

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Обзорная статья

УДК 631.6:338.28

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-233-245

Перспективные технологии инновационного орошения

Ирина Федоровна Юрченко

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация, irina.507@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2390-1736>

Аннотация. **Цель:** изучение тенденций совершенствования технологий орошения и разработка предложений по развитию приоритетных инновационных решений в орошаемом земледелии. **Материалы и методы.** Объектом исследований являлись технологии орошения мелиорируемого земледелия, отвечающие требованиям стратегии модернизации отечественного агропроизводства «Сельское хозяйство 4». Исследовательский вопрос заключался в актуализации решения задач выявления перспективных технологий инновационного орошения. Материалом работы служили нормативно-правовые и методические документы, публикации специалистов в области мелиорации и орошения, сведения о достижениях и негативном опыте сельхозтоваропроизводителей в сфере практической реализации поливного агропроизводства, результаты собственных трудов автора и подобная информация по рассматриваемой теме. Применялись методы системного анализа, сравнения и обобщения данных, экспертных оценок. **Результаты.** Выполнен анализ эффективности применяемых технологий орошения, определивший базовые направления рациональной эволюции орошения. Показана целесообразность оперативного внедрения в практику орошения современных предложений рынка цифровых технологий. Обоснована необходимость повышения уровня автоматизации орошения на основе технологий искусственного интеллекта. Охарактеризованы преимущества оптимизации управления агротехнологиями орошаемого растениеводства. Определены возможности взаимодействия и сотрудничества разработчиков (поставщиков) специализированных направлений конкретного цифрового решения по орошению. Рассмотрены перспективы создания новых и совершенствования используемых технологий полива. Представлены базовые положения платформенного подхода к реализации процесса цифровизации орошения. **Выводы:** проведенные исследования подтвердили наличие высокого потенциала в области совершенствования и трансформации технологий орошения, реализация которого будет способствовать эффективности производства как предприятий, так и всей сферы мелиорации.

Ключевые слова: перспектива, приоритет, технология, инновации, орошение, полив, цифровизация, оптимизация, автоматизация, искусственный интеллект

Для цитирования: Юрченко И. Ф. Перспективные технологии инновационного орошения // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 233–245. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-233-245>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Review article

Advanced technologies for innovative irrigation

Irina F. Yurchenko

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, irina.507@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2390-173>

Abstract. Purpose: to study trends of improving irrigation technologies and develop proposals on development of priority innovative solutions in the irrigated agriculture. **Materials and methods:** the object of research was the reclaimed agriculture irrigation technology, that meet the requirements of the modernization strategy for the domestic agro-industrial complex – “Agriculture 4”. The research question was to update the solution of the problems of the advanced technologies for innovative irrigation. The normative-legal and methodological documents of the Russian Federation, publications of specialists in the field of land reclamation and irrigation, information about the achievements and negative experience of agricultural producers in the practical implementation of irrigated agricultural production, the results of the author's own work, etc. served as the research material. The methods of system analysis, comparison and generalization of data, expert assessments were used in the work. **Results.** An analysis of the efficiency of the applied irrigation technologies which revealed the basic directions for the rational evolution of irrigation was carried out. The expediency of quick application of advanced proposals of the digital technologies irrigation techniques is shown. The necessity of increasing the level of irrigation automation based on artificial intelligence technologies is substantiated. The advantages of optimizing the management of agricultural technologies for irrigated crop production are characterized. The possibilities of interaction and cooperation of developers (suppliers) of specialized areas of a specific digital irrigation solution are determined. The prospects for creating new and improving existing irrigation technologies are considered. The basic provisions of the platform approach to the implementation of the irrigation digitalization process are presented. **Conclusions:** the conducted studies confirmed the existence of a high potential in the field of improvement and transformation of irrigation technologies, the implementation of which will contribute both to the efficiency of production of enterprises and the entire field of melioration.

Keywords: perspective, priority, technology, innovations, irrigation, watering, digitalization, optimization, automation, artificial intelligence

For citation: Yurchenko I. F. Advanced technologies for innovative irrigation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(4):233–245. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-233-245>.

Введение. Текущий период развития сельского хозяйства характеризуется становлением новых технологий, отвечающих требованиям к четвертому поколению систем агропроизводства, сформулированным в стратегии модернизации современного АПК «Сельское хозяйство 4» [1–3]. Особенности указанной стратегии являются: активное применение наряду со средствами масштабной автоматизации и механизации технологий IoT (Интернет вещей), Big data (больших данных), искусственного интеллекта (ИИ), самообучающихся систем, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), роботизации, электронизации и т. п. [4–6].

В связи с этим актуализируются проблемы выявления, создания и использования инновационных технологий эффективной мелиорации, соответствующих требованиям развивающегося АПК.

Поэтому целью настоящей публикации является изучение тенденций совершенствования технологий орошения и разработка предложений по развитию приоритетных инновационных решений в сфере орошаемого земледелия.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись технологии орошения мелиорируемого земледелия. Предметом служили тенденции системы совершенствования оросительных мелиораций в соответствии с требованиями концептуальных положений стратегии модернизации отечественного АПК «Сельское хозяйство 4». Исследовательский вопрос заключался в актуализации решения задач выявления перспективных технологий инновационного орошения.

В качестве материала НИР использовались нормативно-правовые и методические документы РФ, публикации специалистов в области мелиорации и орошения, сведения о достижениях и негативном опыте сельхозтоваропроизводителей в сфере практической реализации поливного агропроизводства, результаты собственных трудов автора и подобная информация по рассматриваемой теме.

В работе применялись методы системного анализа, сравнения и обобщения данных, экспертных оценок.

Результаты и обсуждение. Выполненный анализ действенности применяемых технологий орошения, представленных вариантов их совершенствования, эвристических прогнозов ожидаемых результатов применения инновационных решений, а также экспертных оценок лучших подходов к современной модернизации мелиорируемого агропроизводства позволил выявить, систематизировать, обосновать и структурировать базовые направления эволюции орошения, отвечающей концепции стратегического

развития АПК «Сельское хозяйство 4» [7–10]. К указанным направлениям относятся:

- оперативное внедрение в практику орошения наличествующих предложений рынка цифровых технологий;
- повышение уровня автоматизации орошения на основе технологий ИИ;
- оптимизация управления агротехнологиями орошаемого растениеводства;
- взаимодействие и сотрудничество разработчиков (поставщиков) специализированных направлений конкретного цифрового решения орошения;
- создание новых и совершенствование используемых технологий полива;
- платформенный подход к реализации процесса цифровизации орошения.

Основополагающие задачи цифровизации орошения заключаются в обеспечении роста его производительности и сокращении затрат на поливы возделываемых сельскохозяйственных культур. Это достигается интеграцией отдельных процедур и операций агротехнологий поливного земледелия в единую систему рационального орошения посредством сбора, аналитической обработки и интерпретации больших объемов данных.

Цифровые технологии орошения способствуют процессам его автоматизации вплоть до полного исключения участия человека, у последнего остаются функции контроля и возможность вмешательства в процедуры производства в случаях угрозы возникновения проблемной ситуации. Основным инструментарием пользователя цифровых технологий орошения становятся мобильные средства в виде планшетов, смартфонов и подобных устройств, позволяющих получать в режиме реального времени сведения о потребностях сельскохозяйственных культур в орошении и иных ресурсах.

Безусловно, создание, внедрение и использование таких систем повсеместно и в полном объеме потребует значительных затрат и определенного (не малого) периода реализации. Но уже сейчас современный рынок оросительной техники и технологий орошения, сформированный достаточно многочисленным сообществом национальных и международных компаний, активно предлагает цифровые технологии орошения, адаптированные к системам точного земледелия [11–16].

Пользователям доступны системы дистанционного мониторинга потребности агроценозов в орошении, беспроводного управления дождевальными машинами, осуществляющими полив переменными нормами и дифференцированное внесение удобрений в зависимости от изменяющейся потребности растений, технологии назначения поливов по состоянию фитоценозов, параметрам суммарного испарения, картографическим материалам орошаемых земель. Практикующийся дифференцированный подход к поливу локальных участков орошаемого массива в зависимости от их потребности, топографии, конфигурации и других отличительных свойств гарантирует водосбережение, а практика комбинирования проверенных временем технологий повышает уровень эффективности, производительности и эргономичности получаемых новых решений.

Крупным недостатком современного рынка технологий орошения является практическое отсутствие отечественных разработок, что повышает риск цифровизации мелиоративного водохозяйственного комплекса в части обеспечения информационной безопасности, эффективности эксплуатации и подобных факторов. Очевидно, что откладывать цифровизацию до «лучших времен» в области развития отечественных разработок, как и ориентировать ее полностью на зарубежные решения, неразумно и нерационально. Необходимо сосредоточить максимум усилий на поисках эффективного компромиссного урегулирования сложившейся ситуации.

Не следует также забывать о возрастающей значимости мероприятий

по оптимизации водопотребления в условиях перманентно увеличивающегося населения планеты, повышающейся засушливости климата и скудеющих запасов водных ресурсов [17, 18]. В связи с этим цифровизация приобретает все большее значение в ирригации. Ее эффективность во многом определяется инструментарием реализации цифровых систем и технологий, представленным программным, техническим и технологическим обеспечением.

Цифровое сельское хозяйство должно обеспечивать гибкость управляющих воздействий, чтобы можно было адекватно и оперативно реагировать на часто возникающие в орошаемом агропроизводстве непредвиденные ситуации. Рекомендации блока аналитики цифровых систем, который формирует решения, основанные на результатах обработки широкого спектра данных, оперативно поступающих от множества датчиков, в большой мере способствуют решению этих задач.

Успешность развития аналитики в качестве инструментария цифровизации орошения значительно повышается с использованием ИИ для формирования управленческих решений. Наиболее актуально использование ИИ в сфере оросительных мелиораций для решения следующих задач:

- определение потребности в увлажнении территории по результатам анализа аэрофотосъемки;
- оценка данных датчиков для анализа почвенной влажности;
- подготовка рекомендаций по орошению на основе аналитической оценки широкого спектра информации о состоянии различных компонентов агрофитоценоза: почва, растения, метеорологические данные;
- комплексное регулирование мелиоративного режима орошаемых территорий, обеспечивающее постоянный контроль и формирование взаимосвязанных параметров состояния агроэкосистем. К приоритетным факторам формирования мелиоративного режима относятся: водный, питательный, тепловой, газовый режимы орошаемых почв, почвенное плодородие, микрофлора, потребность в ремедиации и т. п. [13].

В настоящее время немногочисленные отечественные цифровые технологии управления технологическими процессами орошения представлены опытно-конструкторскими разработками. Из них можно особо отметить роботизированный комплекс «Каскад», созданный для полива дождеванием кормовых, зерновых, технических культур с различной высотой стебля специалистами Саратовского ГАУ имени Н. И. Вавилова. Интеллектуальная система мониторинга и управления комплекса, базирующаяся на программируемом контроллере отечественного производства, реализует полив с внесением необходимых удобрений и пестицидов, контролирует затраты воды, наличие топлива в генераторе и другие показатели. Следует ожидать, что число подобных примеров быстро возрастет, когда соответствующие исследовательские проекты будут успешно завершены, а разработки впоследствии монетизированы и коммерциализированы.

Важным фактором повышения эффективности водопотребления и энергосбережения на поливе было и остается оптимальное управление орошением, объединяющее мониторинг сельскохозяйственных угодий для определения потребности в увлажнении, планирование водохозяйственных мероприятий, контроль орошения, интеграцию опций предупреждения в случае системных ошибок и, что не менее важно, документирование выполняемого орошения.

Мониторинг, определяющий сроки и продолжительность полива, количество подаваемой поливной воды, реализуется на поле системой управления [19]. Сложность выполнения орошения значимо зависит от размера и количества одновременно орошаемых участков. Сейчас в сельскохозяйственной практике оценка потребности в орошении на основе мониторинга состояния сельхозугодий фактически не принята, а если и осуществляется, то не в полной мере.

Приоритетные современные методы назначения сроков полива и их интенсивности базируются на водном балансе корнеобитаемого слоя почвы,

рассчитанном по измеренным метеорологическим параметрам, или на информации о запасах почвенной влаги, полученной с помощью датчиков влажности почвы.

Однако эти подходы не обеспечивают пользователей сведениями о детальном распределении потребности посевов в орошении, изменяющейся по площади и во времени. Для достижения указанной цели более перспективной представляется оценка необходимости в орошения на основе изображений агрофитоценозов с использованием дронов или спутников.

Принципиальным недостатком использования спутниковых снимков являются помехи, вызванные облачностью, и относительно низкое пространственное разрешение изображения. Съемки с дронов из-за малой высоты полета могут гарантировать значительно лучшее разрешение изображения посевов и идентификацию как отдельных растений, так и листьев. На рынке услуг появились поставщики изображений сельскохозяйственных угодий, выполненных с помощью дронов, которые используют спектральные, инфракрасные и RGB-камеры в зависимости от решаемой задачи.

Цифровизация и оптимизация управления поливами способствуют совершенствованию требований к процессу орошения и, как следствие, трансформации самого процесса полива сельскохозяйственных культур. Это обеспечивает возможность осуществления высокоточной (прецизионной) мелиорации.

Успешность назначения и проведения поливов посредством инструментария цифровизации требует тесного сотрудничества различных экспертов и специалистов в области полетов дронов (спутников), оценки изображений, управления данными и технологий орошения при четком и ясном распределении функциональных задач между ними. Пример такого сотрудничества – обоснование возможности орошения с помощью дронов конкретного массива (участка, поля).

Поскольку одному поставщику услуг или разработчику соответству-

ющей технологии не под силу самостоятельно оценить все возможные нюансы специализированных областей принимаемых решений, отдельные фрагменты (продукты) технических, технологических и программных разработок, выполняемых разными исполнителями, должны быть совместимы друг с другом. Наблюдения показывают, что на рынке открываются (создаются) новые интерфейсы для продукции конкурентов и сторонних поставщиков, устанавливаются общие стандарты данных, упрощающие и гарантирующие обмен сведениями между взаимодополняющими разработками.

При всей важности разработок, внедрения и использования технических и технологических решений по цифровизации и оптимизации орошения следует уделять должное внимание инновациям в технологии орошения, роль которых в повышении эколого-экономической эффективности мелиорируемого земледелия трудно переоценить. Любой полив в составе гидромелиоративных систем базируется на соответствующей технологии орошения, варьирующей в зависимости от методов и способов водоподачи и водораспределения на системе, реализации техники орошения на поле, а также технических параметров, использующихся стационарных и мобильных систем и машин.

Инновационные решения в цифровизации потребуют трансформации технологий орошения, чтобы полученные с высокой степенью разрешения пространственно распределенные изображения, информирующие о состоянии агроэкоценозов, можно было использовать в формате точного полива.

Следовательно, необходима приоритетная актуализация: решений по локально регулируемому орошению, повышающему равномерность увлажнения нестандартных участков, и разработок по снижению потерь на испарение и инфильтрацию.

Широкий круг задач реализации орошения и взаимодействующих участников определяет новый тренд эффективного становления перспективных технологий орошения на базе цифровых платформ «умной мелио-

рации». Такие платформы обладают необходимым набором сервисов и функций, обеспечивающих разработкам дополнительный инновационный функционал, а деловым партнерам укрепление сетевого взаимодействия на основе реализации экономических операций [20].

Использование платформ позволит предприятиям сократить издержки на создание информационно-коммуникационных технологий орошения и затраты времени на разработку новых продуктов за счет унификации и использования апробированных эффективных решений, выполненных на основе теоретически обоснованных подходов к комплексному анализу конкретной ситуации, реализованному с максимально возможной широтой и глубиной [20].

Выводы. Проведенные исследования подтвердили наличие высокого потенциала мелиорируемого земледелия в области совершенствования и трансформации технологий орошения, соответствующих стратегии модернизации современного отечественного АПК «Сельское хозяйство 4».

Актуализация процессов разработки и использования перспективных технологий инновационного орошения не только обеспечит повышение эффективности производства отдельно взятых предприятий, но и может стать мощным вызовом для всей сферы мелиорации.

Список источников

1. Александровская Л. А. Развитие процессов цифровизации в мелиоративной сфере: тенденции и перспективы // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2020. № 4(72). С. 103–110.
2. Цифровая трансформация сельского хозяйства России: офиц. изд. М.: Росинформгротех, 2019. 80 с.
3. Козубенко И. С., Балабанов И. В. «Интернет вещей» в управлении агропромышленным комплексом // Техника и оборудование для села. 2017. № 8. С. 46–48.
4. Klerkx L., Jakku E., Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda // NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences. 2019. Vol. 90. 100315. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315.
5. Big Data in Smart Farming – A review / S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, M.-J. Bogaardt // Agricultural Systems. 2017. Vol. 153. P. 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>.
6. Smith M. J. Getting value from artificial intelligence in agriculture // Animal Production Science. 2020. Vol. 60, № 1. P. 46–54. <https://doi.org/10.1071/AN18522>.
7. Использование и охрана природных ресурсов в рамках агромелиоративных си-

стем / В. В. Поляков, Л. А. Александровская, Е. П. Лукьянченко, А. С. Чешев. Ростов н/Д., М., 2018. 223 с.

8. Труфляк Е. В. Использование элементов точного сельского хозяйства в России. Краснодар: КубГАУ, 2018. 26 с.

9. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the “digital agriculture” revolution / M. Shepherd, J. Turner, B. Small, D. Wheeler // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018. Vol. 100, iss. 14. P. 5083–5092. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>.

10. The politics of digital agricultural technologies: A preliminary review / S. Rotz, E. Duncan, M. Small, J. Botschner, R. Dara, I. Mosby, M. Reed, E. D. G. Fraser // *Sociologia Ruralis*. 2019. Vol. 59, № 2. P. 203–229. DOI: 10.1111/soru.12233.

11. Юрченко И. Ф. Компьютерная технология поддержки решения как фактор реформирования системы эксплуатации в мелиорации России // *Природообустройство*. 2008. № 1. С. 34–39.

12. Юрченко И. Ф., Носов А. К. Оптимизационная модель формирования вариантов развития мелиораций в составе схемы комплексного использования и охраны водных объектов // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2015. № 2. С. 53–66.

13. Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф. Роль мелиорации земель в решении проблемы продовольственной безопасности России // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2015. № 2. С. 13–15.

14. Солодунов А. А., Бандурин М. А. Вопросы безопасной эксплуатации внутрихозяйственной сети рисовых оросительных систем // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. тез. по материалам Всерос. (нац.) конф., г Краснодар, 19 дек. 2019 г. Краснодар: КубГАУ им. И. Т. Трубилина, 2019. С. 492–493.*

15. Bandurina M. A., Bandurina I. P., Yurchenko I. F. Improvement of metrological measurements of bridge crossings at waterworks when studying non-destructive testing methods // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1728. 012001. DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012001.

16. Luo Y. A general framework of digitization risks in international business // *Journal of International Business Studies*. 2022. 53. P. 344–361. <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00448-9>.

17. Обоснование эффективности планирования технологических процессов водопользования и оперативное управление водораспределением на базе использования метода Монте-Карло / В. И. Ольгаренко, И. Ф. Юрченко, И. В. Ольгаренко, Г. Г. Костюнин, М. С. Эфендиев, В. Иг. Ольгаренко // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]*. 2018. № 1(29). С. 49–65. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=913> (дата обращения: 15.07.2022).

18. Юрченко И. Ф., Трунин В. В. Методология создания информационной технологии оперативного управления водораспределением на межхозяйственных оросительных системах // *Природообустройство*. 2013. № 4. С. 10–14.

19. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Геопозиционный синтез мониторинговых данных и возможности их использования в режиме реального времени // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2016. № 1(41). С. 168–177.

20. Подходы к формированию информационной системы «Цифровая мелиорация» / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов, А. В. Слабунова, А. А. Завалин // *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2020. № 1. С. 53–64. DOI: 10.14357/20718632200106.

References

1. Alexandrovskaya L.A., 2020. *Razvitie protsessov tsifrovizatsii v meliorativnoy sfere: tendentsii i perspektivy* [Development of digitalization processes in the land reclamation sector: trends and prospects]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta (RINKH)* [Bulletin of Rostov State University of Economics (RINKH)], no. 4(72), pp. 103-110. (In Russian).
2. *Tsifrovaya transformatsiya sel'skogo khozyaystva Rossii: ofits. izd.* [Digital Transformation of Russian Agriculture: offic. ed.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2019, 80 p. (In Russian).
3. Kozubenko I.S., Balabanov I.V., 2017. "Internet veshchey" v upravlenii agropromyshlennym kompleksom ["Internet of things" in agribusiness management]. *Tekhnika i obozrudovanie dlya sela* [Technique and Equipment for the Village], no. 8, pp. 46-48. (In Russian).
4. Klerkx L., Jakku E., Labarthe P., 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, vol. 90, 100315, DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315.
5. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69-80, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>.
6. Smith M.J., 2020. Getting value from artificial intelligence in agriculture. *Animal Production Science*, vol. 60, no. 1, pp. 46-54, <https://doi.org/10.1071/AN18522>.
7. Polyakov V.V., Aleksandrovskaya L.A., Lukyanchenko E.P., Cheshev A.S., 2018. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnikh resursov v ramkakh agromeliorativnykh sistem* [Use and Protection of Natural Resources within the Framework of Agro-reclamation Systems]. Rostov-on-Don, Moscow, 223 p. (In Russian).
8. Truflyak E.V., 2018. *Ispol'zovanie elementov tochnogo sel'skogo khozyaystva v Rossii* [Using Elements of Precision Agriculture in Russia]. Krasnodar, KubGAU, 26 p. (In Russian).
9. Shepherd M., Turner J., Small B.D., 2018. Wheeler Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the "digital agriculture" revolution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 100, iss. 14, pp. 5083-5092, <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>.
10. Rotz S., Duncan E., Small M., Botschner J., Dara R., Mosby I., Reed M., Fraser E.D.G., 2019. The politics of digital agricultural technologies: A preliminary review. *Sociologia Ruralis*, vol. 59, no. 2, pp. 203-229, DOI: 10.1111/soru.12233.
11. Yurchenko I.F., 2008. *Komp'yuternaya tekhnologiya podderzhki resheniya kak faktor reformirovaniya sistemy ekspluatatsii v melioratsii Rossii* [Computer technology for decision support as a factor of reforming the system of operation in land reclamation of Russia]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 34-39. (In Russian).
12. Yurchenko I.F., Nosov A.K., 2015. *Optimizatsionnaya model' formirovaniya variantov razvitiya melioratsiy v sostave skhemy kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov* [Reclamation development option optimization model within the water bodies integrated development and protection scheme]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management], no. 2, pp. 53-66. (In Russian).
13. Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., 2015. *Rol' melioratsii zemel' v reshenii problemy prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii* [Role of land reclamation in solving the food security problem of Russia]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Russian Agricultural Science], no. 2, pp. 13-15. (In Russian).
14. Solodunov A.A., Bandurin M.A., 2019. *Voprosy bezopasnoy ekspluatatsii vnutrikhozyaystvennoy seti risovykh orositel'nykh sistem* [Issues of safe operation of the on-farm network of rice irrigation systems]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sbornik tezisov po materialam Vserossiyskoy (natsionalnoy) konferentsii* [Scientific Support

of the Agro-Industrial Complex: Proc. of the All-Russian (National) Conference]. Krasnodar, KubGAU named after I. T. Trubilin, pp. 492-493. (In Russian).

15. Bandurin M.A., Bandurina I.P., Yurchenko I.F., 2021. Improvement of metrological measurements of bridge crossings at waterworks when studying non-destructive testing methods. *Journal of Physics: Conference Series*, 1728, 012001, DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012001.

16. Luo Y., 2022. A general framework of digitization risks in international business. *Journal of International Business Studies*, 53, pp. 344-361, <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00448-9>.

17. Olgarenko V.I., Yurchenko I.F., Olgarenko I.V., Kostyunin G.G., Efendiev M.S., Olgarenko V.Ig., 2018. [Planning effectiveness substantiation of technological processes of water use and operating control of water distribution using the Monte Carlo method]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(29), pp. 49-65, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=913> [accessed 15.07.2022]. (In Russian).

18. Yurchenko I.F., Trunin V.V., 2013. *Metodologiya sozdaniya informatsionnoy tekhnologii operativnogo upravleniya vodoraspredeleleniem na mezhkhozaystvennykh orositel'nykh sistemakh* [Methodology of creation of information technology of operational management of water allocation at inter-enterprise irrigation systems]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 10-14. (In Russian).

19. Borodychev V.V., Lytov M.N., 2016. *Geopozitsionnyy sintez monitoringovykh dannykh i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya v rezhime real'nogo vremeni* [Geopositional synthesis of monitoring data and the possibility of their use in real time]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 1(41), pp. 168-177. (In Russian).

20. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Slabunov V.V., Slabunova A.V., Zavalin A.A., 2020. *Podkhody k formirovaniyu informatsionnoy sistemy "Tsifrovaya melioratsiya"* [Approaches to the formation of the information system "Digital land reclamation"]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [Information Technologies and Computer Systems], no. 1, pp. 53-64, DOI: 10.14357/20718632200106. (In Russian).

Информация об авторе

И. Ф. Юрченко – главный научный сотрудник, доктор технических наук, доцент.

Information about the author

I. F. Yurchenko – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.08.2022; одобрена после рецензирования 21.09.2022; принята к публикации 26.09.2022.

The article was submitted 02.08.2022; approved after reviewing 21.09.2022; accepted for publication 26.09.2022.