МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 626.86:626.82:631.674.5

doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-95-108

Осушительно-увлажнительные системы на равнинных территориях с применением фронтальных и фронтально-круговых дождевальных машин

Антон Леонидович Кожанов¹, Олег Владимирович Воеводин²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹KozhanovAnton1983@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-1967>

²Vovteh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>

Аннотация. Цель: проведение исследований и разработка конструктивных решений осушительно-увлажнительных систем с применением дождевальных машин фронтального и фронтально-кругового перемещения для эффективного использования водных ресурсов системы при осушении и увлажнении мелиорируемых земель на безуклонных (малоуклонных) территориях и с незначительным уклоном. **Материалы и методы.** При проведении исследований анализировались известные конструктивные решения осушительно-увлажнительных, гидромелиоративных и водооборотных систем различных ученых. В ходе анализа конструктивных решений и способов движения применялись аналитический, сравнительный и логический методы. При разработке (совершенствовании) конструктивных решений использовался метод конструирования. **Результаты.** В процессе исследований установлено, что в гумидной зоне за счет снижения оросительных норм имеется возможность увеличения сезонной нагрузки дождевальных машин. По результатам исследований принципов перемещения дождевальных машин и используемых в настоящее время конструктивных решений в целях снижения энергопотребления и увеличения коэффициента земельного использования предложены три конструктивных решения для мелиорируемых земель, имеющих различные уклоны. В осушительно-увлажнительных системах предлагается использовать фронтальные и фронтально-круговые дождевальные машины. Увлажнение в данных решениях осуществляется аккумулярованным дренажным стоком с возможностью сброса его излишков в водоприемник-водоисточник, а также при необходимости и дополнительного забора из него же. **Выводы.** В результате исследований предложены конструктивные решения осушительно-увлажнительных систем с применением фронтально-круговых и фронтальных дождевальных машин на безуклонных (малоуклонных) мелиорируемых землях, а также имеющих уклон, позволяющие снизить количество дождевальных машин за счет уменьшенных оросительных норм и расположения совмещенной осушительно-увлажнительной и увлажнительной сетей.

Ключевые слова: осушительно-увлажнительная система, конструктивное решение, двойное регулирование, дождевальная машина, водный режим, водные ресурсы

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Drainage and watering systems on even lands with the use of frontal and frontal-circular sprinklers

Anton L. Kozhanov¹, Oleg V. Voyevodin²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹KozhanovAnton1983@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-1967>

²Vovteh@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1098-2979>

Abstract. Purpose: research and development of design solutions for drainage and watering systems using linear and frontal-circular movement sprinkling machines for the effective use of system water resources when draining and moistening reclaimed lands in non-sloping (low-slope) areas and with a slight slope. **Materials and methods.** During the research, the well-known design solutions of drainage and watering, irrigation and water circulation systems of various scientists were analyzed. In the course of analysis of constructive solutions and methods of movement, analytical, comparative and logical methods were used. When developing (improving) design solutions, the design method was used. **Results.** During the research, it was found that in the humid zone, due to the decrease in irrigation norms, there is a possibility of increasing the seasonal load of sprinklers. Based on the results of studies of the principles of moving sprinkler machines and currently used design solutions in order to reduce energy consumption and increase the land use coefficient, three design solutions have been proposed for reclaimed lands with different slopes. It is proposed to use frontal and frontal-circular sprinklers in drainage and watering systems. Humidification in these solutions is carried out by accumulated drainage runoff with the possibility of discharging its excess water into a water intake-water source, as well as, additional withdrawal from it in case of necessity. **Conclusions.** As a result of the research, the constructive solutions for drainage and watering systems have been proposed using frontal-circular and frontal sprinklers on non-slope (low-slope) reclaimed lands, as well as those with a slope, which make it possible to reduce the number of sprinklers due to reduced irrigation norms and the location of the combined drainage-watering and watering networks.

Keywords: drainage and watering system, constructive solution, double regulation, sprinkler machine, water regime, water resources

Введение. После проведения осушительных мелиораций в настоящее время на осушительно-увлажнительных системах с увлажнительным шлюзованием в засушливые периоды не достигаются расчетные уровни грунтовых вод. В свою очередь низкие уровни грунтовых вод не позволяют достичь необходимой влажности почвы в период вегетации, что негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. При этом весь весенний сток отводится с осушаемой территории в водоприемники. Данный факт говорит о необходимости использования конструктивных решений осушительно-увлажнительных систем с повторным использованием дренажного стока в летние периоды и его аккумулярованием в различных регулирующих емкостях. Для этого необходима разработка осушительно-увлажнительных систем, отвечающих современным реалиям [1–9].

При разработке современных мелиоративных систем необходимо ориентироваться на уменьшение энергопотребления за счет использования энергии воды [10]; постоянный рост цен на подачу оросительной воды также вызывает значительную заинтересованность сельхозпроизводителей в применении современных элементов мелиоративных систем и эффективных технологий [2].

Использование регулирующих емкостей оказывает положительное влияние на выращивание сельскохозяйственных культур за счет прогрева воды, используемой для увлажнения [11, 12]. Для экономии водных ресурсов и в зарубежных странах также занимаются вопросами перераспределения дренажного стока [13, 14].

В связи с этим в осушительно-увлажнительных системах для двойного регулирования водного режима почв следовало бы использовать конструктивные решения, которые предусматривают применение принципа модульной компоновки, с накоплением дренажного стока в регулирующих емкостях для увлажнения дождевальными машинами или установками с минимальными энергозатратами [3–5].

В связи с этим целью исследований определена разработка конструктивных решений осушительно-увлажнительных систем с применением дождевальных машин фронтального и фронтально-кругового перемещения для эффективного использования водных ресурсов системы при осушении и увлажнении мелиорируемых земель на безуклонных (малоуклонных) территориях и с незначительным уклоном.

Материалы и методы. Объектом исследований являлась совмещенная осушительно-увлажнительная сеть для отвода и подачи водных ресурсов при осушении и увлажнении мелиорируемых земель. При проведении исследований анализировались известные конструктивные решения осушительно-увлажнительных, осушительно-оросительных, гидромелиоративных и водооборотных систем двойного регулирования водного режима

различных ученых, таких как К. Б. Шумакова, Б. С. Маслов, М. Ю. Храбров, Ю. А. Мажайский, А. И. Мурашко, В. И. Ольгаренко, П. И. Пыленок, В. В. Бородычев, Г. В. Ольгаренко, Н. Д. Станкевич и др. Также проводился анализ известных способов движения многоопорных дождевальных машин. В ходе анализа конструктивных решений и способов движения применялись аналитический, сравнительный и логический методы. При разработке (совершенствовании) конструктивных решений использовался метод конструирования.

Результаты и обсуждение. В зависимости от способа передвижения дождевальные машины могут быть фронтального (позиционного действия и работающие в движении) или кругового действия [15].

Существуют способы перемещения дождевальных машин кругового действия, позволяющие проводить орошение полей прямоугольной конфигурации [16].

В свою очередь, принимая во внимание тот факт, что оросительные нормы в гумидной зоне РФ значительно ниже (до 2 раз), чем в аридной зоне, сезонную нагрузку дождевальной машины, рассчитанную на одно поле (80–100 га), можно увеличить до двух полей (160–200 га) при той же производительности дождевальной машины.

В связи с этим предлагается конструктивное решение осушительно-увлажнительной системы для безуклонных (малоуклонных) земель с регулирующей емкостью, у которой подающий совмещенный осушительно-увлажнительный трубопровод размещается по границе полей, открытый увлажнительный канал размещается по центру полей (рисунок 1) и дождевальная машина фронтально-кругового действия обслуживает сразу два поля севооборота.

Конструктивное решение осушительно-увлажнительной системы с регулирующей емкостью и орошением дождевальными машинами, имеющими собственные насосно-силовые агрегаты, предназначено для обеспече-

ния максимального использования водных ресурсов (дренажного стока) за счет согласованного отвода и аккумуляции дренажного стока во влажные периоды и увлажнения осушенных земель в засушливые периоды; осушительно-увлажнительная сеть гидравлически увязана и позволяет использовать регулируюшую емкость в качестве водоисточника.

- 1 – дрены; 2 – дренажные коллекторы второго порядка; 3 – дренажный коллектор первого порядка; 4 – безуклонный оросительный канал; 5 – совмещенный дренажный коллектор и подающий трубопровод; 6 – магистральный совмещенный трубопровод; 7 – дождевальная машина фронтально-кругового действия; 8 – центр управления; 9 – узел химизации; 10 – узел водоподготовки; 11 – совмещенная насосная станция; 12 – узел водоочистки; 13 – регулирующая емкость; 14 – всасывающий трубопровод; 15 – регулирующие сооружения; 16 – подпорно-регулирующее сооружение; 17 – водоприемник-водоисточник; 18 – водовыпуск из закрытой сети в открытый канал; 19 – устьевые сооружения с обратными клапанами; стрелками показано направление движения водных ресурсов: сплошной – отвод, штриховой – подача

Рисунок 1 – Схема осушительно-увлажнительной системы с применением дождевальных машин фронтально-кругового действия для безуклонных мелиорируемых земель

Осушительно-увлажнительная система устраивается на безуклонном земельном участке (либо малоуклонном) с регулирующей емкостью, выполненной в виде пруда-накопителя, бассейна регулирования и т. п., с увлажнением дождеванием, включает севооборотный участок с шестью полями. Осушительно-увлажнительная система состоит из дренажных коллекторов второго порядка, дренажного коллектора первого порядка, закрытой совмещенной осушительно-увлажнительной сети для отвода дренажных вод и подачи воды на увлажнение в открытый увлажнительный канал для забора фронтально-круговой дождевальной машиной, имеющей собственный насосно-силовой агрегат. В данной системе предусмотрен безуклонный, стационарный, герметичный, снабженный устьевым сооружением с регулятором открытый ороситель, длина которого при работе с фронтально-круговой дождевальной машиной равняется длине поля за исключением длины дождевальной машины и радиуса действия концевой дождевальной аппаратуры.

Для применения фронтальных дождевальных машин разработано конструктивное решение, представленное на рисунке 2. Конструкция осушительно-увлажнительной системы для фронтальной дождевальной машины отличается расположением увлажнительного канала по границе полей, и длина оросителя при работе с фронтальной дождевальной машиной равняется длине поля за исключением половины ширины полива дождевальной машины (расстояние от оси трубопровода дождевальной машины до границы падения крайних капель на почву по фронту).

Осушительно-увлажнительная система как для фронтально-круговой, так и для фронтальной дождевальной машины (рисунки 1, 2) состоит: из дрен, дренажных коллекторов второго порядка, дренажного коллектора первого порядка, открытого оросителя, осушительно-увлажнительного трубопровода, магистрального осушительно-увлажнительного трубопровода, фронтально-круговой (рисунок 1) или фронтальной (рисунок 2) дождевальных машин, центра управления, узла химизации, узла водоподготовки,

совмещенной насосной станции, узла водоочистки, регулирующей емкости, всасывающего трубопровода для подачи воды, регулирующих сооружений, подпорно-регулирующих сооружений, водоприемника-водоисточника, устьевых сооружений с регуляторами, устьевых сооружений с обратными клапанами.

- 1 – дрены; 2 – дренажные коллекторы второго порядка; 3 – дренажный коллектор первого порядка; 4 – безуклонный оросительный канал; 5 – совмещенный дренажный коллектор и подающий трубопровод; 6 – магистральный совмещенный трубопровод; 7 – дождевальная машина фронтально-кругового действия; 8 – центр управления; 9 – узел химизации; 10 – узел водоподготовки; 11 – совмещенная насосная станция; 12 – узел водоочистки; 13 – регулирующая емкость; 14 – всасывающий трубопровод; 15 – регулирующие сооружения; 16 – подпорно-регулирующее сооружение; 17 – водоприемник-водоисточник; 18 – водовыпуск из закрытой сети в открытый канал; 19 – устьевые сооружения с обратными клапанами; стрелками показано направление движения водных ресурсов: сплошной – отвод, штриховой – подача

Рисунок 2 – Схема осушительно-увлажнительной системы с применением дождевальных машин фронтального действия для безуклонных мелиорируемых земель

Осушительно-увлажнительная система как для фронтально-круговых, так и для фронтальных дождевальных машин функционирует следующим образом. В период избыточного увлажнения вода собирается по дренам 1 и передается в дренажный коллектор второго порядка 2, затем первого порядка 3 и осушительно-увлажнительный трубопровод 5, откуда попадает в магистральный осушительно-увлажнительный трубопровод, далее в случае необходимости в узел водоочистки 12 и затем в регулируемую емкость 13. В случае переполнения регулирующей емкости вода сбрасывается в водоприемник-водоисточник 17.

В период недостаточного увлажнения вода забирается из регулирующей емкости совмещенной насосной станцией и по магистральному осушительно-увлажнительному трубопроводу 6 передается в безуклонный открытый ороситель 4, из которого забирается фронтально-круговой (рисунок 1) или фронтальной (рисунок 2) дождевальной машиной с целью равномерного распределения воды по поверхности обслуживаемых земель для увлажнения выращиваемых сельскохозяйственных культур.

При недостаточном количестве дренажного стока в регулирующей емкости, а также при необходимости разбавления дренажного стока слабоминерализованными водами предусмотрен забор воды из водоприемника-водоисточника.

Для условий, когда осушаемый участок имеет уклон поверхности земли, ранее приведенные конструктивные решения будут не применимы. Для случаев, когда имеется уклон поверхности земли, разработано конструктивное решение осушительно-увлажнительной системы для осушаемых массивов с регулирующей емкостью, выполненной в виде прудонакопителя, бассейна регулирования и т. п., и комбинированным увлажнением, система включает севооборотный участок с шестью полями (рисунок 3).

1 – дренаы; 2 – дренажные коллекторы второго порядка; 3 – дренажные коллекторы первого порядка; 4 – оросительный канал; 5 – подающий оросительный трубопровод; 6 – магистральный совмещенный трубопровод; 7 – дождевальная машина фронтально-кругового действия; 8 – центр управления; 9 – узел химизации; 10 – узел водоподготовки; 11 – совмещенная насосная станция; 12 – узел водоочистки; 13 – регулирующая емкость; 14 – всасывающий трубопровод; 15 – регулирующие сооружения; 16 – подпорно-регулирующее сооружение; 17 – водоприемник-водоисточник; 18 – устьевые сооружения с обратными клапанами; 19 – водовыпуск из закрытой сети в открытый канал; стрелками показано направление движения водных ресурсов: сплошной – отвод, штриховой – подача

Рисунок 3 – Схема осушительно-увлажнительной системы с применением дождевальных машин фронтально-кругового действия для уклонных мелиорируемых земель

Осушительно-увлажнительная система состоит из дренажных коллекторов первого и второго порядков; закрытой совмещенной осушительно-увлажнительной сети для отвода дренажных вод и подачи воды в от-

крытый канал для забора фронтально-круговой дождевальной машиной, имеющей собственный насосно-силовой агрегат; узла водоочистки дренажного стока; насосной станции, оборудованной центром управления, узлами химизации для подачи удобрений, мелиорантов, пестицидов с оросительной водой и узлом водоподготовки при подаче воды на увлажнение. Система также имеет забор воды и сброс в водоприемник-водоисточник.

Разработанная схема осушительно-увлажнительной системы с максимальным использованием возобновляемых природных ресурсов (дренажного стока) предусматривает двустороннее регулирование водного режима почв (осушение – увлажнение) за счет местного стока и предполагает забор дополнительного объема воды из водоприемника-водоисточника (река, канал и др.). Применяется на севооборотах с влаголюбивыми культурами и на минеральных землях со слабопроницаемыми подстилающими почвогрунтами.

Система работает следующим образом. В период избыточного увлажнения дренажный сток собирается по дренам и передается в дренажный коллектор второго порядка, затем первого порядка, откуда подается в совмещенный дренажный коллектор (подающий трубопровод), посредством чего попадает в узел водоочистки и затем в регулируемую емкость. В случае переполнения регулирующей емкости вода сбрасывается в водоприемник-водоисточник.

В засушливый вегетационный период вода из регулирующей емкости подается совмещенной насосной станцией в магистральный совмещенный трубопровод, откуда передается в открытый, имеющий уклон оросительный канал через водовыпуск. Вода из оросительного канала забирается дождевальной машиной фронтально-кругового действия с целью равномерного распределения по поверхности обслуживаемых земель.

При недостаточном количестве дренажного стока и необходимости разбавления дренажного стока слабоминерализованными водами предусмотрен забор воды из водоприемника-водоисточника.

Приведенные выше новые конструктивные решения осушительно-увлажнительных систем увеличивают степень использования дренажных вод для орошения, позволяют аккумулировать дренажный сток в регулирующих емкостях, весь либо часть объема стока исключать из транзитного стока и производить его очистку или разбавление, что в особенности актуально для зон, где состав дренажных вод характеризуется повышенной минерализацией и увеличенной концентрацией загрязняющих веществ.

Выводы. Анализ существующих конструктивных решений осушительно-увлажнительных систем показал, что они в основном применяются для увлажнения дождевальными машинами фронтального или кругового действия, работающими от закрытой напорной сети, что значительно увеличивает энергопотребление подающих насосных станций. Применяются также схемы с забором воды из временных оросителей, что значительно снижает коэффициент земельного использования.

Для снижения энергопотребления и увеличения коэффициента земельного использования целесообразно применять конструктивные решения осушительно-увлажнительных систем с дождевальными машинами с забором из безуклонного, стационарного, герметичного, снабженного устьевым сооружением с регулятором открытого оросителя с различным расположением, зависящим от уклона мелиорируемых земель.

В результате исследований предложены конструктивные решения осушительно-увлажнительных систем для двойного регулирования водного режима почв с применением фронтально-круговых и фронтальных дождевальных машин на безуклонных (малоуклонных) мелиорируемых землях, а также имеющих уклон, позволяющие уменьшить количество дождевальных машин, так как одна дождевальная машина способна обслуживать два поля севооборота за счет уменьшенных оросительных норм и расположения совмещенной осушительно-увлажнительной сети.

Список источников

1. Яценко К. В., Килиди Х. И. Использование дренажного стока для целей орошения на осушительно-увлажнительной системе // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам X Всерос. конф. молодых ученых, посвящ. 120-летию И. С. Косенко. Краснодар, 2017. С. 1026–1207.
2. Кожанов А. Л. Конструктивные схемы энергосберегающих осушительных систем двойного регулирования водного режима // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1(73). С. 27–34.
3. Возможности реализации рециклинга на осушительно-увлажнительных системах гумидной зоны / В. П. Максименко, Е. Б. Стрельбицкая, А. П. Соломина, Н. В. Айриян // Природообустройство. 2016. № 2. С. 87–94.
4. Васильев С. М., Кожанов А. Л. Моделирование процесса проектирования элементов осушительной части мелиоративной системы двойного регулирования водного режима // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2019. № 1(01). С. 113–128. URL: http://www.rosniipm-sm1.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec16-field12.pdf (дата обращения: 17.03.2021).
5. Найденов С. В., Домашенко Ю. Е., Васильев С. М. Обзор водооборотных систем на основе гидромелиоративного рециклинга // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 2(30). С. 95–111. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec548-field6.pdf (дата обращения: 10.03.2021).
6. Печенина В. С., Носова Е. В. Технологические схемы регулирования водного режима переувлажненных минеральных и торфяных почв // Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф. М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2009. Т. 2. С. 132–143.
7. Шевченко В. А., Максименко В. П., Губин В. К. Капельное орошение с использованием дренажных вод на осушительно-увлажнительных гидромелиоративных системах // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 39. С. 212–215.
8. Губин В. К., Максименко В. П., Храбров М. Ю. Пути совершенствования осушительно-увлажнительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 1. С. 32–36.
9. Шумакова К. Б. Система двустороннего регулирования водного режима: учеб.-метод. пособие. М., 2010. 90 с.
10. Кожанов А. Л., Воеводин О. В. К вопросу разработки энергоэффективных оросительных систем нового поколения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. № 3(59). С. 62–65.
11. Оросительная система: пат. 2324332 Рос. Федерация: МПК⁶ А 01 G 25/00 / Васильев С. М., Кожанов А. Л., Щедрин В. Н., Бородычев В. В., Салдаев А. М.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2006134366/12; заявл. 27.09.06; опубл. 20.05.08, Бюл. № 14. 3 с.
12. Оросительная система с использованием прудов-накопителей: пат. 2353088 Рос. Федерация: МПК⁶ А 01 G 25/00 / Щедрин В. Н., Васильев С. М., Швайко Г. Н., Кожанов А. Л.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2007124078/12; заявл. 26.06.07; опубл. 27.04.09, Бюл. № 12. 3 с.
13. Characteristics of drainage water quality and loading from paddy field under cyclic irrigation and its management option / N. Hatcho, K. Kurihara, Y. Matsuno, H. Horino // Journal of Water Resource and Protection. 2018. Vol. 10, № 1. P. 73–84. DOI: 10.4236/jwarp.2018.101005.

14. Assessment of wastewater reuse effects on nutrient loads from paddy field using field-scale water quality model / S. M. Kim, S. J. Im, W. S. Park, J. J. Lee, B. L. Benham, T. I. Jang // *Environmental Modeling & Assessment*. 2008. № 13. P. 305–313. <https://doi.org/10.1007/s10666-007-9093-7>.

15. Многоопорные дождевальные машины / С. Х. Гусейн-заде [и др.]; под ред. С. Х. Гусейн-заде. М.: Колос, 1984. 191 с.

16. Способ движения многоопорной дождевальной машины кругового действия при поливе полей квадратной или прямоугольной конфигурации (варианты): пат. 2562214 Рос. Федерация: МПК⁶ А 01 G 25/09 / Акопян А. В., Нозадзе Л. Р., Щедрин В. Н., Слабунов В. В.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2013156232/13; заявл. 17.12.13; опубл. 10.09.15, Бюл. № 25. 8 с.

References

1. Yashchenko K.V., Kilidi Kh.I., 2017. *Ispol'zovanie drenazhnogo stoka dlya tseley orosheniya na osushitel'no-uvlazhnitel'noy sisteme* [The use of drainage flow for irrigation purposes on the drainage-humidification system]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sb. st. po materialam X Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 120-letiyu I. S. Kosenko* [Scientific Support of the Agro-Industrial Complex: Collection of Articles Based on Proc. of X All-Russian Conference of Young Scientists Dedicated to the 120th Anniversary of I.S. Kosenko]. Krasnodar, pp. 1026-1207. (In Russian).

2. Kozhanov A.L., 2019. *Konstruktivnye skhemy energosberegayushchikh osushitel'nykh sistem dvoynogo regulirovaniya vodnogo rezhima* [Constructive schemes of energy-saving drainage systems of double regulation of water regime]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(73), pp. 27-34. (In Russian).

3. Maksimenko V.P., Strelbitskaya E.B., Solomina A.P., Ayriyan N.V., 2016. *Vozmozhnosti realizatsii retsiklinga na osushitel'no-uvlazhnitel'nykh sistemakh gumidnoy zony* [Possibilities for the implementation of recycling on drying and humidifying systems of the humid zone]. *Prirodoobustroistvo* [Nature Engineering], no. 2, pp. 87-94. (In Russian).

4. Vasiliev S.M., Kozhanov A.L., 2019. [Modeling of drainage elements design process of reclamation system of double water regime regulation of the water regime]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, no. 1(01), pp. 113-128, available: http://www.rosniipm-sm1.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec16-field12.pdf [accessed 17.03.2021]. (In Russian).

5. Naydenov S.V., Domashenko Yu.E., Vasiliev S.M., 2018. [Review of water circulation systems based on irrigation and drainage recycling]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(30), pp. 95-111, available: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec548-field6.pdf [accessed 10.03.2021]. (In Russian).

6. Pechenina V.S., Nosova E.V., 2009. *Tekhnologicheskie skhemy regulirovaniya vodnogo rezhima pereuvlazhennyykh mineral'nykh i torfyanykh pochv* [Technological schemes for regulating water regime of waterlogged mineral and peat soils]. *Sovremennye problemy melioratsii i vodnogo khozyaystva: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current Problems of Reclamation and Water Management: Proc. of the International Scientific Practical Conference]. Moscow, VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, vol. 2, pp. 132-143. (In Russian).

7. Shevchenko V.A., Maksimenko V.P., Gubin V.K., 2018. *Kapel'noe oroshenie s ispol'zovaniem drenazhnykh vod na osushitel'no-uvlazhnitel'nykh gidromeliorativnykh sistemakh* [Drip irrigation using drainage water in drainage and irrigation systems]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* [Bull. of the International Academy of Agrarian Education], no. 39, pp. 212-215. (In Russian).

8. Gubin V.K., Maksimenko V.P., Khrabrov M.Yu., 2016. *Puti sovershenstvovaniya osushitel'no-uvlazhnitel'nykh sistem* [Ways to improve drainage and humidification systems]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 1, pp. 32-36. (In Russian).
 9. Shumakova K.B., 2010. *Sistema dvustoronnego regulirovaniya vodnogo rezhima: ucheb.-metod. posobie* [System of Bilateral Regulation of Water Regime: Textbook]. Moscow, 90 p. (In Russian).
 10. Kozhanov A.L., Voevodin O.V., 2015. *K voprosu razrabotki energoэффективных orositel'nykh sistem novogo pokoleniya* [On the issue of developing energy-efficient irrigation systems of a new generation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(59), pp. 62-65. (In Russian).
 11. Vasiliev S.M., Kozhanov A.L., Shchedrin V.N., Borodychev V.V., Saldaev A.M., 2008. *Orositel'naya sistema* [Irrigation System]. Patent RF, no. 2324332. (In Russian).
 12. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Shvaiko G.N., Kozhanov A.L., 2009. *Orositel'naya sistema s ispol'zovaniem prудov-nakopiteley* [Irrigation System Using Storage Pond]. Patent RF, no. 2353088. (In Russian).
 13. Hatcho K., Kurihara N., Matsuno Y., Horino H., 2018. Characteristics of drainage water quality and loading from paddy field under cyclic irrigation and its management option. *Journal of Water Resource and Protection*, vol. 10, no. 1, pp. 73-84, DOI: 10.4236/jwarp.2018.101005.
 14. Kim S.M., Im S.J., Park W.S., Lee J.J., Benham B.L., Jang T.I., 2008. Assessment of wastewater reuse effects on nutrient loads from paddy field using field-scale water quality model. *Environmental Modeling & Assessment*, no. 13, pp. 305-313, <https://doi.org/10.1007/s10666-007-9093-7>.
 15. Gusein-zade S.Kh. [et al.], 1984. *Mногоопорные дождевал'ные машины* [Multi-Support Sprinkling Machines]. Moscow, Kolos Publ., 191 p. (In Russian).
 16. Akopyan A.V., Nozadze L.R., Shchedrin V.N., Slabunov V.V., 2015. *Sposob dvizheniya mnogoopornoй dozhdeval'noй mashiny krugovogo deystviya pri polive poley kvadratnoy ili pryamougol'noy konfiguratsii (varianty)* [Method of Movement of Multi-Tower Rotary Sprinkler When Irrigating Square or Rectangular Configuration Fields (Options)]. Patent RF, no. 2562214. (In Russian).
-

Информация об авторах

А. Л. Кожанов – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

О. В. Воеводин – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

A. L. Kozhanov – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

O. V. Voyevodin – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.03.2021; одобрена после рецензирования 13.05.2021; принята к публикации 04.06.2021.

The article was submitted 30.03.2021; approved after reviewing 13.05.2021; accepted for publication 04.06.2021.