

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенкафо А.С. Показатели эффективности беспилотного авиационного комплекса // Системный анализ и прикладная информатика. 2014. № 1–3. С. 17–22. EDN UGLOFN.
2. Асланова А.Б.Г. Двухступенчатый метод оптимизации эффективности беспилотного авиационного комплекса озонометрических измерений // Информатика и космос. 2021. № 2. С. 117–121. EDN BQPBVI.
3. Пантенков Д.Г. Методический подход к интегральной оценке эффективности применения авиационных комплексов с БПЛА. Ч. 1. Методики оценки эффективности решения задач радиосвязи и дистанционного мониторинга // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 2. С. 60–78. DOI: 10.31854/1813-324X-2020-6-2-60-78.
4. Спектральная отражательная способность почв Мильской степи Азербайджана в зависимости от их химических и физических свойств / С.А. Кочарли, М.Г. Мустафаев, Э.М. Ахмедзаде, З.М. Веллиева, Ф.Н. Алиева // Экология и строительство. 2025. № 1. С. 4–11. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-01-001.
5. Маклашин Д.И., Вагизов М.Р., Бобровская Р.М. Оценка площади и объема полигона твердых бытовых отходов с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Экология и строительство. 2025. № 2. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-02-005.
6. Смелова С.С. Алгоритм геоботанических исследований на мелиоративных объектах с использованием данных беспилотных летательных аппаратов // Экология и строительство. 2021. № 3. С. 9–16. DOI: 10.35688/2413-8452-2021-03-004.
7. Kondo S., Yoshimoto N., Nakayama Y. Farm Monitoring System with Drones and Optical Camera Communication // Sensors. 2024. Vol. 24, 6146. DOI: 10.3390/s24186146.
8. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis / R. Abderahman, A. Alireza, R. Karim, T. Horst // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 198, 107017. DOI: 10.1016/j.compag.2022.107017.

REFERENCES

1. Benkafo A.S. Pokazатели effektivnosti bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa // Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika. 2014. № 1–3. С. 17–22. EDN UGLOFN.

2. Aslanova A.B.g. Dvukhstupenchatyi metod optimizatsii effektivnosti bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa ozoнометрических измерений // Informatsiya i kosmos. 2021. № 2. С. 117–121. EDN BQPBVI.
3. Pantenkov D.G. Metodicheskii podkhod k integral'noi otsenke effektivnosti primeneniya aviatsionnykh kompleksov s BPLA. Ch. 1. Metodiki otsenki effektivnosti resheniya zadach radiosvyazi i distantsionnogo monitoringa // Trudy uchebnykh zavedenii svyazi. 2020. Т. 6. № 2. С. 60–78. DOI: 10.31854/1813-324X-2020-6-2-60-78.
4. Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' pochv Mil'skoi stepi Azerbaidzhana v zavisimosti ot ikh khimicheskikh i fizicheskikh svoystv / S.A. Kocharli, M.G. Mustafaeв, E.M. Akhmedzade, Z.M. Velieva, F.N. Alieva // Ekologiya i stroitel'stvo. 2025. № 1. С. 4–11. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-01-001.
5. Maklashin D.I., Vagizov M.R., Bobrovskaya R.M. Otsenka ploshchadi i ob'ema poligona tverdykh bytovykh otkhodov s ispol'zovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli // Ekologiya i stroitel'stvo. 2025. № 2. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-02-005.
6. Smelova S.S. Algoritm geobotanicheskikh issledovaniy na meliorativnykh ob'ektakh s ispol'zovaniem dannykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov // Ekologiya i stroitel'stvo. 2021. № 3. С. 9–16. DOI: 10.35688/2413-8452-2021-03-004.
7. Kondo S., Yoshimoto N., Nakayama Y. Farm Monitoring System with Drones and Optical Camera Communication // Sensors. 2024. Vol. 24, 6146. DOI: 10.3390/s24186146.
8. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis / R. Abderahman, A. Alireza, R. Karim, T. Horst // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 198, 107017. DOI: 10.1016/j.compag.2022.107017.

Зверьков Михаил Сергеевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Смелова Светлана Станиславовна**, канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Турапин Сергей Сергеевич**, канд. техн. наук, врио директора; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник (ВНИИ систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», Московская обл., г. Коломна).

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-2-34-39

УДК 631.6

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СИСТЕМНОГО ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ: ОПТИМИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Д.А. РОГАЧЕВ

Ключевые слова: цифровизация, оптимизация, автоматизация, искусственный интеллект, водораспределение.

Keywords: digitalization, optimization, automation, artificial intelligence, water distribution.

Аннотация. Актуальность цифровой трансформации процесса водораспределения на межхозяйственных оросительных системах обусловлена потребностью практики в научно обоснованных методологических решениях по эффективному управлению водопользованием. Организация и проведение водопользования требуют также оперативности принятия решений и автоматизации рутинных вычислений и операций. Цель исследования: разработка и внедрение эффективных методов управления и технологических решений по рациональному распределению поливной воды между пользователями, учитывающих в напряженных природно-хозяйственных условиях интересы каждого из участников процесса водопользования. Материалом исследований служили: научные публикации и фондовые материалы, отчеты и др. сведения от организаций-разработчиков технологических решений по водопользованию и эксплуатационных организаций, нормативно-правовые акты, стандарты, экспертные заключения, интервью специалистов. В качестве приоритетных методов приняты: анализ, систематизация и обобщение информации по тематике НИР. Изучены информационные потоки водохозяйственных организаций мелиоративного сектора АПК, выявлены проблемы управления водораспределением в сложных природно-хозяйственных условиях. Разработаны модели и алгоритмы для решения приоритетных задач водопользования, включая задачу рационального водораспределения при дефиците водных ресурсов с использованием многокритериальной модели в качестве функции цели. Реализована

оптимизация модели методом эволюционно генетического программирования — одного из ведущих методов искусственного интеллекта. Создано специализированное программное обеспечение для автоматизированной системы управления водопользованием (АСУ «Водораспределение»). Тестирование АСУ на примере материалов службы эксплуатации Городищенской оросительной системы ФГБУ «Волгоградмелиоводхоз» показало рост эффективности водораспределения на 10% по сравнению с традиционными методами назначения управляющих воздействий.

Abstract. The relevance of the digital transformation of the water distribution process in inter-farm irrigation systems is determined by the need for practice in scientifically based methodological solutions for effective water use management. The organization and conduct of water use also require prompt decision-making and automation of routine calculations and operations. The purpose of the study is to develop and implement effective management methods and technological solutions for the rational distribution of irrigation water between users, taking into account the interests of each participant in the water use process in stressful natural and economic conditions. The research materials included scientific publications and stock materials, reports, and other information from organizations developing technological solutions for water use and operating organizations, regulatory legal acts, standards, expert opinions, and interviews with specialists. The following methods have been adopted as priority methods: analysis, systematization and generalization of information on research topics. The information flows of the water management organizations of the reclamation sector of the agro-industrial complex are studied, the problems of water distribution management in difficult natural and economic conditions are revealed. Models and algorithms have been developed to solve priority water use problems, including the problem of rational

water distribution in case of water scarcity using a multi-criteria model as a goal function. The optimization of the model by the method of evolutionary genetic programming, one of the leading methods of artificial intelligence, is implemented. Specialized software has been created for the automated water management system (ACS «Water Distribution»). Testing of automated control systems using the example of materials from the Gorodishchenskaya irrigation system maintenance service of the Volgogradmeliovodkhoz Federal State Budgetary Institution showed a 10% increase in water distribution efficiency compared to traditional methods of assigning control actions.

Введение. В современном мире, где технологии стремительно развиваются и проникают во все сферы жизни, цифровизация становится ключевым фактором успеха и конкурентоспособности предприятия, организации, сектора экономики и т. п. структуры. Особую актуальность цифровая трансформация производства приобретает в сфере водопользования мелиоративного водохозяйственного комплекса, так как эффективность использования водных ресурсов является залогом успешности как экономики, так и экологии [1–3].

Цифровизация системного водораспределения дает возможность комплексного подхода к оптимизации, автоматизации и внедрению искусственного интеллекта в процессы управления водными ресурсами. Это направление объединяет передовые технологии и методы, направленные на повышение эффективности использования воды, снижение потерь и обеспечение устойчивого развития агропроизводства на орошении [4, 5].

Ключевым аспектом цифровизации системного водораспределения является оптимизация управления водопользованием. Она включает в себя анализ данных о водопотреблении, определение величины водозабора, формирование критериев эффективности водопользования, обеспечение своевременной и стабильной водоподдачи пользователям, равноправное и справедливое распределение поливной воды между пользователями, назначение рациональных управляющих воздействий, выявление «узких мест» системы водораспределения и разработку мер по их устранению. Оптимизация позволяет снизить затраты на водоподачу и водоотвод, а также повысить качество предоставляемых услуг.

К следующему важному этапу цифровизации водораспределения относится автоматизация процессов назначения управляющих воздействий, что позволяет снизить влияние человеческого фактора на процессы принятия решений, повысить точность и оперативность управления водопользованием. Автоматизация предусматривает внедрение систем дистанционного управления, использование датчиков и систем мониторинга, а также разработку алгоритмов управления на основе искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой наиболее перспективное направление цифровизации водораспределения на межхозяйственных оросительных системах. Методы ИИ позволяют анализировать большие объемы данных, выявлять закономерности и тенденции технологических процессов, а также прогнозировать поведение управляемых систем [13–15]. Цифровизация системного водораспределения имеет преимущества в части эффективности водораспределения перед традиционными методами управления водопользованием, в составе которого

вышеуказанные инновационные подходы, как правило, не практикуются [6, 7].

В работе представлены результаты проектирования, разработки, тестирования и апробации подсистемы «Водораспределение», полученные учеными ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им А.Н. Костякова» в составе исследований по созданию автоматизированной системы управления водопользованием государственных оросительных систем АСУ «Водопользование ОС».

Материалы и методы. Материалом исследований служили:

- научные публикации и статьи, посвященные цифровизации систем водопользования, оптимизации технологических процессов водораспределения, автоматизации и применению искусственного интеллекта в данной области;
- отчеты и исследования отечественных и зарубежных организаций, занимавшихся вопросами водоподачи и водоотведения;
- нормативно-правовые акты и стандарты, регулирующие сферу водопользования в России и за рубежом;
- экспертные заключения и интервью специалистов в области цифровизации систем водораспределения.

В качестве методов исследований использованы: анализ литературных и фондовых материалов, а также нормативно-правовых актов по теме исследований; сравнительный анализ действующих подходов к цифровизации систем водораспределения и примеров успешных проектов в данной области; систематизация и обобщение информации.

Результаты и обсуждение. Выполненные исследования и анализ методологических и технологических подходов к управлению системным водопользованием, сформированных в основном в 70–80-х годах прошлого столетия, выявили необходимость их развития и совершенствования в соответствии с требованиями становления конкурентоспособного и устойчивого отечественного агропроизводства [2, 8, 9]. По мнению экспертов сферы мелиорации, приоритетными направлениями трансформации управления водопользованием государственных оросительных систем должны стать [2, 4, 5, 10, 11]:

- учет изменившихся социально-экономических условий и отношений в агропромышленном секторе, сформировавшихся за последнее время. К ним относятся: изменение структуры собственности, внедрение новых технологий, усиление конкуренции, а также изменения в государственной политике и регулирование рынка;
- повышение достоверности и масштабов прогнозируемых параметров, служащих исходной информацией и данными для управления водопользованием: планируемая водообеспеченность оросительной системы, урожайность и структура орошаемых земель, затрат водохозяйственной организации и т. п. факторов;
- совершенствование и формирование новых подходов и методов, алгоритмов и процедур управления водораспределением, включая планирование водоподачи в условиях дефицита водных ресурсов. Последнее, практически не регламентируется действующими нормативно-методическими документами;

- разработка показателей и мультикритериальной целевой функции оценки эффективности технологических процессов и организации водопользования, интегрирующей монокритерии, обусловленные разнообразными, порой противоречивыми требованиями к оптимальности управления водопользованием различных аспектов его организации и функционирования: бизнеса, экономики, экологии; социума;
- реализация методов искусственного интеллекта для решения задач оптимизации и прогнозирования результатов и параметров управления водопользования, существенно повышающих точность расчетов и достоверность планируемых результатов;
- автоматизация процедур назначения управляющих воздействий, выполнения трудоемких вычислений, оформления отчетной документации, отсутствие которых сдерживает использование эффективных, но трудоемких решений, и как следствие снижает производительность управленческой деятельности и качество эксплуатационных мероприятий.

Решение этих проблем достигается цифровой трансформацией управления водопользованием государственных оросительных систем, интерес к которой актуализировался в последнее время, в том числе и у специалистов ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» [1, 5, 7, 12]. Функциональная структура подсистемы «Водораспределение» автоматизированной системы АСУ «Водопользование ОС» (далее по тексту система «Водораспределение»), разработанная во ВНИИГиМ, позволяет:

- осуществлять планирование годовой/сезонной и (или) декадной/суточной водоподдачи;
- оптимизировать распределение ограниченного объема воды между потребителями, участками и отводами водопроводящей сети, водовыделами;
- получать оперативную информацию для эффективного управления процессом распределения воды;
- проводить аудит качества водораспределения и формировать детальные отчеты для повышения прозрачности и эффективности управления водными ресурсами.
- автоматизировать процесс работы с информацией, данными, документами, процедурами принятия управляющих воздействий;
- повысить производительность труда через автоматизацию рутинных задач и вычислений.

В условиях достаточной водообеспеченности планирование системного водораспределения выполняется согласно заявкам потребителей. Водораспределение в условиях дефицита воды осуществляется на основе экономико-математического оптимизационного моделирования с использованием методов искусственного интеллекта. Эффективно сбалансированное распределение водных ресурсов достигается последовательным улучшением решения с помощью генетического алгоритма, который имитирует эволюционные процессы. В качестве локальных критериев для многокритериальной функции цели оптимизационной задачи планирования приняты: валовая стоимость продукции растениеводства на орошении, площадь орошаемых земель, доход водохозяйственной организации [7].

Результаты работы модели визуализируются с помощью геоинформационной системы (ГИС), интегрированной в АСУ, что позволяет оценить распределение воды на картографической основе. Предложенный подход обеспечивает комплексное решение проблем системного водораспределения, учитывая потребности и предпочтения всех участников процесса. Это способствует устойчивости агропроизводства на орошаемых землях. Алгоритм автоматизированного планирования водораспределения на межхозяйственной оросительной системе представлен на рис. 1.

Программный комплекс «Водораспределение» обеспечивает системе функциональность, удобство использования, надежность, взаимодействие с внешними системами и устройства-



Рис. 1. Алгоритм автоматизированного планирования системного водораспределения

ми, масштабируемость, адаптацию к изменениям объема данных и пользователей, быстродействие, соответствие законодательству, гибкость и т. п. свойства, отвечающие ключевым требованиям к работоспособности и интерфейсу автоматизированных систем.

Операции по планированию технологическими процессами водопользования ОС объединены в специализированные блоки, которые реализуют определенные этапы процесса управления. Выделены подготовительный блок, блок планирования годовой и сезонной водоподдачи; блоки декадного, оперативного и суточного водораспределения; справочный блок. Каждый из них имеет свои структурные разделы, интерфейс для функционирования и взаимодействия с пользователем и другими блоками системы.

Структурные элементы подготовительного этапа включают следующие разделы: определение площадей полива и норм орошения для культур, расчет сезонного потребления воды, анализ водообеспеченности, передача предварительных лимитов водоподдачи потребителям.

Этап годового /сезонного планирования представлен разделами: сбор, обобщение и анализ заявок на воду, балансовые расчеты водопользования с учетом лимитов водозабора и режима источника орошения, передача данных потребителям.

В составе этапа декадного/суточного планирования выделяются разделы: формирования заявок водопотребителей, мониторинг водоподдачи и планирование транзитов, выявление дополнительных источников воды, расчет водоподдачи по элементам инфраструктуры, информирование потребителей о плане водораспределения.

Структура объектов системы Водораспределение в конфигурации 1С-Предприятие

Группа объектов / объект	Тип объекта
Справочники	
«Водовыделы»	Описывает структуру сети, связи орошаемых участков потребителей с водовыделами на оросительной системе, позволяет определять лимиты подачи воды по водовыделам и в целом по системе для установленных периодов планирования
«Периоды планирования водоподдачи»	Хранит информацию о периодах планирования водоподдачи: год, месяц, декада, день и т. п.
«Потребители»	Характеризует природно-хозяйственные условия хозяйств водопотребителей, перечень возделываемых культур; технико-экономические параметры орошения: площадь, структура орошаемых земель, оросительные нормы и пр.
«Культуры»	Позволяет собирать и хранить сведения об оросительных нормах, урожайности на поливе и на богаре, стоимости и затратах на производство продукции и прочих показателях, связанных с растениеводством
Документы	
«Заявки потребителей»	Обеспечивает сбор, хранение обработку и подготовку к использованию данных заявок на водоподдачу от хозяйств-потребителей по периодам планирования системного водораспределения
«Планы подачи воды»	Осуществляет консолидацию заявок потребителей в разрезе водовыделов, выполняет анализ возможности обеспечения всех заявок или необходимости их корректировки с учетом дефицита водообеспеченности системы
Отчеты	
«Сводные планы водоподдачи»	Позволяет формировать выходные формы сводных планов водоподдачи с возможностью различных отборов и группировок
«Сводные отчеты по фактической водоподдаче»	Позволяет формировать выходные формы по фактической водоподдаче в различных разрезах, с возможностью отчетов и группировок
Сервис	
«Карта»	Позволяет визуализировать на географической карте атрибутивные данные, связанные с потребителями воды, получать доступ к атрибутивным данным

Укрупненная структура базы данных подсистемы «Водораспределение» на уровне объектов метаданных конфигурации 1С-Предприятие приведена в таблице.

Интерфейс главного меню системы «Водораспределение» представлен разделами: «Справочники», «Документы», «Отчеты».

Объекты раздела «Справочники» хранят статическую информацию, «Документы» — данные с датами и периодичностью, «Отчеты» и «Сервисы» — формируют выходные формы для обработки данных средствами 1С-Предприятие. Эффективность и удобство взаимодействия оператора с автоматизированной системой обеспечивается «дружелюбностью» интерфейса.

Интерфейс раздела «Документы» демонстрируется на примере объекта «План подачи воды». На рис. 2 приведена форма для реализации процедуры «Оптимизировать в условиях дефицита», которая применяется в ситуации недостаточной водообеспеченности ОС.

Формирование выходных документов планирования водораспределения с учетом различных критериев отбора и группировки данных осуществляется в разделе «Отчеты» в табличной, графической и картографической формах, необходимых для подготовки оперативной и (или) статистической отчетности. Наличие ГИС-подсистемы позволяет получить различные (гибко настраиваемые на уровне пользователей) визуализации параметров потребителей. На рис. 3 представлены примеры визуализации параметров хозяйств водопотребителей и доступ к атрибутивным данным с использованием географической карты.

В рамках исследований разработаны и зарегистрированы база данных и комплекс программных продуктов, обеспечивающих реализацию АСУ «Водораспределение». Апробация и внедрение разработанных решений осуществлено в ФГБУ «Волгоградмелиоводхоз» и его Городищенском филиале. Использование модели оптимизации распределения поливной воды в 2023–2024 гг. обеспечило экономии ресурсов по сравнению с традиционными способами планирования свыше 10 %.

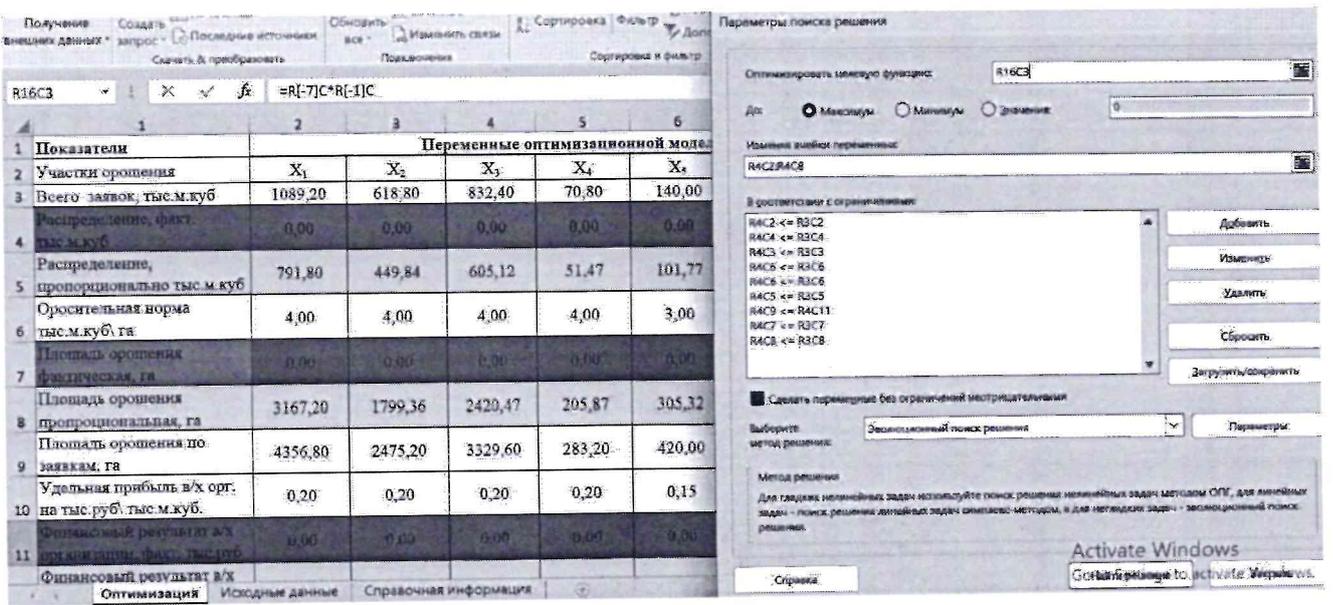


Рис. 3. Параметры запуска оптимизации многокритериальной целевой функции с использованием методов эволюционно-генетического программирования

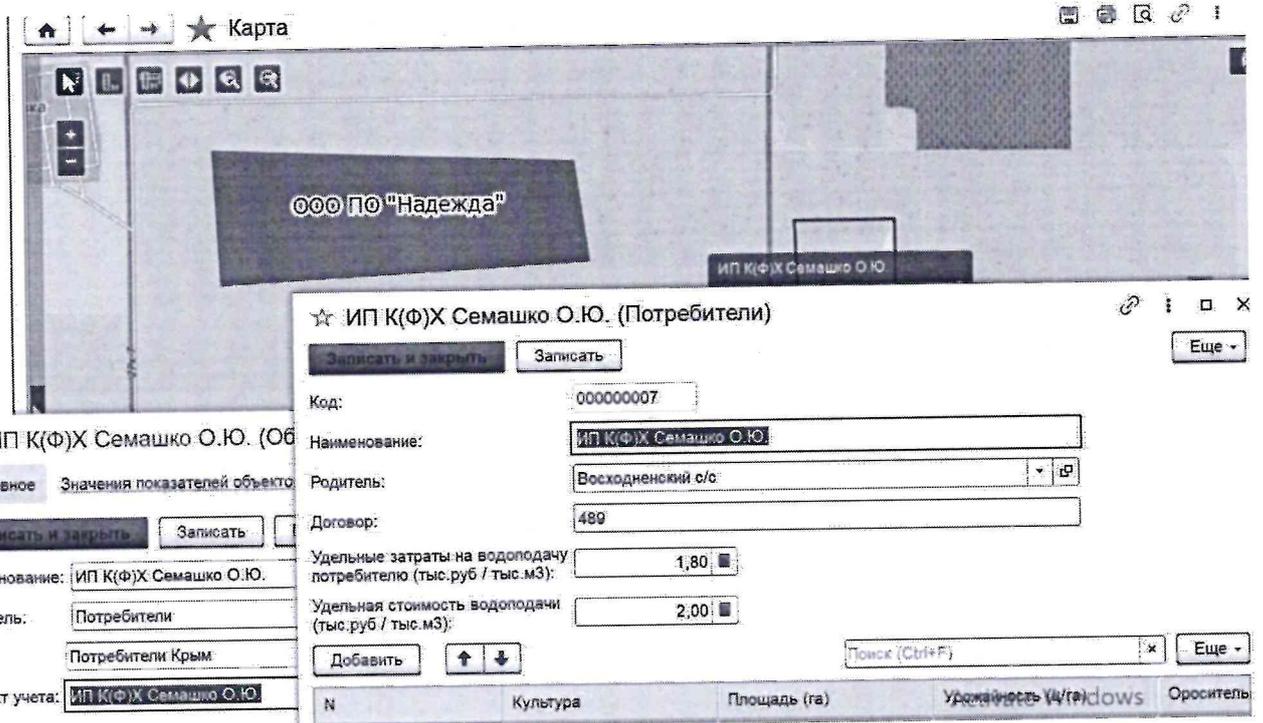


Рис. 4. Доступ к атрибутивным данным потребителей с использованием географической карты

Закключение. Результаты разработки и апробации технологии планирования водораспределения на межхозяйственных оросительных системах, сочетающей оптимизацию управления с методами искусственного интеллекта и автоматизацией, подтверждают целесообразность применения цифровизации для повышения эффективности использования водных ресурсов и управления водопользованием.

Использование имеющихся решений, как и дальнейшее совершенствование технологий управления водопользованием в практике организаций мелиора-

тивного сектора будет способствовать росту конкурентоспособности и успешности отечественного АПК в процессах становления устойчивого агропроизводства, соответствующего мировым стандартам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирейчева Л.В. Основные направления водосбережения в орошаемом земледелии России // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 4. С. 79–82. EDN LJTZCL.
2. Принципы применения информационных технологий при организации и проведении планирования водопользования на оросительных системах / В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко, И.В. Коржов, В.И. Ольгаренко // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 3. С. 100–115. DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-3-100-115. EDN URAPHZ.

3. Использование мобильных IT-приложений для решения задач водопользования на внутрихозяйственной оросительной сети / Е.А. Волкова, Д.А. Кудравец, В.И. Коржов, И.В. Коржов // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 30–47. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-30-47>.

4. Мелихова Е.В., Белоусов И.С. Реализация методов искусственного интеллекта и глубоких нейронных сетей в задачах сельскохозяйственных мелиораций // Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий: материалы Национальной научно-практической конференции, Волгоград, 09 ноября 2022 г. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2023. Т. 1. С. 302–307. EDN QXWTEK.

5. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом: К 100-летию Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова / С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова, А.В. Матвеев [и др.]. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2024. 204 с. ISBN 978-5-907464-78-0. DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.19.62.001. EDN ZTXNHM.

6. Ресурсы агро-мелиоративных систем: научно-практическое издание / В.Н. Щедрин, А.Н. Бабичев, Ю.Е. Домашенко [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 312 с. ISBN 978-5-7367-1673-9. EDN JXLZJB.

7. Рогачев Д.А., Юрченко И.Ф., Рогачев А.Ф. Управление системным водораспределением на основе экономико-математического моделирования и методов искусственного интеллекта // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 87–106. DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106. EDN YPTZVK.

8. Годовой технический отчет за 2017 г. Городищенского филиала ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».

9. Годовой отчет по технической эксплуатации за 2022 год Красногвардейского филиала. Раздел II. Водопользование и гидрометрия. Государственного бюджетного учреждения Республики Крым «Крымское управление водного хозяйства и мелиорации».

10. ГОСТ Р 58376–2019. Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200163279> (дата обращения 24.12.2024).

11. Федеральный закон о мелиорации земель. Принят Государственной Думой 8 декабря 1995 г. (редакция с поправками от 2022 г.).

12. Технология управления системным водопользованием с применением методов искусственного интеллекта и моделей-двойников организации / Д.А. Рогачев, Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, А.Ф. Рогачев // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 4(400). С. 404–410. DOI 10.55186/25876740_2024_67_4_404. EDN WCANWT.

13. Sharma S., Pathak B.K. & Kumar R. Multi-objective Service Composition Optimization Smart Agriculture Using Fuzzy-Evolutionary Algorithm. Oper. Res. Forum 5, 43 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43069-024-00319-7>.

14. Salotagi S., Mallapur J.D. Multi-objective modified emperor penguin optimization for resource allocation in internet of things agriculture applications. Multimed Tools Appl 83, 61139–61164 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11042-023-18064-0>

15. Alaimo L.S., Maggino F. Sustainable development goals indicators at territorial level: Conceptual and methodological issues – the Italian perspective // Social Indicators Research. 2020. Vol. 147. P. 383–419.

REFERENCES

1. Kireicheva L.V. The main directions of water conservation in irrigated agriculture in Russia // Land reclamation and water management. 2024. No. 4. Pp. 79–82. EDN LJTZCL.

2. Principles of the use of information technologies in the organization and planning of water use in irrigation systems /

V.I. Olgarenko, I.V. Olgarenko, I.V. Korzhov, V.I. Olgarenko // Land reclamation and hydraulic engineering. 2024. Vol. 14, No. 3. Pp. 100–115. DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-3-100-115. EDN URAPHZ.

3. The use of mobile IT applications to solve water use problems on an on-farm irrigation network / E.A. Volkova, D.A. Kudravets, V.I. Korzhov, I.V. Korzhov // Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13, No. 3. Pp. 30–47. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-30-47>.

4. Melikhova E.V., Belousov I.S. Implementation of artificial intelligence methods and deep neural networks in the tasks of agricultural land reclamation // Scientific justification of the strategy of digital development of agriculture and rural areas : materials of the National Scientific and Practical Conference, Volgograd, November 09, 2022. Volgograd: Volgograd State Agricultural University, 2023. Pp. 302–307. EDN QXWTEK.

5. An intelligent decision support system for managing the irrigation and water management complex : On the 100th anniversary of the A.N. Kostyakovs All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation / S.D. Isaeva, E.B. Dedova, A.V. Matveev [et al.]. Moscow: Vserossiyskiy Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation after A.N. Kostyakov, 2024. 204 p. ISBN 978-5-907464-78-0. DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.19.62.001. EDN ZTXNHM.

6. Resources of agro-reclamation systems: Scientific and practical edition / V.N. Shchedrin, A.N. Babichev, Yu.E. Domashenko [et al.]. — Moscow: Russian Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Research on engineering and technical support of the agro-industrial complex, 2021. 312 p. ISBN 978-5-7367-1673-9. EDN JXLZJB.

7. Rogachev D.A., Yurchenko I.F., Rogachev A.F. Management of systemic water distribution based on economic and mathematical modeling and artificial intelligence methods // Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13, No. 3. Pp. 87–106. DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106. EDN YPTZVK.

8. Annual Technical Report for 2017. Gorodishchensk branch of the Federal State Budgetary Institution Volgogradmeliowodkhoz.

9. Annual report on technical operation for 2022 of the Krasnogvardeysky branch. Section II. Water use and hydrometry. The State Budgetary Institution of the Republic of Crimea «Crimean Department of Water Management and Land Reclamation».

10. ГОСТ R 58376–2019. Reclamation systems and hydraulic structures. Exploitation. General requirements [Electronic resource]. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200163279> (date of application: 12/24/2024).

11. Federal Law on Land Reclamation. Adopted by the State Duma on December 8, 1995 (as amended in 2022).

12. Technology of management of systemic water use using artificial intelligence methods and organization twin models / D.A. Rogachev, L.V. Kireicheva, I. F. Yurchenko, A.F. Rogachev // International Agricultural Journal. 2024. № 4(400). Pp. 404–410. DOI 10.55186/25876740_2024_67_4_404. EDN WCANWT.

13. Sharma S., Pathak B.K. & Kumar R. Multi-objective Service Composition Optimization Smart Agriculture Using Fuzzy-Evolutionary Algorithm. Oper. Res. Forum 5, 43 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43069-024-00319-7>.

14. Salotagi S., Mallapur J.D. Multi-objective modified emperor penguin optimization for resource allocation in internet of things agriculture applications. Multimed Tools Appl 83, 61139–61164 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11042-023-18064-0>

15. Alaimo L.S., Maggino F. Sustainable development goals indicators at territorial level: Conceptual and methodological issues – the Italian perspective // Social Indicators Research. 2020. Vol. 147. P. 383–419.

Рогачев Дмитрий Алексеевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-4014-4770>, Rogachev.soft@gmail.com (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва).

УДК 504.75

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-2-39-45

СОХРАНЕНИЕ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РУСЛОРЕГУЛИРУЮЩИХ РАБОТ НА РЕКЕ АКТАНЫШ

Р.Х. СУНГАТУЛЛИН, М.М. ХИСМАТУЛЛИН, А.М. САБИРОВ, Э.Н. ХАЗЫРОВ, А.Ю. НИКОЛАЕВ

Ключевые слова: р. Актаныш, водные биоресурсы, расчистка русла, оценка воздействия, культуртехнические работы, разработка грунта.

Keywords: the Aktanysh River, aquatic bioresources, riverbed clearing, impact assessment, cultural engineering, soil development.

Аннотация. В статье дана краткая характеристика району проведения работ и реке Актаныш. Также приведены сведения по намечаемым работам, гидрологической и рыбохозяйственной характеристи-

ке р. Актаныш, содержащая сведения по кормовой базе рыб, составу ихтиофауны на участке планируемых работ.

По представленным проектным материалам проанализированы факторы негативного воздействия на водные биоресурсы при запроектированных работах. Анализ материалов технического задания, проекта организации строительства и действующих нормативных документов, позволяют установить возможные последствия воздействия планируемых работ на водные биоресурсы.