

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Обзорная статья

УДК 626.82

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-184-199

Планирование системного водораспределения: современное состояние и приоритетные направления совершенствования

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: аналитическая оценка действующих методических подходов к планированию системного водораспределения и определение приоритетных направлений его совершенствования. **Материалы и методы.** Материалом исследований служили нормативно-методическая и нормативно-правовые базы, публикации по вопросам планирования и реализации водоподдачи на орошение, результаты научно-исследовательских работ (НИР) по оценке современного состояния системного водопользования, данные фондовых документов и собственных исследований автора. Методическую основу работы составили: информационно-аналитический подход, системный и сравнительный анализы, эвристический прогноз. **Результаты.** Выявлена необходимость методического и технологического совершенствования системного планирования водораспределения, гарантирующего стабильность водообеспечения и равноправность каждого водопотребителя. По результатам информационно-аналитического исследования классифицированы приоритетные задачи научно-методического обоснования, разработки, внедрения и сопровождения процедур водопользования, что будет способствовать становлению орошения, отвечающего требованиям инновационного агропроизводства. Выделены задачи: активизации использования имеющихся решений, совершенствования действующих положений теории и практики, подготовки прорывных решений планирования мероприятий водопользования. Предложены приоритетные мероприятия по повышению эффективности управляющих воздействий водопользования, включающие замену традиционно принятого декадного планирования водоподдачи – суточным, организацию водообеспеченности орошения от конечного пользователя, многокритериальный учет разноплановых интересов участников процесса водопользования на основе цифровизации. **Выводы.** Реализация результатов НИР потребует масштабной консолидации усилий и возможностей как специалистов в сфере мелиоративной науки и образования, так и практикующих аграриев, но прогнозируемый эффект от трансформации системы водопользования превзойдет их цену.

Ключевые слова: планирование, орошение, системное водораспределение, водоподдача, оценка, совершенствование, управляющие воздействия, цифровизация

Для цитирования: Юрченко И. Ф. Планирование системного водораспределения: современное состояние и приоритетные направления совершенствования // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 1. С. 184–199. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-184-199>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Review article

System water distribution planning: modern state and priority areas for improvement

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/0000-0003-2390-1736>

Abstract. Purpose: analytical assessment of the current methodological approaches to the systemic water distribution planning and determination of priority areas for its improvement. **Materials and methods.** The research material was the regulatory-procedural, legal-regulatory framework, publications on the planning and implementation of water supply for irrigation, the results of scientific research work on assessing the current state of system water use, data of fund documents and own author's research. The methodological basis of the work was: information-analytical approach, systemic and comparative analysis, heuristic forecast. **Results.** The necessity of methodical and technological improvement of system planning of water distribution, which guarantees water supply stability and the equality of each water consumer, is revealed. Based on the results of the information analysis, the priority tasks of scientific methodological substantiation, development, implementation and maintenance of water use procedures are classified, which will contribute to the development of irrigation that meets the requirements of innovative agricultural production. The following tasks have been identified: enhancing the use of existing solutions, improving the current provisions of theory and practice, preparing the breakthrough solutions for planning water use measures. Priority measures to improve the efficiency of water use control actions are proposed, including the replacement of the traditionally accepted decade water supply planning with daily planning, the organization of irrigation water supply from the end user, multi-criteria consideration of the diverse interests of the water use process participants based on digitalization. **Conclusions.** Implementation of the research results will require a large-scale consolidation of efforts and capabilities of both specialists in the field of land reclamation science and education, and practicing farmers, but the predicted effect of the water use system transformation will exceed their price.

Keywords: planning, irrigation, system water distribution, water supply, assessment, improvement, control actions, digitalization

For citation: Yurchenko I. F. System water distribution planning: modern state and priority areas for improvement. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(1): 184–199. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-184-199>.

Введение. Обеспечение эффективного использования водных, энергетических, климатических и иных ресурсов ландшафта, а также и его экологической безопасности требует организации системы управления орошением агроценозов, реализующей нормирование управляющих воздействий в диапазоне, который гарантирует достижение оптимального уровня продуктивности сельскохозяйственных культур в конкретных природно-хозяйственных условиях и соответствует требованиям охраны окружающей среды [1–3].

Ключевым фактором рационального водопользования в орошаемом земледелии является межсистемное, межхозяйственное и внутривос-

ственное водораспределение. Они увязаны между собой и определяют водоподачу и водопользование в каждом отдельно взятом звене оросительной системы и на системе в целом [4–7].

Задачи внутрихозяйственного плана водопользования заключаются в планировании: водораспределения по внутрихозяйственной сети, норм и сроков полива, подачи воды в хозяйство и мероприятий технической эксплуатации на системе [8].

План водораспределения на межхозяйственной оросительной системе определяет объемы воды, подаваемые каждому потребителю в целом и дифференцированные по отдельным водовыделам. Системная водоподача, представленная суммой подачи воды пользователям, лимитируется режимом водоисточника и согласуется с ним. Соответственно корректируются расходы в голове магистрального и межхозяйственных каналов и объемы подачи воды водопотребителям.

Системное водораспределение, с одной стороны, является составной частью хозяйственного плана водопользования, с другой – определяет межсистемное водораспределение в бассейне реки-водоисточника. План межсистемного водораспределения водохозяйственной системы речного бассейна формируется на основе системных планов, согласованных с режимом водоисточника, пропускной способностью водопроводящей межсистемной и межхозяйственной сети, мелиоративной ситуацией на орошаемых землях и экологической ситуацией агроландшафтов системы, и тому подобных факторов.

Целью настоящей работы является аналитическая оценка действующих методических подходов к планированию системного водораспределения и определение приоритетных направлений его совершенствования.

Материалы и методы. Материалом исследований служили нормативно-методическая и нормативно-правовые базы, а также публикации зарубежных и отечественных авторов по вопросам планирования и реализа-

ции водоподачи на орошение, результаты научно-исследовательских работ по оценке достижений и проблем современного состояния системного водопользования, данные фондовых документов и собственных исследований автора.

Методическую основу работы составили: информационно-аналитический подход, системный и сравнительный анализы, эвристический прогноз.

Результаты и обсуждение. Функциональные задачи планирования системного водопользования включают нормирование расходов, объемов и сроков водоподачи хозяйствам-водопользователям.

Разработка системного плана водопользования (рисунок 1) выполняется с учетом:

- структуры посевных площадей и видового состава агроценозов;
- норм полива сельскохозяйственных культур;
- технологий агропроизводства;
- технических возможностей и технического состояния гидротехнических сооружений (ГТС) системы и поливной техники;
- способов и техники полива;
- наличия трудовых и энергетических ресурсов;
- правовых и экологических факторов;
- данных о природно-климатических условиях и других сведений о водопользователях.

Ключевым фактором, лимитирующим планирование системной водоподачи, является режим источника орошения. Планируемый объем системного водозабора определяется суммой объемов водозабора внутрихозяйственных планов водопользования. Баланс водораспределения считается увязанным, если отклонения объема водозабора, обеспечиваемого источником орошения, не превышают 5 % планируемого объема водоподачи потребителям (рисунок 2).



Рисунок 1 – Базовая структура процедур управления водопользованием
Figure 1 – Basic structure of water management procedures

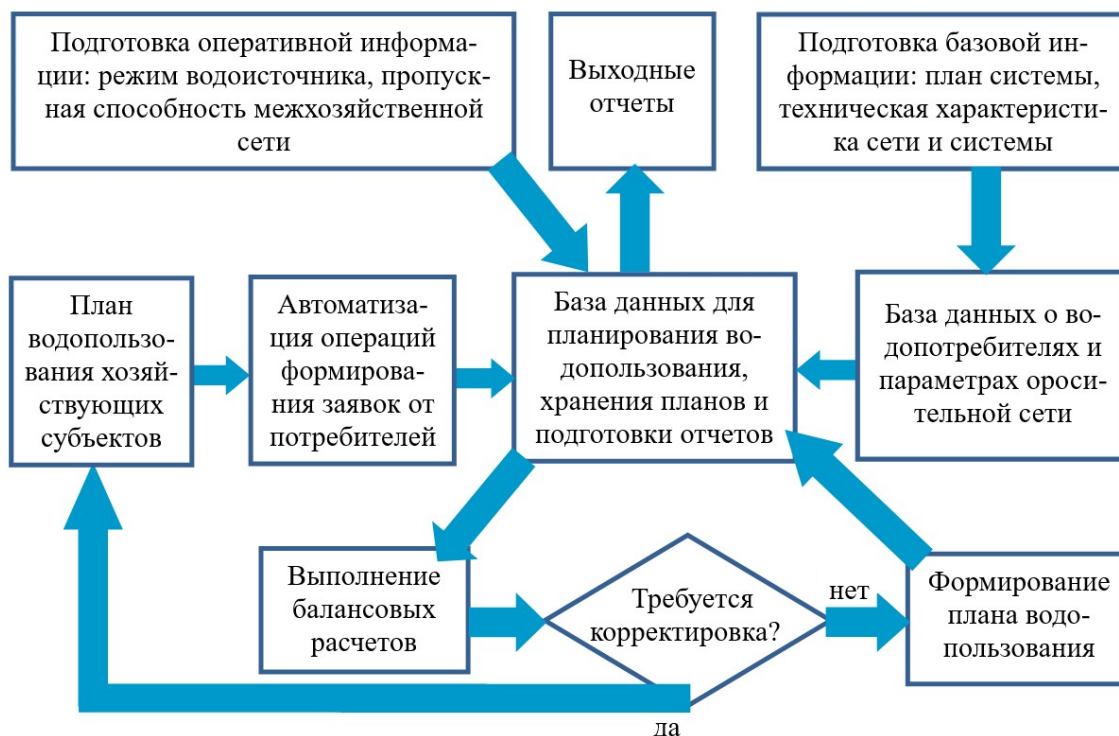


Рисунок 2 – Функциональная структура формирования планов водопользования

Figure 2 – The functional structure of water use plan formation

Согласование баланса системного водораспределения с возможным объемом забора воды из источника орошения требует больших объемов вычислений, имитационного и оптимизационного математического моделирования [9, 10]. На практике таких расчетов практически не производят.

При достаточной водообеспеченности орошения все внутрихозяйственные каналы получают воду в соответствии с запланированным режимом. В условиях дефицита водных ресурсов на системе вводится водооборот, предусматривающий работу хозяйственных каналов поочередно. Последнее негативно отражается на водообеспеченности сельскохозяйственных культур.

Оперативное управление системным водораспределением (рисунок 3) осуществляется диспетчерской службой согласно принятому плану водопользования. Управляющие воздействия реализуются путем регулирования затворов водозаборных ГТС, технический уровень которых по большей части соответствует 60–70 гг. прошлого столетия.

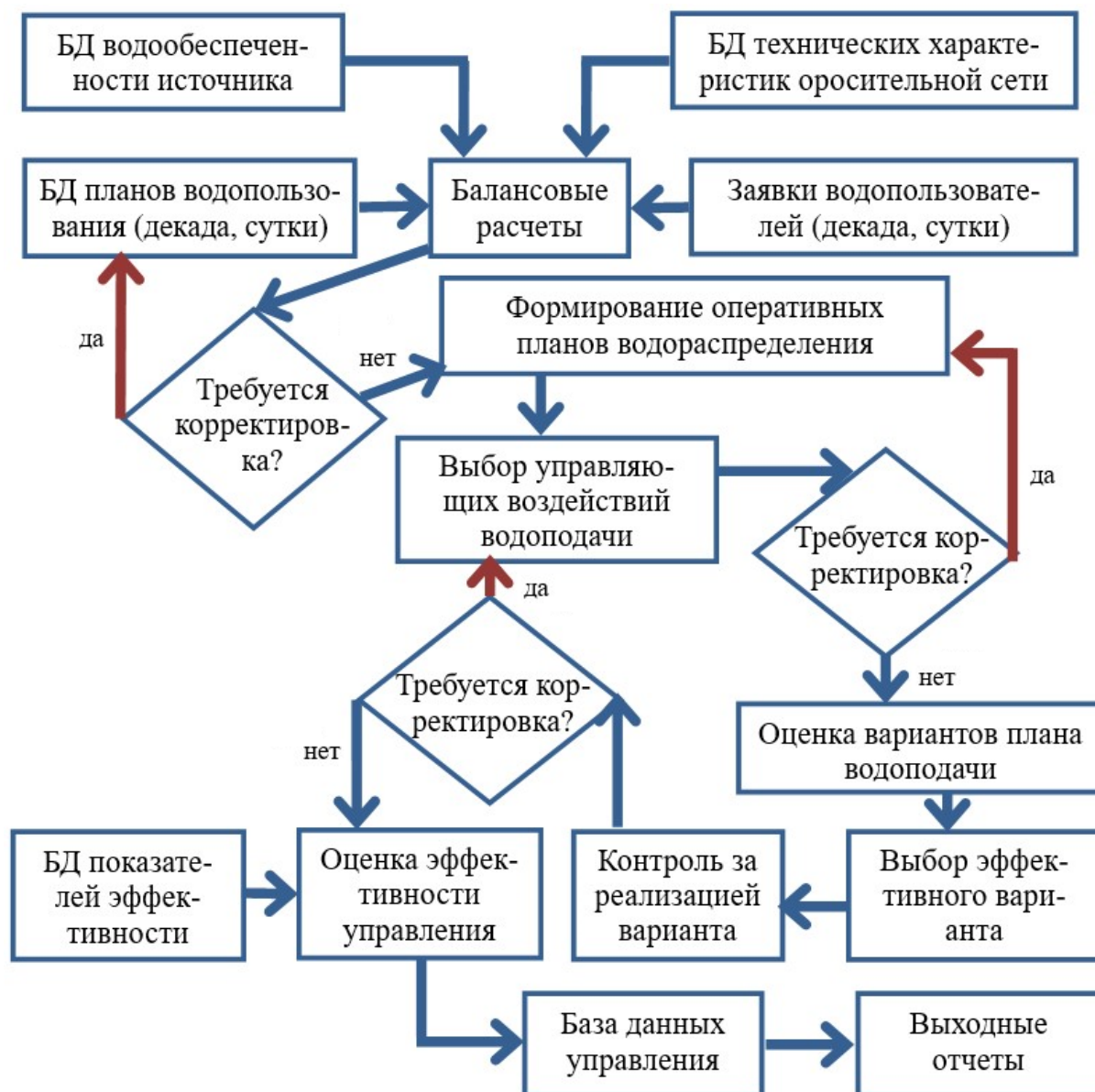


Рисунок 3 – Функциональная структура процесса управления водораспределением

Figure 3 – Functional structure of water distribution management process

Низкая востребованность аграриями передовых достижений науки и практики в сфере водопользования обусловлена [11, 12]:

- недостаточной квалификацией кадров мелиоративного сектора АПК;
- отсутствием серьезной мотивации внедрения новаций у руководителей и специалистов в области мелиоративной деятельности;
- ограниченностью стимулирования мероприятий по модернизации планирования водопользования.

Решению кадровых проблем мелиоративного водохозяйственного комплекса поможет:

- организация перманентной эффективной системы повышения квалификации и стажировки;
- привлечение специалистов из сопредельных отраслей экономики;
- повышение информированности руководства водохозяйственных организаций о возможностях и достижениях использования научно-методических подходов, успешно зарекомендовавших себя на практике. Это может стать фактором формирования мероприятий, стимулирующих их внедрение на конкретном предприятии.

К факторам, сдерживающим широкое использование предлагаемого научно-методического обеспечения планирования водопользования, которые требуют учета и ликвидации при разработке и реализации новых решений и подходов в этой сфере, относятся:

- большие объемы трудоемких рутинных вычислений, которые не автоматизированы;
- высокий уровень требований разработанных автоматизированных технологий планирования водопользования к их пользователю в части квалификации по реализации программного обеспечения.

Серьезным недостатком действующих нормативно-методических и нормативно-правовых документов в области планирования системного водопользования, подлежащим устранению, является отсутствие [13]:

- эффективных и доступных для использования широким кругом пользователей инструментариев для корректировки внутрихозяйственного плана водопользования при ограничении водоподачи;
- методического обеспечения трансформации системного плана водопользования на этапе его реализации в условиях дефицита водных ресурсов. Традиционно рекомендуемое использование принципа пропорционального сокращения плановых расходов водопользователей без учета

ущерба от недополива конкретных сельскохозяйственных культур не способствует снижению последнего;

- критериальных показателей качества управленческих воздействий, позволяющих выполнить оценку не только реализации технологических процессов водораспределения, но и функционирования эксплуатационной организации в целом: финансовой деятельности, отношений с потребителем, обучения и развития персонала и тому подобных факторов;

- действенных систем информационной и технологической поддержки принятия управленческих решений по системному водораспределению.

Следует отметить появление новых затруднений в реализации системного водопользования в постперестроечный период в части эффективного вододеления и успешной водоподачи, обусловленных трансформацией форм собственности на землю и оросительные системы. Критически возросшая численность участников процесса водопользования на межхозяйственной оросительной системе актуализировала вопросы совершенствования действующей нормативно-методической базы и разработки новых решений по формированию процедур и операций планирования, распределения, контроля и учета подачи воды потребителям.

Потребность в новациях в сфере управления системой водопользования определяется и трансформацией целей хозяйствующих субъектов, ориентированных на достижение высоких доходов, требуется снижение производственных затрат на поливы. Наряду с ростом требований пользователей к водообеспеченности орошения новые условия хозяйствования характеризуются повышением требований к качеству управляющих решений в области водопользования, так как цена ошибки в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов постоянно увеличивается [14–17].

Грядущая глобальная цифровизация экономики страны, и в первую очередь агропроизводства, также определяет необходимость разработки, внедрения и использования инновационных подходов, моделей и алгорит-

мов управления водопользованием [18–20]. Приоритетными направлениями повышения методического и технологического уровня управляющих воздействий водопользования должны стать: замена традиционно принятого декадного планирования водоподачи – суточным, организация водобеспеченности орошения от конечного пользователя, многокритериальный учет разноплановых интересов участников процесса водопользования.

Основные задачи совершенствования практикующихся методов планирования орошения включают повышение точности [13]:

- оценки влагообеспеченности орошаемого участка (поля);
- моделей суммарного испарения;
- формирования параметров, характеризующих закономерности динамики водного режима посевов;
- методических аспектов экспериментальной количественной оценки изменчивости биоклиматических коэффициентов при изменчивости гидрометеорологических параметров;
- установления биоклиматических коэффициентов методами статистического анализа.

Современные прогнозы успешного становления эффективной системы обработки и трансформации больших объемов данных, формирующихся на разных уровнях управления водопользованием, основаны на масштабном использовании в практике мелиоративной деятельности технологий Big Data (технологий обработки больших массивов данных). Их конкретная реализация в сфере системного водораспределения и водоподачи эффективно осуществляется программным и техническим обеспечением ГИС-технологий. На базе ГИС возможно решение задач: аналитической оценки текущего и прогнозного состояния системного водопользования, а также последствий принимаемых решений по управлению водораспределением; выявления ведущих факторов оптимизации технологических и производственных процессов водохозяйственных организаций.

Уже сейчас отмечается понимание широких возможностей ГИС и их возрастающее использование в мелиоративном секторе экономики, где большинство задач управления территорией требует географической информации.

Разработка методологии и технологий унифицированного подхода к формированию, хранению, трансформации, модификации больших массивов данных в составе облачных технологий и выполнения вычислений с их использованием на централизованных серверах гарантирует каждому участнику процесса водопользования получение требующихся данных, сведений, информации. Практически появляется возможность передачи через сеть Интернет запроса и получения готового результата.

Особого внимания требует совершенствование процедур назначения срока и нормы полива, методология которых основана на оценке водообеспеченности корнеобитаемого слоя почвы. Последняя измеряется с помощью датчиков влажности или определяется расчетом по данным метеопараметров.

Более полная детализация информации по площади и во времени, повышение ее релевантности и достоверности могут достигаться при использовании оценок состояния агробиоценозов по изображениям, полученным со спутников и дронов.

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

Выводы. В свете растущего дефицита ресурсов пресной воды на планете в настоящее время актуализируются проблемы обеспечения водной безопасности населения, промышленности, сельского хозяйства и прочих секторов жизнедеятельности человечества. Для орошаемого земледелия, как наиболее водоемкой сферы агропроизводства, вопросы водосбе-

режения и снижения затрат на поливы имеют повышенную актуальность. Основопологающей задачей рационального водопользования при орошении является планирование и реализация водораспределения и подачи воды потребителям, базирующихся в первую очередь на принципах равноправности и стабильности водоподачи всем его участникам. Особую значимость соблюдение указанных принципов приобретает в условиях низкой водообеспеченности источника орошения, существенно затрудняющей их воплощение.

Изучение и анализ современных направлений, методического, технологического и технического оснащения процессов планирования водопользования в отдельно взятом хозяйстве, на межхозяйственных оросительных системах и в бассейнах водоисточников для орошения выявили потребность в их совершенствовании, модернизации и трансформации.

В составе настоящей работы выполнена аналитическая оценка действующих методических подходов к планированию системного водораспределения и определены приоритетные направления совершенствования водопользования на межхозяйственных оросительных системах.

Основные предлагаемые подходы к трансформации и оптимизации процесса системного водопользования включают:

- суточное планирование водоподачи как альтернативу традиционной декадной;
- реализацию водоподачи на системе от конечного потребителя, повышающую гарантии выполнения принципов равноправности и стабильности и обеспечения пользователей водными ресурсами;
- разработку, внедрение и использование инновационных моделей, алгоритмов, операций и технологий цифровизации процедур планирования водораспределения и реализации водоподачи.

Совершенствование и становление системы рационального водопользования, соответствующего современным требованиям сельскохозяй-

ственного производства, требуют масштабной консолидации усилий и возможностей как специалистов в сфере науки и образования, так и практикующих аграриев.

Список источников

1. Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф. Роль мелиорации земель в решении проблемы продовольственной безопасности России // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 13–15.
2. Юрченко И. Ф., Носов А. К. О критериях и методах контроля безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного водохозяйственного комплекса // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. Вып. 53. С. 158–165.
3. Юрченко И. Ф. Компьютерная технология поддержки решения как фактор формирования системы эксплуатации в мелиорации России // Природообустройство. 2000. № 1. С. 34–40.
4. Водочет и водораспределение на мелиоративных системах: науч. обзор / В. Я. Бочкарев, А. А. Чураев, И. В. Клишин, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг; ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2011. 43 с. Деп. в ВИНТИ 28.06.11, № 309-B201.
5. Бубер А. А., Бородычев В. В., Талызов А. А. Разработка гидродинамической модели дельты реки Волги и западных подстепных ильменей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2(46). С. 271–284.
6. Ольгаренко В. И., Колганов А. В., Ольгаренко Г. В. Эксплуатационные режимы орошения агроценозов Нижне-Донской провинции степной зоны / НГМА. М.: Мелиоводинформ, 2001. 149 с.
7. 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: 20.12.2022).
8. Ольгаренко И. В., Ольгаренко О. Н., Дезюра С. Д. Основные задачи планового водопользования на оросительных системах // Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. Александра Филипповича Тимофеева, г. Киров, 26–27 февр. 2019 г. Киров: ВГСХА, 2019. С. 52–58.
9. Юрченко И. Ф., Трунин В. В. Совершенствование оперативного управления водораспределением на межхозяйственных оросительных системах // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. Вып. 53. С. 166–170.
10. Пути совершенствования планового водопользования на оросительных системах / В. Н. Щедрин, А. С. Штанько, О. В. Воеводин, А. Л. Кожанов, С. Л. Жук, А. Е. Шепелев. Новочеркасск, 2014. 36 с.
11. Арифжанов А. Ш., Абдуганиев А. А. Анализ проблем внедрения информационных технологий в планировании водопользования и оперативном управлении водораспределением на оросительных системах // Science and Education. 2021. Vol. 2, iss. 10. P. 166–171.
12. Вопросы управления водными ресурсами бассейна реки Лам во Вьетнаме /

И. В. Глазунова, Ле Тхи Чам, Н. П. Карпенко, А. М. Бакштанин, Т. И. Матвеева // Природообустройство. 2022. № 2. С. 99–107. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-2-99-107>.

13. Планирование водопользования при орошении сельскохозяйственных культур: инстр.-метод. изд. / Г. В. Ольгаренко, Т. А. Капустина, Д. Г. Ольгаренко, Ф. К. Цекоева; под общ. ред. Г. В. Ольгаренко. М.: Росинформагротех, 2014. 172 с.

14. Sustainable management of agricultural water and land resources under changing climate and socio-economic conditions: A multi-dimensional optimization approach / M. Li, X. Cao, D. Liu, Q. Fu, T. Li, R. Shang // Agricultural Water Management. 2022. Vol. 259. 107235. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107235>.

15. Golkhandan A., Aslani B., Mohebbi S. Predictive resilience of interdependent water and transportation infrastructures: A sociotechnical approach // Socio-Economic Planning Sciences. 2022. Vol. 80. 101166. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101166>.

16. Singh A. Judicious and optimal use of water and land resources for long-term agricultural sustainability // Resources, Conservation & Recycling Advances. 2022. Vol. 13. 200067. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200067>.

17. Chalak A., Metcalfe P. Valuing water and wastewater service improvements via impact-weighted numbers of service failures // Journal of Environmental Economics and Policy. 2022. Vol. 11, iss. 1. P. 39–55. <https://doi.org/10.1080/21606544.2021.2023052>.

18. Stochastic approach for the analysis of demand induced transients in real water distribution systems / V. Marsili, S. Meniconi, S. Alvisi, B. Brunone // Journal of Water Resources Planning and Management. 2022. 148(1). 04021093. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001498.

19. Complementary use of the ecosystem service concept and multi-criteria decision analysis in water management / M. Marttunen, J. Mustajoki, V. Lehtoranta, H. Saarikoski // Environmental Management. 2022. 69(4). P. 719–734. DOI: 10.1007/s00267-021-01501-x.

20. Assessment and management of composite risk in irrigated agriculture under water-food-energy nexus and uncertainty / T. Zhang, Q. Tan, S. Wang, T. Zhang, K. Hu, S. Zhang // Agricultural Water Management. 2022. Vol. 262. 107322. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107322>.

References

1. Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., 2015. *Rol' melioratsii zemel' v reshenii problemy prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii* [The role of land reclamation in resolving the food security problem of Russia]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of the Russian Agricultural Science], no. 2, pp. 13-15. (In Russian).

2. Yurchenko I.F., Nosov A.K., 2014. *O kriteriyakh i metodakh kontrolya bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo vodokhozyaystvennogo kompleksa* [On criteria and methods for monitoring the safety of hydraulic engineering structures of the reclamation water industry complex]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sbornik nauchnykh trudov* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Collection of Scientific Articles]. Novocherkassk, RosNIIPM, iss. 53, pp. 158-165. (In Russian).

3. Yurchenko I.F., 2000. *Komp'yuternaya tekhnologiya podderzhki resheniya kak faktor reformirovaniya sistemy ekspluatatsii v melioratsii Rossii* [Computer technology for decision support as a factor in reforming a system of operation in land improvement of Russia]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 34-40. (In Russian).

4. Bochkarev V.Ya., Churaev A.A., Klishin I.V., Yuchenko L.V., Vainberg M.V., 2011. *Vodouchet i vodoraspredelenie na meliorativnykh sistemakh: nauchnyy obzor* [Water Accounting and Water Distribution in Reclamation Systems: Scientific Review]. Novocherkassk, 43 p., deposited in VINITI on 28.06.2011, no. 309-B201. (In Russian).

5. Buber A.A., Borodychev V.V., Talyzov A.A., 2017. *Razrabotka gidrodinamicheskoy*

modeli del'ty reki Volgi i zapadnykh podstepnykh il'meney [Development of the hydrodynamic model of the Volga river delta and the western substeppe Illmens]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(46), pp. 271-284. (In Russian).

6. Olgarenko V.I., Kolganov A.V., Olgarenko G.V., 2001. *Ekspluatatsionnye rezhimy orosheniya agrotsenozov Nizhne-Donskoy provintsii stepnoy zony* [Operating Modes of Irrigation of Agrocenoses in Lower Don Province of the Steppe Zone]. NGMA, Moscow, Meli-ovodinform Publ., 149 p. (In Russian).

7. 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 20.12.2022]. (In Russian).

8. Olgarenko I.V., Olgarenko O.N., Dezyura S.D., 2019. *Osnovnye zadachi planovogo vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh* [The main tasks of planned water use in irrigation systems]. *Melioratsiya pochv dlya ustoychivogo razvitiya sel'skogo khozyaystva: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. A. F. Timofeeva* [Soil Reclamation for Sustainable Development of Agriculture: Proc. of the International Scientific-Practical Conference, Dedicated to the 100th Anniversary of the Birth of Prof. A. F. Timofeev]. Kirov, VGSHA, pp. 52-58. (In Russian).

9. Yurchenko I.F., Trunin V.V., 2014. *Sovershenstvovanie operativnogo upravleniya vodoraspredeleniem na mezhkhozyaystvennykh orositel'nykh sistemakh* [Improving operational management of water distribution on inter-farm irrigation systems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sb. nauch. tr.* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Collection of Scientific Articles]. Novocherkassk, RosNIIPM, iss. 53, pp. 166-170. (In Russian).

10. Shchedrin V.N., Shtanko A.S., Voevodin O.V., Kozhanov A.L., Zhuk S.L., Shepelev A.E., 2014. *Puti sovershenstvovaniya planovogo vodopol'zovaniya na orositel'nykh sistemakh: nauchnyy obzor* [Ways of Improving Planned Water Use in Irrigation Systems: Scientific Review]. Novocherkassk, 36 p. (In Russian).

11. Arifzhanov A.Sh., Abduganiev A.A., 2021. *Analiz problem vnedreniya informatsionnykh tekhnologiy v planirovaniy vodopol'zovaniya i operativnom upravlenii vodoraspredeleniem na orositel'nykh sistemakh* [Analysis of the problems of introducing information technologies in water use planning and operational management of water distribution in irrigation systems]. *Science and Education*, vol. 2, iss. 10, pp. 166-171. (In Russian).

12. Glazunova I.V., Le Thi Cham, Karpenko N.P., Bakshtanin A.M., Matveeva T.I., 2022. *Voprosy upravleniya vodnymi resursami basseyna reki Lam vo V'etname* [Issues of water resources management in the Lam river basin in Vietnam]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 99-107, <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-2-99-107>. (In Russian).

13. Olgarenko G.V., Kapustina T.A., Olgarenko D.G., Tsekoeva F.K., 2014. *Planirovaniye vodopol'zovaniya pri oroshenii sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: instr.-metod. izd.* [Planning of Water Use for Crop Irrigation: Instructional and Methodical Publication]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 172 p. (In Russian).

14. Li M., Cao X., Liu D., Fu Q., Li T., Shang R., 2022. Sustainable management of agricultural water and land resources under changing climate and socio-economic conditions: A multi-dimensional optimization approach. *Agricultural Water Management*, vol. 259, 107235, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107235>.

15. Golkhandan A., Aslani B., Mohebbi S., 2022. Predictive resilience of interdepend-

ent water and transportation infrastructures: A sociotechnical approach. Socio-Economic Planning Sciences, vol. 80, 101166, <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101166>.

16. Singh A., 2022. Judicious and optimal use of water and land resources for long-term agricultural sustainability. Resources, Conservation & Recycling Advances, vol. 13, 200067, <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200067>.

17. Chalak A., Metcalfe P., 2022. Valuing water and wastewater service improvements via impact-weighted numbers of service failures. Journal of Environmental Economics and Policy, vol. 11, iss. 1, pp. 39-55, <https://doi.org/10.1080/21606544.2021.2023052>.

18. Marsili V., Meniconi S., Alvisi S., Brunone B., 2022. Stochastic approach for the analysis of demand induced transients in real water distribution systems. Journal of Water Resources Planning and Management, 148(1), 04021093, DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001498.

19. Marttunen M., Mustajoki J., Lehtoranta V., Saarikoski H., 2022. Complementary use of the ecosystem service concept and multi-criteria decision analysis in water management. Environmental Management, 69(4), pp. 719-734, DOI: 10.1007/s00267-021-01501-x.

20. Zhang T., Tan Q., Wang S., Zhang T., Hu K., Zhang S., 2022. Assessment and management of composite risk in irrigated agriculture under water-food-energy nexus and uncertainty. Agricultural Water Management, vol. 262, 107322, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107322>.

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 22.12.2022; одобрена после рецензирования 03.02.2023; принята к публикации 07.02.2023.

The article was submitted 22.12.2022; approved after reviewing 03.02.2023; accepted for publication 07.02.2023.