Научная статья
УДК 631.6
doi: 10.55186/25876740_2025_68_2_186

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАЮЩЕГО ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ, ТЕХНОГЕННЫХ УГРОЗ И КЛИМАТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НА ЮГЕ РОССИИ

И.А. Приходько, Г.А. Молчанова, Р.В. Огаджанян

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

Аннотация. Устаревшие технологии, нехватка ресурсов и/или их нерациональное использование, наряду с растущим дефицитом пресной воды и сокращением площадей земель сельскохозяйственного назначения, приводят к дестабилизации продовольственной безопасности России. Для обеспечения продовольственной безопасности России необходимо разработать модель хозяйственной деятельности на базе научно обоснованной ресурсосберегающей методики по принятию своевременных управленческих решений для работников агропромышленного комплекса. Цель исследований — разработка научно обоснованной системы управления рисовой оросительной системой. Объект исследований — сельскохозяйственный мелиоративный комплекс, включающий защиту агроландшафтов от антропогенной нагрузки путем управления ресурсами с помощью математических моделей. Предмет исследований — закономерности влияния ресурсосберегающей модели в производственной деятельности на урожайность и агроресурсный потенциал почв мелиоративной системы, алгоритм проектирования ландшафтно-мелиоративных систем нового поколения для стоимостной оценки негативных последствий, рисков и ущербов, вероятностная модель процесса снижения стоимости намечаемого мероприятия при непрерывном и ступенчатом изменении стоимости мероприятий, модель хозяйственной деятельности на рисовых оросительных системах в условиях неопределенности. Для выбора эффективных природоподобных технологий в условиях возрастающего дефицита водных ресурсов, техногенных угроз и климатических аномалий на Юге России предлагается использовать математическую модель функционирования рисовой оросительной системы, основанную на методе когнитивного моделирования, включающего основные факторы управления и поддержки принятия решений по управлению действующей рисовой оросительной системой. Использование модели позволит не только сократить время принятия управленческих решений, но и снизить стоимость, трудоемкость и ресурсоемкость производства риса, что, несомненно, приведет к укреплению рисосеющей отрасли на рынке России и повысит ее продовольственную безопасность.

Ключевые слова: рис, математическая модель, мелиорация, рисовые системы, цена мелиоративного мероприятия

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

Original article

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF FUNCTIONING OF A RICE IRRIGATION SYSTEM FOR THE SELECTION OF EFFECTIVE NATURE-LIKE TECHNOLOGIES IN THE CONDITIONS OF INCREASING SCARCITY OF WATER RESOURCES, MAN-MADE THREATS AND CLIMATIC ANOMALIES IN THE SOUTH OF RUSSIA

I.A. Prikhodko, G.A. Molchanova, R.V. Ogadzhanyan

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

Abstract. Outdated technologies, lack of resources and/or their irrational use along with the growing shortage of fresh water and reduction of agricultural land areas lead to destabilization of food security in Russia. To ensure food security in Russia, it is necessary to develop a business model based on a scientifically sound resource-saving methodology for making timely management decisions for workers in the agro-industrial complex. Research objective — development of a scientifically sound management system for a rice irrigation system. Research object — agricultural melioration complex, including protection of agro-landscapes from anthropogenic load by managing resources using mathematical models. Research subject — patterns of influence of resource-saving model in production activity on productivity and agro-resource potential of soils of melioration system, algorithm of designing landscape-melioration systems of new generation for cost assessment of negative consequences, risks and damages, probabilistic model of process of reduction of cost of the planned event with continuous and step change of cost of events, model of economic activity on rice irrigation systems under conditions of uncertainty. To select effective nature-like technologies under conditions of increasing deficit of water resources, man-made threats and climatic anomalies in the South of Russia it is proposed to use mathematical model of functioning of rice irrigation system, based on method of cognitive modeling, including main factors of management and support of decision-making on management of the existing rice irrigation system. Use of the model will allow not only to reduce time of adoption of management, but also to reduce cost, labor intensity and resource intensity of rice production, which will undoubtedly lead to strengthening of rice-growing industry on the market of Russia and will increase its food security.

Keywords: rice, mathematical model, melioration, rice systems, cost of melioration measures

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

Введение. В настоящее время в рисосеющей отрасли на Юге России возникают проблемы, которые требуют немедленной проработки и глубокого анализа со сменой традиционных методов, способов и технологий возделывания риса. А именно — наблюдаемый дефицит поливной воды и климатические аномалии на Юге России не позволяют засеивать потенциально пригодные площади под рис. Так, из 240 тыс. га рисовых оросительных систем под рис заливают не более 117 тыс. га, а после аварии на Федоровском гидроузле в 2022 г. эти площади еще

© Приходько И.А., Молчанова Г.А., Огаджанян Р.В., 2025

сократились. Следовательно, в рамках президентского поручения поставлена задача, увеличить производство агропродукции на 50% по отношению к уровню 2021 г., в том числе к 2030 г. Краснодарскому краю необходимо увеличить объемы ежегодного сбора риса до 1,3 млн т. Для этого придется нарастить площадь посевов до 150 тыс. га, что невозможно сделать без комплексного подхода, на базе природоподобных технологий, способствующих снижению оросительной нормы риса путем использования ресурсосберегающих технологий.

Урожайность и качество получаемого зерна напрямую зависит от агротехнологии, поэтому управление мелиоративным состоянием — это приоритетная задача, решение которой должно базироваться на комплексном подходе. Комплексный подход — есть результат обработки многолетних статистических данных мониторинга по основным критериям и показателям, влияющих на итог сельскохозяйственной деятельности, а именно на урожайность сельскохозяйственных культур.

Таким подходом может быть формирование единого базового центра планирования, мониторинга и выработки общей национальной стратегии развития регионов, в основе которого будут лежать фундаментальные основы возделывания риса, многолетние и текущие данные о мелиоративном состоянии почв хозяйств регионов, а также о материально-технических ресурсах, которыми располагают хозяйства.

Ключом к успеху решения поставленных руководством страны задач является разработка математических моделей, учитывающих хозяйственную деятельность на рисовых оросительных системах в многолетнем разрезе, выполнение которой без выполнения предупреждающих комплексных мелиораций неизбежно приводит к снижению агроресурсного потенциала почв, убыточности производства сельскохозяйственной продукции, а также снижению урожайности и его качества.

Основой сельскохозяйственного производства является орошаемое земледелие, основным видом мелиорации является орошение, в связи с этим основным направлением мелиорации рисовых оросительных систем является совершенствование орошаемого земледелия и, в первую очередь, переустройство существующих мелиоративных систем.

Пересмотр системы земельных отношений и применение многоукладности в экономике определяют цели, задачи и основные направления мелиорации сельскохозяйственных земель в водохозяйственно-ирригационном комплексе Юга России. Так как мелиорация — это качественное изменение сельскохозяйственных земель в нужном для пользователя направлении, то в результате мелиорации земля приобретает новое качество, новую ценностную характеристику.

Мелиорация увеличивает потребительную стоимость сельскохозяйственных земель, делает их более эффективным средством производства. С другой стороны, потребительная стоимость земли является носителем прибавочной стоимости, которая будет присваиваться пользователем. Исходя из многоукладности экономики, сельскохозяйственные земли являются народным достоянием и находятся во владении или пользовании отдельных лиц или коллективов. В связи с этим в улучшении земель должны быть заинтересованы и государство, выражающее интересы народа, и отдельные землевладельцы с соответствующим правом на часть прибавочной стоимости, мелиоративной ренты, возникающей в результате осуществления мелиорации.

Следовательно, мелиорации на рисовых оросительных системах должны быть комплексными, включать рассмотрение всех негативных эколого-мелиоративных последствий и согласовываться с поставленными руководством страны задачами.

Основная часть. Допустим, что производство риса — это некий системный процесс, который позволяет осуществлять функции управления и контроля за производством сельскохозяйственной продукции, то есть, другими словами, это некий мелиоративный режим, правильное осуществление которого позволит достигать поставленных перед ними руководством страны задач. Тогда мелиорация сельскохозяйственных земель должна осуществляться за счет средств государства и землевладельцев, причем последние, получив в свое владение мелиорированные земли, налоговыми правилами должны быть поставлены в ситуацию, обеспечивающую наиболее эффективное использование земель.

Анализ причин неудовлетворительного состояния земельного фонда и сельскохозяйственного производства, в том числе и на мелиорированных землях рисовых оросительных систем, приводит к выводам, что система мелиоративных мероприятий осуществляется не комплексно; недостаточно учитываются почвенно-климатические, гидротермические, биохимические и социально-экономические условия. В результате не достигается главная цель — полное мелиоративное обустройство сельскохозяйственных земель, снижается эффективность отдельно выполненных мероприятий и наносится значительный ущерб окружающей среде и, в первую очередь, почве.

Поэтому все проводимые на рисовой оросительной системе мелиорации должны учитывать все природно-климатические, материально-технические и технико-технологические особенности хозяйства, формулироваться с помощью математического анализа и многолетнего опыта возделывания риса в каждом отдельном хозяйстве и включать рассмотрение всех негативных эколого-мелиоративных последствий, в том числе оптимизацию мелиоративных режимов с целью улучшения сельскохозяйственных угодий.

Комплексная мелиорация рисовых оросительных систем включает решение следующих задач:

- снижение оросительных норм;
- соблюдение температурного режима почвы;
- сохранение и повышение мелиоративного состояния почв, в том числе проведение комплекса агроприемов для защиты почвы от деградации;
- борьба с засолением, заболачиванием и подкислением земель;
- зашита почв от загрязнения;
- «умное» управление питательными режимами;
- рекультивация;
- обеспечение положительного баланса гумуса;
- переустройство существующих мелиоративных систем, дальнейшее развитие способов орошения;
- повышение урожайности и качества получаемого зерна риса, получение сельскохозяйственной продукции требуемого качества;
- оптимизация использования природных и материальных ресурсов;
- охрана окружающей среды и устойчивость рисовой оросительной системы.

Поэтому, исходя из существа проблем, мелиорация земель, в том числе рисовых оросительных систем, должна включать мероприятия по регулированию потоков вещества и энергии в приземном слое атмосферы, в почве, растениях и грунтовых водах, на что обращали внимание основоположники мелиорации В.В. Докучаев, А.И. Воейков, А.Н. Костяков. При проведении мелиорации надо рассматривать «единую цельную и нераздельную природу, а не отдельные ее части» (В.В. Докучаев). Отечественный и зарубежный опыт мелиорации сельскохозяйственных земель показывает, что регулирование потоков вещества и энергии в одном из упомянутых блоков и тем более одного из потоков (например, только водного режима) неприемлемо, так как формирование эколого-мелиоративных условий является результатом совместных действий процессов, происходящих в приземном слое атмосферы, в почве, растениях и грунтовых водах. Следовательно, для получения оптимально управленческого решения в процессе производства риса требуется всесторонний, комплексный подход, что, в свою очередь, зависит от социально-экономических и экологических факторов, а соотношение различных видов мелиораций определяется требуемым мелиоративным режимом.

Необходимость переустройства мелиоративных систем вытекает из заявленных ценностей — улучшение среды обитания человека — и заключается в увеличении урожайности и производства сельскохозяйственной продукции, повышении технического уровня мелиоративных систем, улучшении эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель, увеличении КПД систем, совершенствовании техники полива, оптимизации мелиоративных режимов, реконструкции и строительстве дренажа для создания благоприятных условий для окислительно-восстановительных процессов в корнеобитаемом слое рисовых чеков, прекращении использования для полива вод повышенной минерализации, устройстве лесных полезащитных полос, интенсификации сельскохозяйственного производства, сокращении затрат водных ресурсов на производство единицы продукции, управлении объемом дренажного стока и улучшении экологического состояния водных источников.

Наряду с водными мелиорациями необходимо выполнить комплекс агротехнических и агрохимических мероприятий, включающих изменение структуры использования орошаемых земель и системы применения минеральных удобрений, ядохимикатов и пестицидов.

Следовательно, выбор показателей мелиоративного режима должен основываться на следующих общих критериях:

- должно учитываться как влияние, так и взаимовлияние природно-климатическое, почвенно-гидрологическое, гидрогеологическое, технико-технологическое на качество и количество получаемого зерна;
- на основе полученных количественных характеристик влияния и взаимовлияния природно-климатическое, почвенно-гидроло-

гическое, гидрогеологическое, технико-технологическое на качество и количество получаемого зерна выполнять прогноз изменения мелиоративного состояния почв и урожайности риса.
– должны быть учтены природно-климатические особенности региона;
– должны быть учтены биологические особенности сельскохозяйственных культур (биоклиматический метод Я.В. Шабанова).

Результаты.

Методические подходы построения математической модели функционирования водохозяйственных систем. Помимо обобщенной стратегической цели управление водными ресурсами имеет множество локальных целей в сфере проектирования и эксплуатации водохозяйственных систем, а именно — выполнение природоохранных функций, гарантированное водообеспечение отраслей экономики. Эти положения подчеркнуты в трудах Л.Д. Ратковича.

Следовательно, разработка количественных методов обоснования выбора конструктивно-технологических параметров и эксплуатационных мероприятий на рисовой оросительной системе актуальная задача.

Средняя цена достижения системой удовлетворительного состояния (при непрерывном изменении цены). Будем считать, что затраты на выполнения агроприемов в процессе производства риса представляют собой пуассоновский поток постоянной интенсивности λ, тогда в математической модели стоимость проведенных агроприемов $S(t)$ будет изменяться непрерывно со временем t. Такими мероприятиями могут считаться: комплекс механизированных почвообрабатывающих мероприятий, обработка растений, внесение удобрений, то есть выполнение агротехноприемов, прямопропорционально влияющих на мелиоративное состояние почв.

Следовательно, запишем в виде математической модели процесс снижения цены намечаемого мероприятия при выполнении производственно-хозяйственной деятельности на рисовых оросительных полях.

Рассмотрим первый вариант, который подразумевает непрерывный по времени t процесс снижения стоимости проведения агротехприемов $S(t)$ на рисовой оросительной системе.

Осуществление агротехприемов на рисовой оросительной системе приводит систему до определенного состояния с вероятностью $R(S)$, разумеется, зависящей от цены $S(t)$. Далее будем считать, что $R(S)$ есть монотонно убывающая функция, так что со снижением цены агроприемов на рисовой оросительной системе вероятность достижения ущерба (или возникновения риска) возрастает. Допустим, что существует некоторая минимальная цена $S(m)$, так что $R(S_m)=1$, то есть по этой цене отмечается всегда наступление ущерба (или возникновения риска) мелиоративному состоянию почв и окружающей среде.

Для лучшего понимания процесса наступления данного состояния дадим характеристики цены. Условно примем, что достижение требуемого (запрограммированного) состояния показателя или критерия будет достигнуто некоторой ценой S_e, величина которой будет случайной величиной. Будем называть цену, по которой состояние будет достигнуто, ценой состояния объекта и обозначать ее S_e.

Рассмотрим вероятностные характеристики цены состояния объекта S_e.

Математическое ожидание цены состояния объекта:

$$m_{1S}(S)=S-\int_{S_m}^{S} exp\left(-\int_{y}^{S} g(x)dx\right)dy \qquad (1)$$

Второй начальный момент цены состояния объекта:

$$D(S_e|S(t)=S)=m_{2S}(S)-m_{1S}^2(S)$$

Распределение вероятностей цены состояния объекта:

$$p_S(S_e)=\delta(S_e-S_m)\exp\left(-\int_{S_m}^{S} g(x)dx\right)+g(S_e)\exp\left(-\int_{S_e}^{S} g(x)dx\right), \qquad (2)$$

где S — цена намечаемых мероприятий,

$$g(S)=\lambda R(S)/a(S),\ a(S)=-\left.\frac{dS}{dt}\right|_{t=t(S)}$$

Полученное выражение дает явный вид плотности вероятностей цены удовлетворительного состояния объекта. При этом надо иметь в виду, что S_e изменяется в пределах

$$S_m<S_e<S_{max}.$$

Так как исследуемый нами объект — рисовую оросительную систему необходимо рассматривать как объект с длительным сроком эксплуатации, то и эффект от принимаемых управленческих решений по выполнению агротенологических мероприятий тоже должен рассматриваться в многолетнем плане. Следовательно, ключом к управлению рисовыми оросительными системами служат данные, собираемые при выполнении непрерывного мониторинга в рисосеющих хозяйствах Юга России. Так как все показатели и критерии (почвенные, климатические, техногенные) являются величинами случайными, то для формирования управленческих решений требуется использовать вероятностный подход.

Поэтому в проведенных нами исследованиях предлагается вероятностная модель процесса снижения цены (или возникновения рисков) при выполнении агротехприемов на рисовой оросительной системе для разработки новых элементов природоподобных технологий.

Рассмотрим решение оптимизационной задачи. Целевой функцией процесса производства риса является получение максимальной прибыли, при учете всех неблагоприятных факторов (состояний) рисовой оросительной системы. Решение такой функции обеспечивается путем нахождения закона изменения цены мелиоративного состояния рисовой оросительной системы, ориентированного на получение максимальной прибыли, с учетом всех неблагоприятных факторов (состояний) рисовой оросительной системы. Однако нужно понимать, что достижение запрограммированного уровня состояния рисовой оросительной системы — это только первый этап, на втором этапе требуются затраты для его поддержания, что приведет к росту цены эколого-мелиоративной устойчивости рисовой оросительной системы.

Пусть S — цена намечаемого мероприятия (агротехприема). Цена эколого-мелиоративной устойчивости рисовой оросительной системы включает затраты на мероприятия (агротехнологии) по охране почв от деградации и снижения ее мелиоративных показателей и поддержание эколого-мелиоративных функций процесса производства риса. Предполагаем, что $S(t)$ строго монотонно убывает со временем от некоторой цены намеченного мероприятия (агротехприема) $S_0=S(0)$; намечаемые мероприятия образуют пуассоновский поток интенсивности λ. Выше вычислены основные характеристики цены мелиоративного состояния рисовой оросительной системы. Приведем формулу для плотности вероятностей промежутка времени до наступления благоприятного состояния рисовой оросительной системы:

$$p(\tau)=\lambda R(S(\tau))\exp\left(-\int_{0}^{\tau}\lambda R(S(t))dt\right)$$

Пусть S_m — некоторая минимальная цена, такая что $R(S_m)=1$, то есть по этой цене отмечается наступление ущерба окружающей среде всегда.

Далее предположим, что если благоприятное мелиоративное состояние наступит в момент времени t, то системе будет нанесен ущерб, равный $K(\tau)$. Общий доход будет равен:

$$Q=\int_{0}^{\infty}(S(\tau)-K(\tau))\lambda R(S(\tau))\exp\left(-\int_{0}^{\tau}\lambda R(S(t))dt\right)d\tau$$

и задача принимает вид $Q\Rightarrow\max\limits_{S(\tau)}$.

Решаем эту задачу, используя идеи вариационного исчисления.

Рассмотрен частный случай, когда $K(\tau)=K_0\tau$, и для коэффициента получено выражение

$$-\lambda\frac{R^2(S_0)}{R'(S_0)}=K_0. \qquad (3)$$

Нами выполнен ряд исследований и разработаны элементы природоподобных технологий для управления хозяйственно-производственной деятельностью на рисовой оросительной системе, использование которого позволит не только планировать комплекс технологических операций, но и прогнозировать изменение (отклонение от запрограммированных значений) показателей и параметров (например, урожайность, макро- и микроэлементы мелиоративного состояния почв, содержание гумуса, гранулометрический состав почвы).

Стоимостная оценка возможных рисков, ущерба или получение неблагоприятных последствий — это самый простой способ анализа эффективности выполняемых агротехприемов на рисовой оросительной системе. Если характер рисков, ущерба или получение неблагоприятных последствий приемлемы и находятся в пределах допустимых значений заданной целевой функции, то эта информация заносится в банк данных для дальнейшего учета причиненного ущерба и формирования комплекса мер по снижению этих негативных последствий.

При этом все проводимые и планируемые управленческие решения должны учитывать экологические аспекты ведения производственно-хозяйственной деятельности на рисовой оросительной системе, то есть баланс между экономической эффективностью природопользования и эколого-мелиоративной устойчивостью.

Второй случай — цена затрачиваемых мероприятий $S(t)$ изменяется ступенчато.

Рассмотрим ступенчатое изменение цены достижения системой удовлетворительного состояния. Пусть в момент начала работ намечены мелиоративные мероприятия на длительность функционирования T_1, цена которых S_1. S_i — затраты, связанные с регулированием или полным устранением отрицательных последствий мелиоративных мероприятий.

Если за время T_1 отрицательные последствия мероприятий не устранены, намечаются новые мелиоративные мероприятия, цена которых S_2 и длительность функционирования T_2. Намечаются новые мелиоративные мероприятия на длительность функционирования T_3 и цене S_3, если отрицательные последствия не устранены за время T_2 и т.д. Каждый отрезок времени называем фазой. Длительность фазы поставим в зависимость от числа намечаемых мероприятий. Итак, на n-й фазе устанавливается цена S_n, длительность фазы — T_n.

Пусть в начальный момент установлена цена S_1. Мелиоративные мероприятия вводятся в эксплуатацию, m_1 — число возможных мероприятий. Если удовлетворительное состояние будет достигнуто — процесс закончен. Если выбранные m_1 мероприятий не приводят к удовлетворительному состоянию, то намечаются m_2 возможных мероприятия, цена которых S_2. Если намеченные мероприятия приводят систему к приемлемому состоянию — процесс закончен, если нет — выбираются другие m_3 возможных мероприятия, оцениваемых ценой S_3, и т.д.

Продолжим рассматривать последовательность мелиоративных мероприятий пуассоновским потоком интенсивности λ. На n-й фазе удовлетворительное мелиоративное состояние будет достигнуто с вероятностью $R_n = R(S_n)$. Будем иметь в виду, что вероятность $R(S)$ зависит от цены намечаемого мелиоративного мероприятия и функция $R(S)$ монотонно убывает.

Вычислим основные характеристики этой модели.

Характеристики цены намечаемых мероприятий. Отметим, что цена достижения цели (S_e) есть дискретная случайная величина, которая принимает значения S_n с вероятностями Q_n. S_n — цена удовлетворительного мелиоративного состояния на n-й фазе.

$$P\{S_e = S_n\} = Q_n, \quad n = \overline{1,\infty}. \tag{4}$$

Далее вычисляем $M\{S_e\}$ и $D\{S_e\}$

$$M\{S_e\} = \sum_{n=1}^{\infty} S_n \exp\left(-\sum_{i=1}^{n-1} \lambda T_i R_i\right) \cdot \left(1 - \exp(-\lambda T_n R_n)\right),$$
$$M\{S_e^2\} = \sum_{n=1}^{\infty} S_n^2 \exp\left(-\sum_{i=1}^{n-1} \lambda T_i R_i\right) \cdot \left(1 - \exp(-\lambda T_n R_n)\right) \tag{5}$$

и

$$D\{S_e\} = M\{S_e^2\} - M^2\{S_e\}.$$

Среднее время достижения удовлетворительного состояния агроландшафта (при ступенчатом изменении цены). Рассмотрим фазу длительности T, на которой удовлетворительное состояние агроландшафта достигается с вероятностью R. Возможные мелиоративные мероприятия образуют пуассоновский поток интенсивности λ. Так как отдельные мелиоративные мероприятия независимы друг от друга, то поток мероприятий, которые приведут к цели, является также пуассоновским потоком с интенсивностью λR. Потому плотность вероятностей интервалов времени τ между возможными состояниями можем записать в виде

$$p(\tau) = \lambda R e^{-\lambda R \tau}. \tag{6}$$

Далее выведены формулы для математического ожидания времени наступления удовлетворительного мелиоративного состояния.

$$M\{\tau\} = \bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} T_n P_n \prod_{i=1}^{n-1} P_i + \sum_{n=1}^{\infty} T_n \varphi_1(\lambda R_n T_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \psi_1(\lambda R_n T_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i, \tag{7}$$

где

$$\psi_1(\lambda R_n T_n) = P_n + \varphi_1(\lambda R_n T_n) = e^{-\lambda R_n T_n} + \varphi_1(\lambda R_n T_n). \tag{8}$$

В выражении (7) введена функция $\psi_1(x)$, график которой представлен на рисунке.

$$\psi_1(x) = e^{-x} + \varphi_1(x) = \frac{1 - e^{-x}}{x}. \tag{9}$$

Запишем окончательное выражение для математического ожидания времени наступления удовлетворительного мелиоративного состояния:

$$\bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \psi_1(\lambda R_n T_n) \cdot \exp\left(-\sum_{k=1}^{n-1} \lambda R_k T_k\right). \tag{10}$$

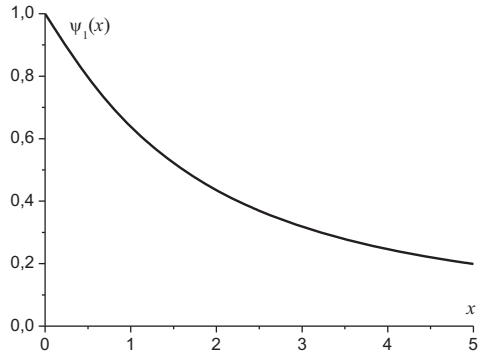

Рисунок. **Функция $\psi_1(x)$**
Figure. **Function $\psi_1(x)$**

Плотность вероятностей длительности наступления удовлетворительного мелиоративного состояния. Пусть T — промежуток времени, проходящий между моментом совершения мелиоративного мероприятия и моментом наступления удовлетворительного состояния. Запишем плотность вероятностей $p(\tau)$.

Для участка

$$T_1 + T_2 + \ldots + T_{n-1} \le \tau \le T_1 + T_2 + \ldots + T_n \tag{11}$$

можем записать выражение для плотности вероятностей величины $p(\tau)$

$$p_n(\tau) = \lambda R_n \exp\left(-\sum_{i=1}^{n-1} \lambda R_i T_i\right) \exp\left(-R_n(\tau - T_1 - T_2 - \ldots T_{n-1})\right). \tag{12}$$

Используя полученную формулу (12), подготовим выражение для математического ожидания $M\{\tau\} = \bar{\tau}$ длительности наступления удовлетворительного мелиоративного состояния. Имеем

$$\lambda R_n \int_{T_1+T_2+\ldots+T_{n-1}}^{T_1+T_2+\ldots+T_n} \tau \cdot \exp\left(-\lambda R_n(\tau - (T_1 + T_2 + \ldots + T_{n-1}))\right) d\tau =$$
$$= (T_1 + T_2 + \ldots + T_{n-1}) \int_0^{T_n} \lambda R_n e^{-\lambda R_n \tau} d\tau + \int_0^{T_n} \tau \lambda R_n e^{-\lambda R_n \tau} d\tau. \tag{13}$$

После вычисления интегралов, можем записать

$$\bar{\tau} = \sum_{n=1}^{\infty} (1 - P_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i \left(\sum_{k=1}^{n-1} T_k\right) + \sum_{n=1}^{\infty} T_n \varphi_1(\lambda R_n T_n) \prod_{i=1}^{n-1} P_i \tag{14}$$

Рассматривая изменение цены намеченных мероприятий для достижения заданной целевой функции ступенчато, будем считать, что в момент начала эксплуатации при достижении определенного (программируемого) состояния рисовой оросительной системы будет затрачена определенная цена S_1, а сама система будет находиться в этом состоянии некоторое время (период) T_1. Если целевое состояние показателя или параметра системы (рисовая оросительная система) не будет достигнуто за время (период) T_1, то принимается цена S_2, которая будет в течение времени T_2 и т.д.

Считается, что мелиоративные мероприятия образуют пуассоновский поток интенсивности λ. На n-м участке времени наступает удовлетворительное мелиоративное состояние с вероятностью $R_n = R(S_n)$, где $R(S)$ — некоторая монотонно убывающая функция цены S.

Следует отметить, что вероятность достижения целевых значений показателей и критериев системы тем больше, чем большим количеством информации о системе мы располагаем. При этом, помимо уже имеющейся информации, необходимо продолжать непрерывный мониторинг по всем основным показателям и критериям системы, анализ и контроль за их изменениями для своевременного формирования новых или корректировки проводимых мероприятий по недопущению ухудшения состояния системы, а также формирования границ интервалов значений, которые впоследствии позволят создать шкалу оценки влияния и количественно оценить их влияние на состояние системы.

Как упоминалось выше, мы имеем дело с большим количеством факторов, влияющих на целевое состояние системы, поэтому именно предлагаемый вероятностный подход по оценке требуемых параметров и критериев, как случайных величин, наиболее близок к формированию оптимальных управленческих решений и позволяет оценить их, считая их случайными величинами. Такой подход позволит существенно сократить

время принятия управленческих решений, получить устойчивые (запрограммированные) урожаи риса и сформировать на базе выполненных наблюдений новые элементы природоподобных технологий.

Обсуждение. Если рассмотреть процесс выбора управляющего решения, то он представляет собой замены одного фактора (параметра) воздействия на другой для перевода системы в новое требуемое состояние. Предлагаемая модель позволяет решить эту задачу и найти экономически наивыгоднейшее решение для достижения требуемого состояния системы без снижения мелиоративного состояния рисовых почв. Предлагаемое нами понятие цены устойчивости рисовой оросительной системы позволяет решать задачи по оптимальному выбору и использованию ресурсов, имеющихся в хозяйстве для получения гарантированных урожаев риса.

Особенностью предлагаемого подхода является формирование нескольких управленческих решений (вариантов), которые предлагают достижение планируемых показателей системы различными агротехнологиями и/или организационно-экономическим механизмом, лучший из которых будет принят к его осуществлению. Все получаемые результаты (данные) формируют и дополняют математическую модель, тем самым повышая ее адекватность, что в дальнейшем послужит основой для создания программного продукта по формированию оптимальных управленческих решений при ведении и поддержании на заданном уровне производственно-хозяйственной деятельности на рисовых оросительных системах в условия дефицита водных ресурсов и техногенных угроз.

Как можно судить из вышесказанного, предлагаемая методология может быть рассмотрена как элемент природоподобной технологии и реализуется через «комплексный подход» с количественным определением степени влияния и взаимовлияния факторов, влияющих на целевое состояние системы, и получением на основе их анализа различных вариантов управленческих решений для получения планируемого результата на конечном этапе его выбора, с достижением на нем системы такого состояния, которое минимизирует ущерб, нанесенный аграландшафтам антропогенной деятельностью и будет наиболее экономичен, но при этом позволит получать стабильно высокие урожаи риса.

По результатам исследований можно выделить несколько рекомендаций, использование которых при производстве риса позволит оптимизировать его производство, а именно использовать полученную методику при возделывании риса и формировать на ее основе технологические карты с элементами природоподобных технологий для:

- снижения цены намеченных агротехнологий;
- снижения оросительной нормы;
- повышения урожайности риса;
- снижения трудоемкости производства риса;
- повышения эколого-мелиоративного состояния рисовой оросительной системы.

При этом нужно неукоснительно соблюдать:

- сроки и нормы поливов риса;
- севооборот;
- использование GPS-технологий по уходу за растениями, внесению удобрений, а также спутниковый мониторинг развития растений риса;
- использование гибридов риса, устойчивых к дефициту воды и климатическим аномалиям;
- ведение мониторинга за факторами, влияющими на целевое состояние системы.

Дальнейшее накопление данных при осуществлении производственно-хозяйственной деятельности путем использования математической модели функционирования рисовой оросительной системы для выбора эффективных природоподобных технологий в условиях возрастающего дефицита водных ресурсов, техногенных угроз и климатических аномалий на Юге России позволит работникам рисосеющей отрасли сформировать единую, межхозяйственную базу данных, достаточную для оценки основных рисков при возделывании культуры риса.

Выводы. Конечной задачей контроля за мелиоративным состоянием рисовой оросительной системы является получение управленческих решений для разработки и выполнения мероприятий по мелиорации земель, повышению плодородия почв и получению гарантировано высоких урожаев риса. Особенно это важно при реконструкции и проектировании ландшафтно-мелиоративных рисовых систем нового поколения.

Поэтому внедрение научно-технически обоснованной, качественно новой природоподобной технологии возделывания риса, базирующейся на комплексной системе управления рисовой оросительной системой, является актуальной и практически значимой задачей, а ее решение позволит выполнить поставленные руководством страны поручения по увеличению производства агропродукции, способствовать расширению площадей посевов риса на Юге России и укреплению ее продовольственной безопасности.

Поэтому в работе предлагается комплексный подход к решению проблемы выбора эффективных природоподобных технологий в условиях возрастающего дефицита водных ресурсов, техногенных угроз и климатических аномалий на Юге России путем использования разработанной модели функционирования рисовой оросительной системы, использование которой позволит существенно облегчить производство риса, снизить риски и стоимость его возделывания.

Исследования показали, что краеугольным камнем является формирование управленческих решений на стыке цена намеченного мероприятия (агротехнологии) / ущерб, нанесенный принятым мероприятием (агротехнологией), при этом удельным показателем оценки (целевой функцией) служит цена реализуемого урожая риса.

Апробация модели функционирования рисовой оросительной системы при условии ведения непрерывного мониторинга по основным влияющих на целевое состояние системы факторам, позволит сформировать новую природоподобную технологию и предложить аграриям новую методологию возделывания риса в условиях техногенных угроз, дефицита водных ресурсов и климатических аномалий на Юге России.

На основе сформированной методологии, включающей использование природоподобных технологий при возделывании риса, предлагается продолжить исследования в направлении разработки программного продукта, который упростит сбор и систематизацию получаемых данных и позволит упростить формирование управленческих решений.

Список источников

1. Degtyareva, O.G., Safronova, T.I., Rudchenko, I.I., Prikhodko, I.A. (2019). Nonlinearity account in the foundation soils when calculating the piled rafts of buildings and constructions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kislovodsk, 01-05 October 2019*, vol. 698 (2). Kislovodsk, Institute of Physics Publishing, p. 022015. doi: 10.1088/1757-899X/698/2/022015. EDN THNDDL

2. 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.

3. Айдаров И.П., Арент К.П., Баякина В.П. и др. Мелиорация и водное хозяйство: справочник. Т. 6. М.: Росагропромиздат, 1990. 415 с.

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

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

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

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

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

9. Крылова Н.Н., Иванов Н.А., Огрызько В.А. Совершенствование способа полива риса // Академия педагогических идей «Новация». Серия: Студенческий научный вестник. 2019. № 2 (февраль). URL: http://akademnova.ru/page/875550

10. Владимиров С.А., Дронов М.В., Александров Д.А. Оценка изменений водных ресурсов в бассейне реки Кубань // Актуальные вопросы аграрной науки: материалы Национальной научно-практической конференции, Ульяновск, 20-21 октября 2021 г. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2021. С. 148-152.

11. Килиди А.И., Хатхоху Е.И., Александров Д.А. Аспекты ресурсосбережения в системе водораспределения на рисовые оросительные системы Кубани // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 71-2. С. 128-130. doi: 10.18411/lj-03-2021-67

12. 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

13. Кружилин И.П., Ганиев М.А., Кузнецова Н.В., Родин К.А. Водопотребление риса и удельные затраты на формирование урожая зерна при разных способах полива // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1 (49). С. 108-117. doi: 10.32786/2071-9485-2018-02-108-117

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

15. Владимиров С.А., Прокопенко В.В., Александров Д.А. Ресурсосберегающие мелиорации на Кубани в условиях маловодья // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 71-2. С. 125-127. doi: 10.18411/lj-03-2021-66

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

References

1. Degtyareva, O.G., Safronova, T.I., Rudchenko, I.I., Prikhodko, I.A. (2019). Nonlinearity account in the foundation soils when calculating the piled rafts of buildings and constructions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kislovodsk, 01-05 October 2019*, vol. 698 (2). Kislovodsk, Institute of Physics Publishing, p. 022015. doi: 10.1088/1757-899X/698/2/022015. EDN THNDDL

2. Prikhod'ko, I.A., Parfenov, A.V., Aleksandrov, D.A. (2021). Ehkologo-meliorativnye aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya v risovodstve Kubani [Ecological and meliorative aspects of rational nature management in the Kuban rice growing]. *Nauchno-obrazovatel'naya sreda kak osnova razvitiya intellektual'nogo potentsiala sel'skogo khozyaistva regionov Rossii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu FGBOU VO Chuvashskii GAU, Cheboksary, 22 oktyabrya 2021 g.* [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.

3. Aidarov, I.P., Arent, K.P., Bayakina, V.P. i dr. (1990). *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo: spravochnik* [Reclamation and water management: handbook]. Vol. 6. Moscow, Rosagropromizdat Publ., 415 p.

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

5. Prikhod'ko, I.A., Annenko, A.D. (2021). Innovatsionnye tekhnologii vozdelyvanii risa v usloviyakh Krasnodarskogo kraya [Innovative technologies of rice cultivation in the conditions of the Krasnodar territory]. *Ehkologiya rechnykh landshaftov: sbornik statei po materialam V Mezhdunarodnoi nauchnoi ehkologicheskoi konferentsii, Krasnodar, 30 dekabrya 2020 g.* [Ecology of river landscapes: a collection of articles based on the materials of the V International scientific ecological conference, Krasnodar, December 30, 2020]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, pp. 139-145.

6. Vladimirov, S.A., Kolesnichenko, V.V., Voitenko, D.A., Aleksandrov, D.A. (2021). Resursosberegayushchie i prirodookhrannye tekhnologii dlya reshenie 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/lj-05-2021-113

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

8. Dem'yanov, S.I., Vladimirov, S.A. (2021). Osnovnye napravleniya perekhoda risovodstva Kubani na ehkologicheski bezopasnoe ustoichivoe proizvodstvo [The main directions of the transition of Kuban rice farming to environmentally safe sustainable production]. *Innovatsionnye resheniya sotsial'nykh, ehkonomicheskikh i tekhnologicheskikh problem sovremennogo obshchestva: sbornik nauchnykh statei po itogam kruglogo stola so vserossiiskim i mezhdunarodnym uchastiem, Moskva, 15-16 avgusta 2021 g.* [Innovative solutions to social, economic and technological problems of modern society: a collection of scientific articles based on the results of the round table with All-Russian and international participation, Moscow, August 15-16, 2021]. Moscow, LLC «Konvert», vol. 4, pp. 23-25.

9. Krylova, N.N., Ivanov, N.A., Ogryz'ko, 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

10. Vladimirov, S.A., Dronov, M.V., Aleksandrov, D.A. (2021). Otsenka izmenenii vodnykh resursov v basseine reki Kuban' [Assessment of changes in water resources in the Kuban River basin]. *Aktual'nye voprosy agrarnoi nauki: materialy Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Ul'yanovsk, 20-21 oktyabrya 2021 g.* [Topical issues of agricultural science: materials of the National scientific and practical conference, Ulyanovsk, October, 20-21, 2021]. Ulyanovsk, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, pp. 148-152.

11. Kilidi, A.I., Khatkhokhu, E.I., Aleksandrov, D.A. (2021). Aspekty resursosberezheniya v sisteme vodoraspredeleniya na risovye orositel'nye sistemy Kubani [Aspects of resource saving in the water distribution system for rice irrigation systems of the Kuban]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education], no. 71-2, pp. 128-130. doi: 10.18411/lj-03-2021-67

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

13. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Kuznetsova, N.V., Rodin, K.A. (2018). Vodopotreblenie risa i udel'nye zatraty na formirovanie urozhaya zerna pri raznykh sposobakh poliva [Rice water consumption and unit costs for grain yield formation with different irrigation methods]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education], no. 1 (49), pp. 108-117. doi: 10.32786/2071-9485-2018-02-108-117

14. 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.

15. Vladimirov, S.A., Prokopenko, V.V., Aleksandrov, D.A. (2021). Resursosberegayushchie melioratsii na Kubani v usloviyakh malovod'ya [Resource-saving melioration in the Kuban in conditions of low water]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education], no. 71-2, pp. 125-127. doi: 10.18411/lj-03-2021-66

16. Vladimirov, S.A., Korkota, D.K., Khil'ko, A.S., Aleksandrov, D.A. (2020). Kontseptsiya ustoichivogo ehkologicheskogo risovodstva kak osnova razvitiya melioratsii [The concept of sustainable ecological rice farming as the basis for the development of land reclamation]. *Lesnaya melioratsiya i ehkologo-gidrologicheskie problemy Donskogo vodosbornogo basseina: materialy Natsional'noi nauchnoi konferentsii, Volgograd, 29-30 oktyabrya 2020 g.* [Forest reclamation and ecological and hydrological problems of the Don catchment basin: proceedings of the National Scientific Conference, Volgograd, October 29-30, 2020]. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, pp. 247-251.

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
Молчанова Галина Александровна, бакалавр 1 курса бакалавриата факультета гидромелиорации,
ORCID: http://orcid.org/0009-0008-7219-6141, galya.molchanova.05@inbox.ru
Огаджанян Роман Вартанович, бакалавр 3 курса бакалавриата факультета гидромелиорации,
ORCID: http://orcid.org/0009-0000-5244-4584, ogadzhanyanr69@gmail.com

Information about the authors:

Igor A. Prikhodko, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of construction and operation of water facilities,
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4855-0434, Scopus ID: 57214098822, Researcher ID: AAH-1647-2021, SPIN-code: 4011-7185, prihodkoigor2012@yandex.ru
Galina A. Molchanova, 1st year bachelor's degree of the faculty of hydro-reclamation,
ORCID: http://orcid.org/0009-0008-7219-6141, galya.molchanova.05@inbox.ru
Roman V. Ogadzhanyan, 3st year bachelor's degree of the faculty of hydro-reclamation,
ORCID: http://orcid.org/0009-0000-5244-4584, ogadzhanyanr69@gmail.com

✉ **prihodkoigor2012@yandex.ru**