

new rice map to save irrigation water, improve the reclamation status of rice soils and rice productivity. **Materials and methods.** The article proposes the design of a new generation rice card. The results of the construction and operation of a new generation rice map in the Achuevskaya agricultural firm in the Slavyansky district of the Krasnodar Territory are presented. This map allows you to highly effectively control the groundwater level, which in turn allows you to maintain the specified parameters of soil moisture with the necessary and sufficient accuracy. A mathematical model for achieving the optimal state of a rice irrigation system has been developed, based on an integral approach to the formation of management decisions in the process of selecting the optimal option for planned work on a rice irrigation system with predicted operational parameters of the system. Allows you to quantify the strength and direction of influence of the factors taken into account, to perform multivariate forecast calculations based on the resources available at the time of construction, the scientific and technical level, technologies and construction materials. **Results and discussion.** As a result of the research carried out, positive results were obtained, which are expressed in: a reduction in the irrigation norm on average over the years of research by 5 times and which amounted to about 3.5 thousand m³/ha, which in turn allowed for energy savings at waste pumping stations in 20 %. A 40-45% reduction in the application rate of pesticides and herbicides was also obtained, which made it possible to reduce the cost of rice production by 5% and reduce drainage water pollution by 10%. The improvement in the granulometric composition of the soil was expressed in a 10% increase in soil aggregates with a diameter of 0.25 – 10 mm in the 0-20 cm layer. The improvement in NPK was characterized by an increase in the content of hydrolyzable nitrogen in the arable horizon by 1.1%, mobile phosphorus – 0.16%, mobile potassium – 1.32%, while the humus content in the arable horizon increased by 0.08%). The economic effect of introducing this rice map made it possible to increase the yield of green mass of alfalfa to 650 c/ha, corn to 720 c/ha. An increase in the yield of rice and related crops of rice crop rotation was obtained. The decrease in groundwater levels improved the ecological and reclamation state of the soils of the rice paddies. Optimization of the process of making management decisions during the construction of an irrigation system made it possible to reduce the amount of labor costs by 5% and energy resources by 20%. The increase in rice yield was 13%, while its cost decreased by 5%.

Keywords: nature-like technologies, water use, rice maps, rice yields, rice cultivation, agresource potential of soils.

Citation. Bandurin M. A., Prikhodko I. A., Geraskina T. V. System optimization of nature-like technology for balanced water use in rice irrigation systems of Lower Kuban. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 2(74). 297-309 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-02-36.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 626.82

СИСТЕМНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИРОДОПОДОБНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СБАЛАНСИРОВАННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НИЖНЕЙ КУБАНИ

Бандурин М. А., доктор технических наук, доцент
Приходько И. А., кандидат технических наук, доцент
Гераськина Т. В., аспирант

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского
научного фонда № 22-17-20001

Актуальность. В проведенном исследовании приводится природоподобная технология сбалансированного водопользования на рисовых оросительных системах Нижней Кубани. Вектор развития современного человечества направлен вверх по технократической кривой. Последствиями такого развития являются загрязнение стока поверхностных и подземных вод, постоянно нарастающий дефицит пригодной для человека и растений воды, увеличение антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные земли, в результате которой происходит не только снижение плодородия почв, но и полная деградация с выводом их из севооборотов. На современном этапе развития нужны зелёные технологии, которые являются экологически безвредными. Поэтому целью наших исследований является формирование новых подходов в природоподобной технологии сбалансированного водопользования на рисовых оросительных системах Нижней Кубани. **Объект.** Объектом исследований выступал водохозяйственный комплекс Нижней Кубани. **Задача исследований** заключается в разработке новой рисовой карты для экономии оросительной воды, повышения мелиоративного состояния рисовых почв и урожайности риса. **Материалы и**

методы. В статье предлагается конструкция рисовой карты нового поколения. Изложены результаты строительства и эксплуатации рисовой карты нового поколения в агрофирме «Ачуевская» Славянского района Краснодарского края. Данная карта позволяет высокоэффективно управлять уровнем грунтовых вод, что, в свою очередь, позволяет с необходимой и достаточной точностью поддерживать заданные параметры влажности почвы. Разработана математическая модель достижения оптимального состояния рисовой оросительной системы, базирующаяся на интегральном подходе по формированию управленческих решений в процессе выбора оптимального варианта намечаемых работ на рисовой оросительной системе с прогнозируемыми эксплуатационными параметрами системы. Позволяет количественно оценить силу и направление влияния учитываемых факторов, выполнять многовариантные прогнозные расчеты исходя из имеющихся на момент строительства ресурсов, научно-технического уровня, технологий и материалов строительства. **Результаты и обсуждение.** В результате выполненных исследований были получены положительные результаты, которые выражаются в: сокращении оросительной нормы в среднем за годы исследований в 5 раз и которая составляла около 3,5 тыс. м³/га, что, в свою очередь, привело к экономии электроэнергии на сбросных насосных станциях на 20 %. Также было получено снижение дозы внесения пестицидов и гербицидов на 40-45%, что позволило снизить на 5 % себестоимость производства риса и снизить загрязнение дренажных вод на 10 %. Улучшение гранулометрического состава почвы выразилось в увеличении на 10% в слое 0-20 см агрегатов почвы диаметром 0,25-10 мм. Улучшение NPK характеризовалось в увеличении содержания в пахотном горизонте гидролизуемого азота на 1,1 %, подвижного фосфора – 0,16%, подвижного калия – 1,32%, при этом содержание гумуса в пахотном горизонте повысилось на 0,08%). Экономический эффект внедрения данной рисовой карты позволил повысить урожайность зеленой массы люцерны до 650 ц/га, кукурузы до 720 ц/га. Получена прибавка урожая риса и сопутствующих культур рисового севооборота. Снижение уровня грунтовых вод улучшило эколого-мелиоративное состояние почв рисовых чеков. Оптимизация процесса принятия управленческих решений при строительстве оросительной системы позволила снизить объем трудозатрат на 5%, энергоресурсов на 20%. Прибавка урожая риса составила 13% при снижении его себестоимости на 5%.

Ключевые слова: природоподобные технологии, водопользование, рисовые карты, урожайность риса, возделывание риса, агроресурсный потенциал почв.

Цитирование. Бандурин М. А., Приходько И. А., Гераськина Т. В. Системная оптимизация природоподобной технологии сбалансированного водопользования на рисовых оросительных системах нижней Кубани. *Известия НВ АУК*. 2024. 2(74). 297-309. DOI:10.32786/2071-9485-2024-02-36.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Вектор развития современного человечества направлен вверх по технологической кривой. Последствиями такого развития являются загрязнение стока поверхностных и подземных вод, постоянно нарастающий дефицит пригодной для человека и растений воды, увеличение антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные земли, в результате которой происходит не только снижение плодородия почв, но и полная деградация с выводом их из севооборотов.

Традиционно строительство рисовых оросительных систем было ориентировано на возделывание культуры риса способом затопления чеков [1]. Такой способ в условиях ежегодного роста дефицита и стоимости пресной воды делает возделывание риса нерентабельным. Большим недостатком существующих типов рисовых карт как основного конструктивного элемента рисовых оросительных систем является их непригодность к возделыванию сопутствующих и зимующих культур рисового севооборота [2]. Это выражается главным образом в отсутствии предъявляемых к культуре биологических потребностей в водном питании, так как их возделывание осуществлялось без орошения.

В почве преобладают восстановительные процессы, приводящие к снижению агро-ресурсного потенциала почвы, что крайне пагубно сказывается на качестве и урожайности сопутствующих культур рисового севооборота, а значит, и ликвидности их на рынке в сравнении с той же продукцией, полученной на богарных землях [3].

Решением в данной ситуации для рисосеющих хозяйств был переход на возделывание риса как монокультуры и отказ от других культур рисового севооборота. Данное решение незамедлительно привело к снижению урожайности риса за счет резкого ухудшения мелиоративного состояния почв, вызванного снижением количества фитомелиорантов в почве, которое, в свою очередь, было связано со снижением урожайности многолетних трав из-за отсутствия сопутствующих и зимующих культур в рисовом севообороте. Во многих хозяйствах для

сохранения высоких урожаев риса стали вносить увеличенные дозы минеральных удобрений и пестицидов, что может рассматриваться как временная мера, неизменно приводящая к снижению качества получаемого риса и мелиоративного состояния рисовой оросительной системы. Все это является результатом неупорядоченных и не систематизированных воздействий человека на атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу. Несогласованность таких действий в одной отрасли народного хозяйства со смежными отраслями, наряду с недостаточными исследованиями в области причинно-следственных связей между выполняемыми мероприятиями, является главной проблемой на сегодняшний день, решение которой позволит обеспечить экономическую безопасность любой страны [4, 5, 6].

Особое место в решении данной глобальной проблемы занимает решение ряда промежуточных проблем, направленных на сохранение и улучшение агресурсного потенциала сельскохозяйственных земель. Для оценки последствий антропогенной нагрузки необходимо учитывать интенсивность воздействия на почву машин и механизмов. Следует отметить, что рисосеющие хозяйства в настоящее время обладают техникой суммарной мощностью более 250 л. с. на 100 га ирригированной площади. На 1 га посевной площади риса производится тракторных работ в объеме более 200 эталонных га и подается от 16 до 25 тыс. м³ оросительной воды. Современные тракторы, особенно колесные, оказывают давление на почву до 3-4 кг/см² и более, а ходовые системы машин только в период предпосевных обработок и сева покрывают площадь поля до 80% [7].

Все вышеизложенное свидетельствует о несистематизированном и неэкологическом подходе к возделыванию рисовых севооборотов. Дальнейшее производство риса по существующим технологиям не представляется возможным и может привести к беспрецедентным экологическим последствиям и полной деградации почвы с выводом полей рисовой оросительной системы из севооборотов.

Материалы и методы. Самой распространенной зерновой культурой в мире является рис. Получение гарантировано высоких урожаев риса обеспечивает продовольственную безопасность многих стран, включая Россию. Традиционные технологии возделывания риса способом затопления рисовых чеков являются очень трудоемкими и экономически затратными. Также возделывание риса сопряжено с потерей плодородия почв из-за нахождения ее под слоем воды большую часть вегетационного периода риса, что приводит к процессам заболачивания, слитизации и вторичному засолению почвы, а также загрязнению водоприемников (рек, озер, лиманов) пестицидами и гербицидами путем сбрасывания в них дренажно-сбросных вод, которое оказывают пагубное влияние не только на флору и фауну водных объектов, но и на здоровье людей, употребляющих рыбу и воду из него. Наблюдаемые в последние годы во всем мире засухи и растущий дефицит пресной воды, а также необходимость охраны окружающей среды от последствий возделывания риса вынуждает производителей риса переходить на новые, более эколого-экономичные способы возделывания риса.

Многими авторами были выполнены полевые исследования [8, 9, 10], в которых описаны попытки орошения люцерны на рисовых оросительных системах. Однако в связи с особенностью почво-грунтов рисовых чеков (нулевой уклон; тяжелые грунты – глины, тяжелые суглинки, слитые черноземы; высокий уровень грунтовых вод; слабая водопроницаемость почвы) все попытки повысить урожайность люцерны путем орошения ее краткосрочным затоплением не увенчались успехом и закончились вымоканием и гибелью посевов люцерны.

Предлагались также различной конструкции передвижные поливные агрегаты, метод форсированного затопления, а также использование сифонов большого диаметра. Однако ощутимых результатов данные решения не принесли, кроме отдельно взятых хозяйств, в которых по удачному стечению природно-климатических факторов (быстрое удаление воды, отсутствие осадков после полива и т.п.) были получены положительные результаты, которые не подтвердились в повторных полевых исследованиях [11, 12].

По результатам строительства в агрофирме «Ачуевская» Славянского района Краснодарского края и эксплуатации предлагаемой нами новой конструкции рисовой оросительной системы в производственных условиях были получены устойчивые результаты регулирования влажности почвы и высокие урожаи не только люцерны, но и кукурузы, что стало возможным за счет новой возможности регулирования и управления глубиной залегания грунтовых вод (рисунок 1) [13, 14].



Рисунок 1 – Рисовая оросительная система в агрофирме «Ачуевская» Славянского района Краснодарского края

Figure 1 – Rice irrigation system in the agricultural firm "Achuevskaya" of the Slavyansky district of the Krasnodar region

Главная особенность, предлагаемой рисовой поливной карты заключается в нарезке периферийных чековых канавок оросителя-сброса строительство подпорных сооружений с переливным регулируемым порогом на границах террас по трассе картового сброса, что позволило не только сэкономить оросительную воду, но и улучшить агромелиоративное состояние почв (рисунок 2).

Орошение сопутствующих севооборотных культур производится следующим образом. Из картового оросителя вода подается в головной чек с целью заполнения периферийного сброса-оросителя. В сбросе-оросителе устанавливается водомерная рейка (чекочная рейка с делениями от 0 до 30 см). Деление «30» соответствует средней отметке поверхности земли с отклонением минус 10 см.

Подача воды осуществляется до тех пор, пока уровень воды в сбросе-оросителе не достигнет отметки по рейке «30», затем подача воды приостанавливается. Если уровень воды в сбросе-оросителе уменьшается, то подача возобновляется. Как только насыщение почвы водой достигнет своего максимума, уровень воды в сбросе-оросителе стабилизируется или будет уменьшаться медленно.

В сбросном канале на протяжении длины чека поддерживается уровень воды подпорным сооружением, соответствующий отметке поверхности земли за минусом 0,5 м. В этом случае получается эффект внутрпочвенного орошения.

Любое строительство должно быть технико-экономически обосновано. Еще на стадии проектирования необходимо учесть как можно больше факторов, которые не только позволят снизить стоимость строительства, но и позволят эксплуатировать систему с минимальными рисками. Необходим прогноз изменения природно-мелиоративных показателей (критериев) перехода агроландшафтов в урбандшафты при строительстве рисовых оросительных систем, в том числе оценка негативных воздействий затопления рисовых чеков на окружающую экосистему и эколого-мелиоративное состояние почв. Для формирования комплекса современных методов и подходов рационального природопользования на стадии проектирования необходимо прогнозировать (моделировать) последствия принятых строительных решений [15].

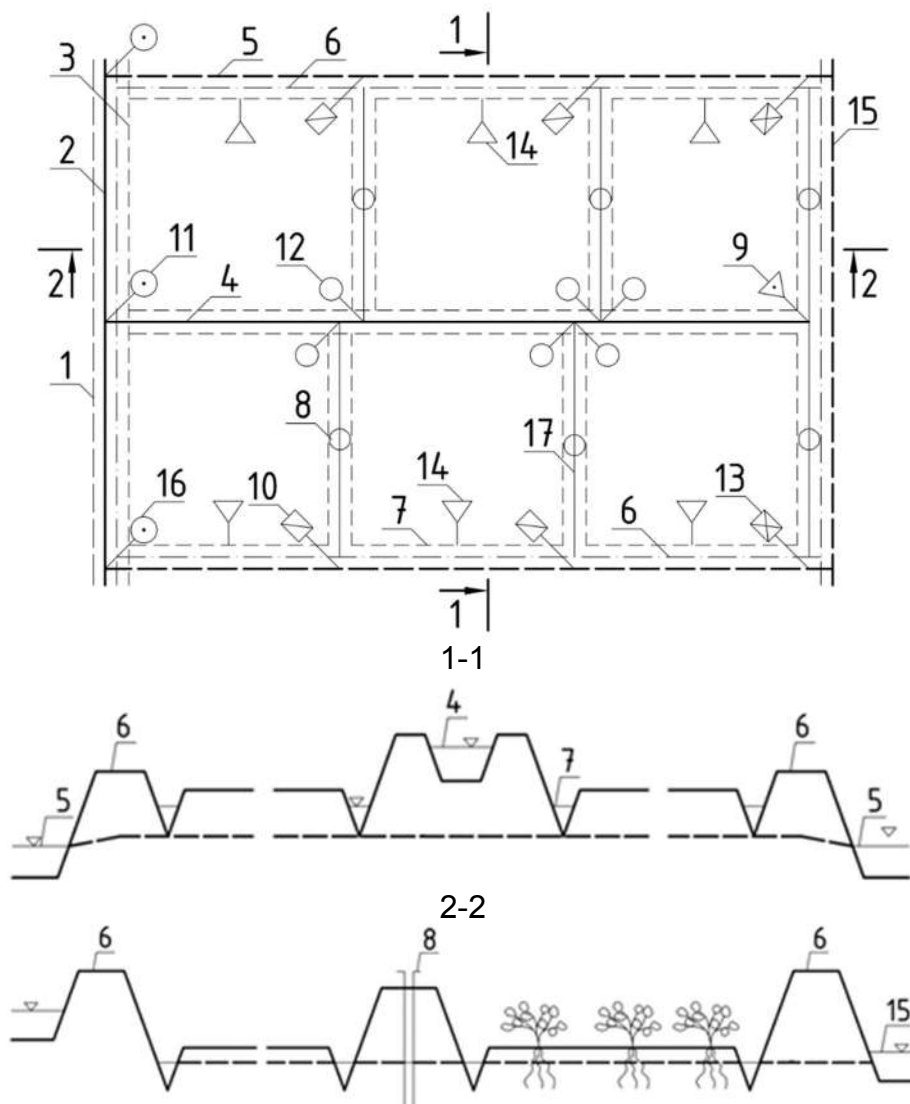


Рисунок 2 – Усовершенствованная карта-схема поливной карты Краснодарского типа:
1 – оградительный дренажный канал; 2 – участковый распределитель; 3 – чековый дренажный сброс; 4 – картовый ороситель; 5 – картовый сброс; 6 – дорога; 7 – чековый ороситель-сброс; 8 – наблюдательная скважина за УГВ; 9 – конечный сброс на оросителе; 10 – подпорное сооружение с водосливным порогом на картовом сбросном канале; 11 – головное сооружение на картовом оросителе; 12 – чековое оросительное сооружение; 13 – конечное запорное сооружение с регулируемым по высоте порогом-водосливом; 14 – чековое сбросное сооружение; 15 – участковый коллектор; 16 – водовыпуск (дополнительный) из участкового распределителя в картовый сброс; 17 – межчековый валик

Figure 2 – Improved map-scheme of the irrigation map of the Krasnodar type: 1 – protective drainage channel; 2 – precinct distributor; 3 – check drainage discharge; 4 – kart sprinkler; 5 – kart discard; 6 – road; 7 – check sprinkler-discharge; 8 – observation well for UGV; 9 – end discharge at the sprinkler; 10 – retaining structure with a spillway threshold on the kart discharge channel; 11 – head structure on the kart sprinkler; 12 – check irrigation structure; 13 – end shut-off structure with height-adjustable sill-weir; 14 – check discharge facility; 15 – district collector; 16 – water outlet (additional) from the section distributor to the kart discharge; 17 – inter-check roller

В работе предлагается инновационное системно-информационное, вероятностное обоснование планируемых строительных операций на рисовых оросительных системах. Основная идея такого подхода заключается в формировании альтернативно допустимых вариантов в рамках доступных на момент строительства ресурсов (энергетических, трудовых, экономических, технико-технологических). Целевыми функциями прогнозирования результатов по-

следствий выполнения тех или иных строительных мероприятий являются минимизация конечной стоимости строительства оросительной системы, получение максимального коэффициента земельного использования на рисовой оросительной системе, минимизация нарушения исторически сложившегося агроландшафта и оценкой предполагаемого изменения мелиоративного состояния почв под влиянием культуры затопляемого риса, получение запрограммированного урожая риса и сопутствующих культур рисового севооборота [16].

Основной трудностью прогнозирования (моделирования) различных вариантов является идентификация большого числа неуправляемых параметров (природно-климатических, гидрогеологических, мелиоративных, экономических, экологических и т.д.). Поэтому для реализации намеченных мероприятий на начальной стадии экологические требования вынужденно задаются в наипростейшей форме в виде ограничений, накладываемых на параметры системы [17].

Без сомнения, одной из главных задач оценки вариантов строительства рисовой оросительной системы является учет природных процессов и внешних воздействий, которые характеризуются стохастичностью и неопределённостью. Важнейшим природным процессом, по результатам многочисленных исследований, является гидрогеологический режим, который играет ключевую роль на рисовых оросительных системах.

Составление прогнозов изменения режима уровня и минерализации грунтовых вод в результате строительства и эксплуатации рисовой оросительной системы является главной и первостепенной задачей в гидрогеологических расчетах, входящих в состав проекта строительства мелиоративных систем. Предложенный вероятностный подход обеспечивает комплексность почвенных и гидрогеологических исследований, так как почвенные условия объекта мелиорации взаимосвязаны с гидрогеологическими условиями [18, 19].

Важным фактором оптимального функционирования рисовой оросительной системы является возможность оперативно управлять уровнем грунтовых вод, что дает работникам рисосеющей отрасли многофункциональный инструмент, гарантирующий получение высоких урожаев при оптимальных режимах работы рисовых поливных карт.

Оптимизация водохозяйственной системы в составе комплекса мер по управлению рисовой оросительной системой является базисным вопросом и рассматривается в многокритериальной плоскости в течение не только вегетационного периода, но и во вневегетационный период, что обеспечивает устойчивый урожай, оптимальный водно-солевой режим и необходимые для сохранения почвенного агроресурсного потенциала окислительно-восстановительные процессы в пахотном горизонте почвы [20].

Управление такими многофакторными процессами является трудноосуществимой задачей с весьма трудоемким процессом, требующим большого количества расчетов, поэтому для учета особенностей функционирования рисовых оросительных систем будем рассматривать данные процессы пуассоновским потоком интенсивности λ . На n -й фазе намечаемые работы позволят на рисовой оросительной системе осуществлять необходимые мелиоративные мероприятия с вероятностью $R_n = R(S_n)$.

Рассмотрим вероятностные характеристики цены намечаемых работ. Если работы будут завершены на n -й фазе, то цена совершенных работ будет равна S_n . Цена достижения цели (S_e) – дискретная случайная величина, принимающая значения S_n с вероятностями Q_n

$$P\{S_e = S_n\} = Q_n, n = \overline{1, \infty} \quad (1)$$

$$\text{Отсюда} \quad M\{S_e\} = \sum_{n=1}^{\infty} S_n \exp\left(-\sum_{i=1}^{n-1} \lambda T_i R_i\right) \cdot (1 - \exp(-\lambda T_n R_n)), \quad (2)$$

$$M\{S_e^2\} = \sum_{n=1}^{\infty} S_n^2 \exp\left(-\sum_{i=1}^{n-1} \lambda T_i R_i\right) \cdot (1 - \exp(-\lambda T_n R_n)), \quad (3)$$

$$\text{и} \quad D\{S_e\} = M\{S_e^2\} - M^2\{S_e\} \quad (4)$$

Далее определили среднее время достижения удовлетворительного варианта намечаемых работ на рисовой оросительной системе.

$$\bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \Psi_1(\lambda R_n T_n) \exp\left(-\sum_{k=1}^{n-1} \lambda R_k T_k\right), \quad (5)$$

где $\Psi_1(x) = \frac{1-e^{-x}}{x}$.

Плотность вероятностей $p_s(S_e)$ имеет вид

$$p_s(S_e) = \delta(S_e - S_m) \exp\left(-\int_{S_m}^S g(x) dx\right) + g(S_e) \exp\left(-\int_{S_e}^S g(x) dx\right), \quad (6)$$

где $g(S) = \lambda R(S)/a(S)$; $a(S) = -\frac{ds}{dt}\bigg|_{t=t(S)}$; S_e изменяется в пределах $S_m \leq S_e \leq S$.

В такой постановке задачи нами найдены:

- плотность вероятностей промежутка времени до наступления благоприятного состояния по различным вариантам намечаемых работ на рисовой оросительной системе:

$$p(\tau) = \lambda R(S(\tau)) \exp\left(-\int_0^\tau \lambda R(S(t)) dt\right), \quad (7)$$

- среднее время достижения наиболее оптимального состояния системы по удовлетворительному варианту намечаемых работ на рисовой оросительной системе (формула 5).

Результаты и обсуждение. Предложенная нами методика состоит в вероятностном подходе к выбору оптимального варианта выполняемых работ на мелиоративной системе, позволяющего совершенствовать существующие технологии эксплуатации рисовых оросительных систем с учетом современного научно-технологического уровня и всех экологических требований, предъявляемых к такого рода системам.

Предлагаемая схема поливной карты позволяет избежать смыкания грунтовых с оросительными водами и избежать вторичного засоления почв в случае их повышенной минерализации и обеспечить оптимальный водно-солевой режим почв.

Также реконструкция существующих поливных карт Краснодарского и Кубанского типа позволит контролировать окислительно-восстановительные процессы в корнеобитаемом слое почвы в течение года, что существенно улучшит агресурсный потенциал рисовых агроландшафтов (таблица 1-3).

Таблица 1 – Изменение мелиоративного состояния почв рисовых чеков в агрофирме «Ачуевская» Славянского района Краснодарского края

Table 1 – Changes in the reclamation state of rice paddy soils in the agricultural firm "Achuevskaya" of the Slavyansk district of the Krasnodar Region

Номер / Характеристика чеков / Cheque Number / Characteristics	Глубина отбора, см / Depth of sampling, cm	N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гумус, % / Humus, %
Поле 1 / по способу / Field 1 / By Method	0-5	1,92	0,48	11,1	6,9	2,55
	5-10	1,80	0,45	11,0	6,9	
Поле 1 / контроль / Field 1 / Control	0-5	1,42	0,38	10,8	6,9	2,32
	5-10	1,37	0,38	10,0	6,7	
Поле 2 / по способу / Field 2 / By Method	0-5	2,12	1,09	10,4	5,6	2,68
	5-10	2,07	1,04	10,3	5,4	
Поле 2 / контроль / Field 2 / Control	0-5	1,17	0,69	10,3	5,5	2,41
	5-10	1,16	0,66	10,1	5,1	

Таблица 2 – Изменение агро-мелиоративного состояния и плодородия почв рисовых чеков в агрофирме «Ачуевская» Славянского района Краснодарского края

Table 2 – Changes in the agro-reclamation state and soil fertility of rice checks in the agricultural firm "Achuevskaya" of the Slavyansky district of the Krasnodar Region

Номер / характеристика чеков / Cheque Number/Characteristics	Глубина отбора, см / Depth of sampling, cm	Степень вы- равнивания, см / Degree of equalization, cm	N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гумус, % / Hu- mus, %
Поле 1 / по способу / Field 1 / By Method	0-5	±50	1,89	0,57	13,8	7,3	2,20
	5-10		1,80	0,52	13,1	7,3	
Поле 1 / контроль / Field 1 / Control	0-5	±100	1,67	0,38	11,0	6,3	2,08
	5-10		1,65	0,35	10,2	5,5	
Поле 2 / по способу / Field 2 / By Method	0-5	±50	2,19	1,10	11,4	6,1	2,86
	5-10		2,15	1,04	11,3	5,8	
Поле 2 / контроль / Field 2 / Control	0-5	±90	1,11	0,42	10,8	5,8	2,01
	5-10		1,14	0,46	10,0	5,0	

Таблица 3 – Изменение мелиоративного состояния почв рисовых чеков в агрофирме «Ачуевская» Славянского района Краснодарского края
Table 3 – Changes in the reclamation state of rice soils in the agricultural firm "Achuevskaya" of the Slavyansk district of the Krasnodar Region

Номер / способ Number/Method	Глубина отбора, см / Depth of sampling, cm	Содержание агрегатов 0,25-10мм, % от массы воздушно-сухой поч- вы / Aggregate content 0.25-10 mm, % of air-dry soil weight	Сумма водопрочных аг- регатов >0,25мм, % / Sum of water-resistant units >0.25 mm, %
Поле 1 / по способу / Field 1 / By Method	0-5 5-10	49,5 43,6	32,8 30,6
Поле 1 / контроль / Field 1 / Control	0-5 5-10	38,8 30,9	29,2 27,4
Поле 2 / по способу / Field 2 / By Method	0-5 5-10	52,7 52,4	36,7 35,9
Поле 2 / контроль / Field 2 / Control	0-5 5-10	41,2 36,6	31,7 27,8

Таблица 4 – Количественные, качественные и биологические характеристики сорта риса Рапан 2 в агрофирме «Ачуевская» Славянского района Краснодарского края
Table 4 – Quantitative, qualitative and biological characteristics of the Rapan 2 rice variety in the agricultural firm "Achuevskaya" of the Slavyansk district of the Krasnodar Region

№ п/п	Наименование / Name	Годы исследований / Years of research			
		1	2	3	4
1	Вегетационный период / Growing season				
	- по новой технологии / using a new technology	119	118	118	117
	- контроль / control	120	119	119	119
2	Высота растения, см / Plant height, cm				
	- по новой технологии / using a new technology	93,6	93,7	94,4	94,9
	- контроль / control	85,8	86,3	86,5	86,9
3	Длина метелки, см / Panicle length, cm				
	- по новой технологии / using a new technology	16,4	16,4	16,8	17,3
	- контроль / control	15,3	15,5	15,7	15,9
4	Число колосков в метелке, шт. / Number of spikelets in a panicle, pcs.				
	- по новой технологии / using a new technology	197	197	202	208
	- контроль / control	184	186	188	191
5	Число зерен, шт. / Number of grains, pcs.				
	Общее / Total				
	- по новой технологии / using a new technology	188	190	193	198
	- контроль / control	70	70	73	75
	Пустых / Empty				
6	Пустозерность, % / Hollowness, %				
	- по новой технологии / using a new technology	2,1	2,1	1,6	1,0
	- контроль / control	5,7	5,7	4,1	2,7
7	Отношение длины зерновки к ширине (l/b) / Ratio of caryopsis length to width (l/b)	2,2	2,2	2,2	2,3
	Масса г/растение: / Weight, g/plant:				
	Зерна / Grain				
	- по новой технологии / using a new technology	7,5	7,6	7,7	7,9
	- контроль / control	2,8	2,8	2,9	3,0
9	Соломы / Straw				
	- по новой технологии / using a new technology	7,1	7,3	7,3	7,4
	- контроль / control	2,6	2,6	2,6	2,6
9	Отношение соломы: зерно / Ratio Straw: Grain				
	- по новой технологии / using a new technology	0,92	0,93	0,88	0,85
	- контроль / control	0,95	0,96	0,95	0,94
10	Урожайность (1 поле по способу), т/га / Yield (1 field by method), t/ha	88,2	88,2	88,3	88,5
11	Урожайность (1 поле контроль), т/га / Yield (1 field control), t/ha	67,9	67,0	68,9	68,1
12	Урожайность (2 поле по способу), т/га / Yield (2 field by method), t/ha	88,2	88,3	88,3	88,4
13	Урожайность (2 поле контроль), т/га / Yield (2 field control), t/ha	66,2	69,8	68,0	67,9

Таблица 5 – Урожайность сопутствующей культур

Table 5 – Yield of co-crops

Урожайность промежуточных культур рисового севооборота, т/га / Yield of catch crops of rice crop rotation, t/ha					
Озимая пшеница на зерно (контроль) / Winter wheat for grain (control)	Озимая пшеница на зерно (по способу) / Winter wheat for grain (by method)	Рожь (контроль) / Rye (control)	Рожь (по способу) / Rye (by method)	Рапс (контроль) / Rapeseed (control)	Рапс (по способу) / Rape- seed (by method)
3,1	4,8	26,6	34,1	24,0	28,2

Апробация наших исследований подтверждает эффективность новой поливной карты, которая заключается в снижении оросительной нормы, улучшении гранулометрического состава пахотного горизонта.

Использование математической выбора наиболее оптимального состояния системы по различным вариантам намечаемых работ на рисовой оросительной системе позволяет снизить время принимаемых управленческих решений и повысить их результативность.

Заключение. В результате внедрения новых технологий возделывания риса в агрофирме «Ачуевская» Славянского района Краснодарского края были получены положительные результаты [21-23], которые выражаются в сокращении оросительной нормы в среднем за годы исследований в 5 раз (3,5 тыс. м³/га). Что, в свою очередь, привело к экономии электроэнергии на сбросных насосных станциях на 20%. Также было получено снижение дозы внесения пестицидов и гербицидов на 40-45%, что позволило снизить на 5% себестоимость производства риса и снизить загрязнение дренажных вод на 10%.

Улучшение гранулометрического состава почвы выразилось в увеличении на 10% в слое 0-20 см агрегатов почвы диаметром 0,25-10 мм.

Улучшение NPK характеризовалось в увеличении содержания в пахотном горизонте гидролизуемого азота на 1,1%, подвижного фосфора – 0,16%, подвижного калия – 1,32%, при этом содержание гумуса в пахотном горизонте повысилось на 0,08%.

Использование новой конструкции рисовой поливной карты позволило снизить риски возникновения вторичного засоления на рисовых чеках путем понижения уровня грунтовых вод на 30-40 см, а также обеспечить оптимальное протекание окислительно-восстановительных процессов в корнеобитаемом слое в течение года.

Использование математической модели позволило оптимизировать выполняемый комплекс технологических операций на рисовой оросительной системе, что выразилось в снижении его трудоемкости на 15%.

Прибавка урожая риса, от применения рекомендуемой методики, выразилась в увеличении урожайности риса на 13%, а сопутствующих и зимующих культур рисового севооборота в среднем по всем культурам – 65-85%.

Данная технология возделывания риса позволит разработать комплексную многоуровневую методологию возделывания риса с соблюдением всех технико-технологических требований предъявляемых к выращиванию культуры риса, а также по охране окружающей среды, что позволит не только сбалансировать почвенный баланс микро и макроэлементов почвы, окислительно-восстановительный потенциал, но и агресурсный потенциал рисовых агроландшафтов.

Conclusions. As a result of the introduction of new technologies for cultivating rice in the agricultural firm "Achuevskaya" of the Slavyansky district of the Krasnodar Territory [21-23], positive results were obtained, which are expressed in: a reduction in the irrigation rate on average over the years of research by 5 times and which was about 3.5 thousand m³/ha, which in turn, allowed to save electricity at waste pumping stations by 20%. A 40-45% reduction in the application rate of pesticides and herbicides was also obtained, which made it possible to reduce the cost of rice production by 5% and reduce drainage water pollution by 10%.

The improvement in the granulometric composition of the soil was expressed in a 10% increase in soil aggregates with a diameter of 0.25 – 10 mm in the 0-20 cm layer.

The improvement in NPK was characterized by an increase in the content of hydrolyzable nitrogen in the arable horizon by 1.1%, mobile phosphorus – 0.16%, mobile potassium – 1.32%, while the humus content in the arable horizon increased by 0.08%.

The use of a new design of a rice irrigation map made it possible to reduce the risks of secondary salinization in rice paddies by lowering the groundwater level by 30-40 cm, as well as to ensure the optimal occurrence of redox processes in the root layer throughout the year.

The use of a mathematical model made it possible to optimize the complex of technological operations performed on the rice irrigation system, which resulted in a reduction in its labor intensity by 15%.

The increase in rice yield from the application of the recommended methodology was expressed in an increase in rice yield by 13%, and the accompanying and wintering crops of rice crop rotation on average for all crops – 65-85%.

This technology for cultivating rice will allow us to develop a comprehensive multi-level methodology for cultivating rice in compliance with all technical and technological requirements for growing rice crops, as well as for environmental protection, which will not only balance the soil balance of micro and macroelements of the soil, redox potential, but also agroresource potential of rice agricultural landscapes.

Библиографический список

1. Щедрин В. Н., Васильев С. М., Акопян А. В., Слабунов В. В. Управление водораспределением на открытых оросительных системах на основе гидрологической информации и агрометеопараметров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 2(34). С. 152-158.
2. Дубенок Н. Н., Болотин Д. А., Новиков А. А., Болотин А. Г. Эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3(51). С. 83-90.
3. Волосухин В. А., Бандурин М. А., Приходько И. А. Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края. Природообустройство. 2022. № 4. С. 50-56.
4. Бородычев В. В., Лытов М. Н., Цыбулин В. В. Инновационные приёмы возделывания горчицы сарептской в системе рисового севооборота. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 4 (32). С. 8-12.
5. Дубенок Н. Н. Состояние и перспективы развития мелиорации земель в Российской Федерации. Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 2. С. 27-32.
6. Хецуриани Е. Д., Васильев С. М. Научные концепции создания природоподобных технических систем в мелиоративной отрасли. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 526-536.
7. Раткович Е. Л., Добрачев Ю. П., Бубер А. А. Теоретические подходы к оптимизации водопользования на рисовых оросительных системах Нижней Кубани. Орошаемое земледелие. 2022. № 2. С. 18-22.
8. Малышева Н. Н., Якуба С. Н., Хаджиди А. Е. К вопросу развития мелиорации в степной зоне Краснодарского края. Рисоводство. 2021. № 4 (53). С. 66-73.
9. Малюга Н. Г., Гаркуша С. В., Василько В. П. и др. Сбалансированная биологизированная система земледелия - основа сохранения плодородия и высокой продуктивности черноземов Кубани. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 52. С. 125-129.
10. Кирейчева Л. В., Супрун В. А. Очистка дренажных вод - важное направление водосбережения в орошаемом земледелии. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 65-71.
11. Овчинников А. С., Бородычев В. В., Дедова Э. Б., Сазанов М. А. Мониторинг водных ресурсов республики Калмыкия и проблемы экосистемного водопользования в агропромышленном комплексе. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3 (39). С. 9-19.
12. Бандурин М. А., Приходько И. А., Комсюкова Я. А. Совершенствование технологии возделывания риса без применения гербицидов в связи с климатическими изменениями на юге России. Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 3 (393). С. 306-310.
13. Гераськина Т. В., Бандурин М. А., Приходько И. А. Совершенствование технологии водопользования на рисовых системах для устойчивого рисоводства. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 4. С. 114-130.
14. Degtyareva O. G., Safronova T. I., Rudchenko I. I., Prikhodko I. A. Nonlinearity account in the foundation soils when calculating the piled rafts of buildings and constructions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kislovodsk, 2019. V. 698 (2). P. 022015.
15. Малышева Н. Н., Якуба С. Н. Развитие мелиорации на Кубани и рациональное водопользование при орошении риса. Рисоводство. 2017. № 4 (37). С. 47-56.
16. Дедова Э. Б., Шабанов Р. М., Дедов А. А. Пути повышения эффективности функционирования рисовой оросительной системы на территории Сарпинской низменности. Colloquium-Journal. 2019. № 5-2 (29). С. 37-38.
17. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Ольгаренко И. В. и др. Программный комплекс планирования водопользования для оросительных систем на основе информационных технологий. Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 5. С. 39-43.
18. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В., Селюков В. И. Компьютерная технология планирования водопользования в оросительных системах. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 4. С. 12-15.
19. Волосухин В. А., Бандурин М. А. Проблемные вопросы реализации мониторинга водопользования на юге России в условиях роста техногенных нагрузок и климатических изменений. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017. № 2-1 (24). С. 113-123.
20. Ольгаренко И. В. Оценка качества планирования и реализации водопользования на оросительных системах. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009. № 4. С. 35-37.

21. Prikhodko I., Vladimirov S., Alexandrov D. Development of modern technology of rice cultivation on rice engineering irrigation systems in the Krasnodar Territory. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tashkent, 2021. P. 012033.

22. Prikhodko I., Vladimirov S., Alexandrov D. Transition to new 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: EDP Sciences, 2021. Vol. 273.

23. Prikhodko I., Vladimirov S., Alexandrov D. 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. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. V. 273.

References

1. Shchedrin V. N., Vasilyev S. M., Akopyan A. V., Slabunov V. V. Water Distribution Management on Open Irrigation Systems Based on Hydrological Information and Agrometeorological Parameters. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2014. № 2 (34). Pp. 152-158.

2. Dubenok N. N., Bolotin D. A., Novikov A. A., Bolotin A. G. Efficiency of Water Resources Use in Irrigated Agriculture. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2018. № 3 (51). Pp. 83-90.

3. Volosukhin V. A., Bandurin M. A., Prikhodko I. A. Climate Change: Causes, Risks for the Water Management Complex of the Krasnodar Region. Environmental Management. 2022. № 4. Pp. 50-56.

4. Borodichev V. V., Lytov M. N., Tsybulin V. V. Innovative Methods of Cultivating Sarepta Mustard in the System of Rice Crop Rotation. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2023. № 4 (32). Pp. 8-12.

5. Dubenok N. N. State and Prospects for the Development of Land Reclamation in the Russian Federation. Land reclamation and water management. 2017. № 2. Pp. 27-32.

6. Khetsuriani E. D., Vasil'ev S. M. Scientific Concepts for the Creation of Nature-Like Technical Systems in the Land Reclamation Industry. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2022. № 2 (66). Pp. 526-536.

7. Ratkovich E. L., Dobrachev Y. P., Buber A. A. Theoretical Approaches to Optimization of Water Use in Rice Irrigation Systems of the Lower Kuban. Irrigated agriculture. 2022. № 2. Pp. 18-22.

8. Malysheva N. N., Yakuba S. N., Khadzhibi A. E. On the Issue of Development of Land Reclamation in the Steppe Zone of the Krasnodar Territory. Rice farming. 2021. № 4 (53). Pp. 66-73.

9. Malyuga N. G., Garkusha S. V., Vasil'ko V. P., et al. Balanced biologized farming system is the basis for preserving fertility and high productivity of Kuban chernozems. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2015. № 52. Pp. 125-129.

10. Kireycheva L. V., Suprun V. A. Drainage Water Purification as an Important Direction of Water Saving in Irrigated Agriculture. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2023. № 2 (70). Pp. 65-71.

11. Ovchinnikov A. S., Borodichev V. V., Dedova E. B., Sazanov M. A. Monitoring of Water Resources of the Republic of Kalmykia and Problems of Ecosystem Water Use in the Agroindustrial Complex. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2015. № 3 (39). Pp. 9-19.

12. Bandurin M. A., Prikhodko I. A., Komsyukova Y. A. Improvement of rice cultivation technology without the use of herbicides in connection with climatic changes in the south of Russia. International Journal of Agriculture. 2023. № 3 (393). Pp. 306-310.

13. Geraskina T. V., Bandurin M. A., Prikhodko I. A. Improvement of Water Use Technology in Rice Systems for Sustainable Rice Farming. Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. V. 13. № 4. Pp. 114-130.

14. Degtyareva O. G., Safronova T. I., Rudchenko I. I., Prikhodko I. A. Nonlinearity account in the foundation soils when calculating the piled rafts of buildings and constructions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kislovodsk, 2019. V. 698 (2). P. 022015.

15. Malysheva N. N., Yakuba S. N. Development of Land Reclamation in the Kuban and Rational Water Use in Rice Irrigation. Rice farming. 2017. № 4 (37). Pp. 47-56.

16. Dedova E. B., Shabanov R. M., Dedov A. A. Ways to Improve the Efficiency of the Functioning of the Rice Irrigation System in the Territory of the Sarpinskaya Lowland. Colloquium-Journal. 2019. № 5-2 (29). Pp. 37-38.

17. Olgarenko V. I., Olgarenko G. V., Olgarenko I. V., et al. Software Complex for Water Use Planning for Irrigation Systems Based on Information Technologies. Land reclamation and water management. 2017. № 5. Pp. 39-43.

18. Olgarenko V. I., Olgarenko I. V., Selyukov V. I. Computer Technology of Water Use Planning in Irrigation Systems. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2012. № 4. Pp. 12-15.

19. Volosukhin V. A., Bandurin M. A. Problematic Issues of Water Use Monitoring Implementation in the South of Russia in the Context of Growth of Technogenic Loads and Climatic Changes. Bulletin of the Don State Agrarian University 2017. № 2-1 (24). Pp. 113-123.

20. Olgarenko I. V. Assessment of the Quality of Planning and Implementation of Water Use in Irrigation Systems. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2009. № 4. Pp. 35-37.

21. Prikhodko I., Vladimirov S., Alexandrov D. Development of modern technology of rice cultivation on rice engineering irrigation systems in the Krasnodar Territory. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tashkent, 2021. P. 012033.

22. Prikhodko I., Vladimirov S., Alexandrov D. Transition to new 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: EDP Sciences, 2021. Vol. 273.

23. Prikhodko I., Vladimirov S., Alexandrov D. 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. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. V. 273.

Информация об авторах

Бандурин Михаил Александрович, доктор технических наук, доцент, Заслуженный изобретатель РФ, декан факультета гидромелиорации, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, e-mail: chepura@mail.ru

Приходько Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, e-mail: prihodkoigor2012@yandex.ru

Гераскина Татьяна Вадимовна, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2471-8774>, e-mail: georg-geraskin@mail.ru

Author's Information

Bandurin Mikhail Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor of the Higher Attestation Commission, Honored Inventor of the Russian Federation, Dean of the Faculty of Hydromelioration of the Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin st., 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, e-mail: chepura@mail.ru

Prihodko Igor Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Higher Attestation Commission, Head of the Department of Construction and Operation of Water Management Facilities of the Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin st., 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, e-mail: prihodkoigor2012@yandex.ru

Geraskina Tatyana Vadimovna, PhD student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin st., 13), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2471-8774>, e-mail: georg-geraskin@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-37

DEGREE OF EXTRACTION OF CHEMICAL IMPURITIES WHEN OPTIMIZING THE DESIGN PARAMETERS OF SORPTION LOADING

Bocharnikov V. S., Denisova M. A., Tronev S. V., Ovchinnikov A. S., Bocharnikova O. V., Kozinskaya O. V.

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Received 24.02.2024

Submitted 26.03.2024

Summary

The optimization of the design parameters of the sorption loading of the filter is considered based on a mathematical regression model and laboratory experimental data.

Abstract

Introduction. The problem of pollution of rivers and lakes by wastewater is a complex and multifaceted object of scientific analysis. Wastewater is the source of a variety of anthropogenic impacts on aquatic ecosystems that lead to deterioration of water quality, loss of biodiversity, threats to human health and loss of economic value of water resources. To minimize the negative consequences of wastewater pollution, it is necessary to develop and implement effective technologies for the treatment and reuse of wastewater, as well as to improve management and control systems for their volume and quality. **Object.** The object of the study is wastewater contaminated with heavy metals. **Materials and methods.** Factors were identified to optimize the design parameters of the sorption load. Based on algorithmic, theoretical and laboratory studies, data were obtained for the regression equation using the Reichschaffner method. Also, a chemical analysis of the test water was carried out in laboratory conditions, where a concentration was determined that exceeded sanitary standards for total iron and copper. An experiment was carried out using the settling method at various time intervals to determine the dynamics of a decrease or increase in the concentration of the studied chemical elements. **Results and conclusions.** Based on the results of solving the regression equation, data were obtained in laboratory conditions with the help of which the coefficients B_0 , B_i , B_{ij} and B_{ii} were calculated. To check the accuracy of the obtained coefficients using the Student method, we re-calculated the regression model in which these equations were obtained in encrypted form, the accuracy of the resulting models was checked using the Fisher criterion, which is not a random factor. When conducting an experiment in laboratory conditions by settling zeolite in fractions from 0.4 cm to 0.75 cm in time intervals from 1 hour to 4 hours, the best result was a time interval of 4 hours, which showed a decrease in the concentration of total iron and copper by 71%, which corresponds to mathematical calculations and proves the purity of the experiment.

Keywords: wastewater, chemical impurity absorption, sewage treatment, zeolite, wastewater treatment technology.