl. 20.11.2012; заявитель FGOU VPO «Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet» [Patent № 2466522 С1 Russian Federation, МРК А01В 79/02, G01N 33/24, A01G 16/00. Method of determination of agro-resource condition of soils by ameliorative scale of rice irrigation system: No. 2011112267/13: filed. 30.03.2011: published 20.11.2012; applicant Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Kuban State Agrarian University"].

12. Prihodko, I.A., Parfenov, A.V., Aleksandrov, D.A. (2021). Ehkologo-mелиоративnye aspekty ratsional'nogo prirodoopol'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 khozyaystva regionov Rossii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu FGBOU VO Chuvashskii GAU, Cheboksary, 22 oktyabrya 2021 g.* [Scientific and educational environment as the basis for the development of the intellectual potential of agriculture in the regions of Russia: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, October 22, 2021]. Cheboksary, Chuvash State Agrarian University, pp. 150-152.

13. Vladimirov, S.A., Kolesnichenko, V.V., Voitenko, D.A., Aleksandrov, D.A. (2021). Resursosberegayushchie i prirodookhrannyye tekhnologii dlya resheniya ehkologicheskikh problem na Kubani [Resource-saving and environmental technologies for solving environmental problems in the Kuban]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education], no. 73-3, pp. 112-115. doi: 10.18411/IJ-05-2021-113

14. Prihodko, I.A., Bandurin, M.A., Stepanov, V.I. (2021). Zadacha vybora ratsional'nykh tekhnologicheskikh operatsii pri vozdel'nyanii 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

15. Krylova, N.N., Ivanov, N.A., Ogrzyzko, V.A. (2019). Sovershenstvovanie sposoba poliva risa [Improving the method of watering rice]. *Akademiya pedagogicheskikh idei «Novatsiya». Seriya: Studencheskii nauchnyi vestnik* [Academy of Pedagogical Ideas "Innovation". Series: Student scientific bulletin], no. 2 (February). Available at: <http://akademnova.ru/page/875550>

16. Surov, A.O., Vladimirov, S.A. (2021). Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh i zemel'nykh resursov v risovodstve [Problems of rational use of water and land resources in rice growing]. *Aspirant*, no. 6 (63), pp. 151-153.

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>, Scopus ID: 57214098822, Researcher ID: AAH-1647-2021, SPIN-код: 4011-7185, prihodkoigor2012@yandex.ru

Чебанова Елена Федоровна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1061-1150>, Scopus ID: 57218100852, SPIN-код: 3299-8040, chebanova2020@yandex.ru

Молчанова Галина Александровна, бакалавр 2 курса бакалавриата факультета гидро-мелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7219-6141>, galya.molchanova.05@inbox.ru

Information about the authors:

Igor A. Prihodko, 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>, Scopus ID: 57214098822, Researcher ID: AAH-1647-2021, SPIN-code: 4011-7185, prihodkoigor2012@yandex.ru

Elena F. Chebanova, candidate of technical sciences, associate professor of the department of construction and operation of water facilities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1061-1150>, Scopus ID: 57218100852, SPIN-code: 3299-8040, chebanova2020@yandex.ru

Galina A. Molchanova, 2st year bachelor's degree of the faculty of hydro-reclamation, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7219-6141>, galya.molchanova.05@inbox.ru