

поскольку коэффициент корреляции между продуктивностью пшеницы и обеспеченностью посевов доступным азотом в среднем по фонам заделки составляет 0,76...0,79 ед.

Выводы

1. При освоении малопродуктивных дерново-подзолистых земель Нечерноземной зоны, легкосуглинистых по гранулометрическому составу установлено, что способ механической заделки удобрений оказывает более значимое положительное влияние на разуплотнение корнеобитаемого слоя, чем система удобрения. При этом максимальное снижение плотности посевного слоя 0...10 см ($-0,05...-0,1 \text{ г/см}^3$) отмечено при минимальной обработке дисковыми орудиями на глубину 7...10 см, в то время как применение отвальной вспашки на 18...20 см обеспечивает уменьшение плотности пахотного горизонта на $-0,01...-0,04 \text{ г/см}^3$, а чизелевание способствует разуплотнению всего корнеобитаемого слоя на $-0,01...-0,02 \text{ г/см}^3$ относительно исходного значения.

2. Наиболее положительное влияние на снижение плотности корнеобитаемого слоя 0...40 см оказывает чизельная обработка по фону внесения твердой фракции навоза, при которой установлена сильная степень сопряженности ($r=0,74...0,79$ ед.).

3. Максимальная урожайность зерна озимой пшеницы стандартной влажности получена при ее возделывании с внесением расчетных доз минеральных удобрений по фону чизелевания – 4,506 т/га. Тем не менее, зерновая продуктивность этой культуры зависит в основном от обеспеченности посевов доступными формами азота, между которыми установлено наличие сильной корреляционной зависимости ($r=0,76...0,79$ ед.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вовлечение в производственный цикл выбывших из оборота земель сельскохозяйственного назначения Нечерноземной зоны: научно-практические рекомендации / В.А. Шевченко, А.М. Соловьев, Г.И. Бондарева [и др.]. М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2023. 20 с. ISBN 978-5-907464-48-3.

2. Кирейчева Л.В., Хохлова О.Б. Оценка энергетического ресурса деградированных почв сельскохозяйственных угодий // *Агрохимический вестник*. 2019. № 3. С. 21–27.
 3. Шевченко В.А., Матюк Н.С., Соловьев А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Регулирование баланса потоков биогенных элементов в агроэкосистемах осваиваемых и старопахотных земель Нечерноземной зоны. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2022. 161 с.
 4. Максименко В.П. Комплексная мелиорация уплотненных почв на орошаемых землях. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2022. 277 с. ISBN 978-5-907464-16-2.
 5. Каюмов М.К. Справочник по программированию урожаев. М.: Россельхозиздат. 1977. 188 с.
 6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., стер. М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.

REFERENCES

1. Involvement in the production cycle of decommissioned agricultural lands of the Non-Chernozem zone: scientific and practical recommendations / V.A. Shevchenko, A.M. Solovyov, G.I. Bondareva [et al.]. Moscow: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2023. 20 p. ISBN 978-5-907464-48-3.
 2. Kireicheva L.V., Khokhlova O.B. Assessment of the energy resource of degraded soils of agricultural lands // *Agrochemical Bulletin*. 2019. No. 3. Pp. 21–27.
 3. Shevchenko V.A., Matyuk N.S., Solovyov A.M., Bondareva G.I., Popova N.P. Regulation of the balance of flows of biogenic elements in agroecosystems of cultivated and old arable lands of the Non-Chernozem zone. Moscow: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2022. 161 p.
 4. Maksimenko V.P. Complex reclamation of compacted soils on irrigated lands / V.P. Maksimenko. Moscow: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2022. 277 p. ISBN 978-5-907464-16-2.
 5. Kayumov M.K. Handbook of crop programming. Moscow: Rosselkhozizdat, 1977. 188 p.
 6. Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 6th ed., stereotype. M.: Publishing house Alliance, 2011. 352 p.

Шевченко Виктор Александрович, академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, директор, shevchenko.v.a@yandex.ru; Соловьев Алексей Малахович, доктор с.-х. наук, профессор, зав. отделом управления плодородия почв мелиорированных земель Нечерноземной зоны, solo-a45@mail.ru; Бондарева Галина Ивановна, доктор техн. наук, доцент, зам. директора по инвестициям и общим вопросам, boss2569@yandex.ru; Попова Наталья Павловна, канд. с.-х. наук, доцент, вед. науч. сотрудник, lup.rorova@yandex.ru; Кульчев Андрей Юрьевич, мл. науч. сотрудник, аспирант, andreikulchev@yandex.ru (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва).

УДК 631.6:629.7.017.1

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-2-31-34

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ МОНИТОРИНГЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

М.С. ЗВЕРЬКОВ, С.С. СМЕЛОВА, С.С. ТУРАПИН, Т.Г. СТЕПАНОВА

Ключевые слова: мелиорация, беспилотные авиационные системы, мониторинг

Keywords: land reclamation, unmanned aircraft systems, monitoring

Аннотация. В статье рассматривается вопрос разработки методического подхода и перечня параметров оценки эффективности использования беспилотных авиационных систем при мониторинге мелиоративных объектов. Предлагаемая интегральная оценка позволит получить расчетным методом количественные параметры возможности решения частных целевых задач с учетом потребности мелиоративных организаций.

Abstract. The issue of developing a methodological approach and a list of parameters for assessing the effectiveness of the use of unmanned aerial systems

in monitoring reclamation facilities is considered in the article. The proposed integral assessment will make it possible to obtain quantitative estimates of the possibility of solving private target tasks by calculation, taking into account the needs of reclamation organizations.

Введение. Применение беспилотных авиационных систем (БАС) различного класса и целевого назначения в мелиорации в настоящее время является особенно актуальным и имеет практическую значимость в связи с активной цифровизацией отрасли. В научной и специальной литературе наиболее часто рассматривается вопрос практического многофункционального

использования БАС при решении ряда задач как оценки технического и экологического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, так и при мониторинге и оценке продуктивности сельскохозяйственных культур на мелиорируемых угодьях. При этом мало освещенным остается вопрос интегральной оценки эффективности решения как отдельных, так и набора целевых задач с применением БАС с учетом их приоритетности и ряда других факторов. Цифровизация отрасли для автоматизации многих рутинных задач мониторинга требует применение различных систем дистанционного зондирования Земли, в том числе ближнего и БАС [4–8]. Так, в работе [3] оценку эффективности применения БАС рекомендуется проводить с учетом передачи оперативной информации мобильным устройствам, особенностей оптико-электронной системы цифрового аэрофотосъемочного оборудования, особенностей бортовой радиолокационной станции.

Цель настоящей работы заключалась в формулировании методического подхода и перечня параметров оценки эффективности использования БАС при мониторинге мелиоративных объектов.

Материалы и методы исследований. Для научно-технического поиска по проблематике статьи использовались базы данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), Google Scholar, Scopus и фонды научно-технической библиотеки ФГБНУ ВНИИ «Радуга», отвечающих цели настоящей работы. Также применялся накопленный авторами практический опыт использования БАС при обследовании мелиоративных объектов в рамках государственного задания Минсельхоза России, выданного ФГБНУ ВНИИ «Радуга» в 2020–2022 гг.

Существенной особенностью процессов функционирования БАС является их случайность, вызываемая неполной определенностью условий, в которых эти процессы протекают, а также различными случайными отклонениями и ошибками, возникающими при сборе информации, выработке управляющих сигналов и их исполнении [1]. Таким образом, результат R функционирования БАС при мониторинге мелиоративных объектов является случайным и с количественной стороны характеризуется законами распределения параметров r_i , выражающих этот результат, т. е.:

$$R = \sum_{i=1}^n r_i p_i,$$

где p_i – вероятность возникновения отклонения случайного параметра r_i эффективности функционирования БАС; i – порядковый номер случайного параметра; n – количество случайных параметров.

Сложность решения этой задачи заключается в необходимости определения вероятности p_i возникновения условий, при которых параметры r_i будут иметь отклонение от целевых значений. В исследовании [2] отмечается, что эффективная эксплуатация специализированных БАС обеспечивается рациональным выбором вариантов решения по подбору рабочих параметров. Поэтому в настоящей работе на предварительном эта-

пе предлагается сравнительный метод оценки ключевых функциональных возможностей, параметров эксплуатации и обслуживания рассматриваемых БАС. В этом случае отпадает необходимость вычисления вероятности событий, которые влияют на эффективность работы БАС при мониторинге мелиоративных объектов.

На предварительном этапе, например, при выборе конкретного устройства из существующего парка БАС или при его формировании, авторы предлагают вычислять интегральную бальную оценку K , определяемую суммированием баллов k_i за каждый i -й показатель эффективности. Общее количество параметров эффективности – n , тогда:

$$K = \sum_{i=1}^n k_i.$$

Результаты и обсуждение. При разработке методики оценки рекомендуется учитывать следующие i -е из n показателей эффективности:

- наличие или отсутствие функциональной возможности передачи оперативной информации мобильным устройствам различного назначения (планшет, смартфон и др.), в том числе управление БПЛА, получение фото- и видеосигнала, фото- и видеофиксация ситуации в режиме онлайн;

- разрешающая способность штатного съемочного оборудования в режиме true color (естественные цвета), разрешение пикселя;

- необходимость геодезической привязки;
- возможность установки нейтрально-серых (в том числе с переменной плотностью) и других светофильтров (в том числе ультрафиолетовых и поляризационных) для повышения качества съемки, защиты объектива и др. целей;

- наличие или отсутствие возможности программирования полетного задания на этапе разработки индивидуального технического задания на обследование или мониторинг мелиоративного объекта, в том числе в оригинальном программном обеспечении для БАС и стороннем;

- штатная возможность определения всех показателей экологического и технического состояния мелиоративных систем и объектов согласно ГОСТ Р 70611–2022 «Мелиорация земель. Методика оценки дистанционными методами технического и экологического состояния», в том числе возможность съемки в различных спектральных каналах, а также соответствие функциональных возможностей БАС другим ключевым отраслевым нормативным правовым документам;

- расширенная возможность навигации с помощью бортовой ГНСС (англ. Global Navigation Satellite System – глобальная навигационная спутниковая система), в том числе устанавливаемой на БАС дополнительно;

- возможность подключения штатной или установленной на БАС ГНСС к базовой сети станций (совокупности постоянно действующих спутниковых базовых станций, установленных на местности по определенной схеме и объединенных каналами коммуникаций) в режиме RTK (получение поправок и коррекция GPS-координат по базовым станциям)

в целях проведения съемки с геодезической точностью и повышения качества создания ортофотоснимков;

- максимальная высота полета;
- максимальная дальность полета;
- максимальная площадь покрытия за один полет;
- ветроустойчивость;
- максимальное время эксплуатации до разряда батареи;

возможность установки дополнительной полезной нагрузки, в том числе лидара для построения трехмерных карт и объектов;

- взлетная масса;
- эксплуатация в ночное время;
- эксплуатация в период с отрицательными температурами;

эксплуатация в дождь и туман;

возможность запуска и посадки БАС на необорудованных площадках, в том числе с руки оператора;

необходимость оборудования взлетно-посадочных площадок для эксплуатации БАС;

- число операторов и обслуживающего персонала;
- необходимость оборудования специальных мест хранения БАС, в том числе специальных помещений (зданий);

наличие или отсутствие штатной системы защиты БАС от падения при разрядке батареи;

финансовые затраты на проведение единичного мероприятия мониторинга;

финансовые затраты обслуживание БАС после единичного мониторинга;

- другие показатели.

Для использования данных параметров в расчете необходимо предварительно определить их значения (баллы). Возможны два варианта. Например, присвоение каждому показателю одного и того же значения или выделение специализированных и универсальных показателей для решения конкретных задач мониторинга мелиоративных объектов. В последнем случае потребуются оценивать весовые значения каждого *i*-го показателя эффективности, учитывающие их вклад в реше-

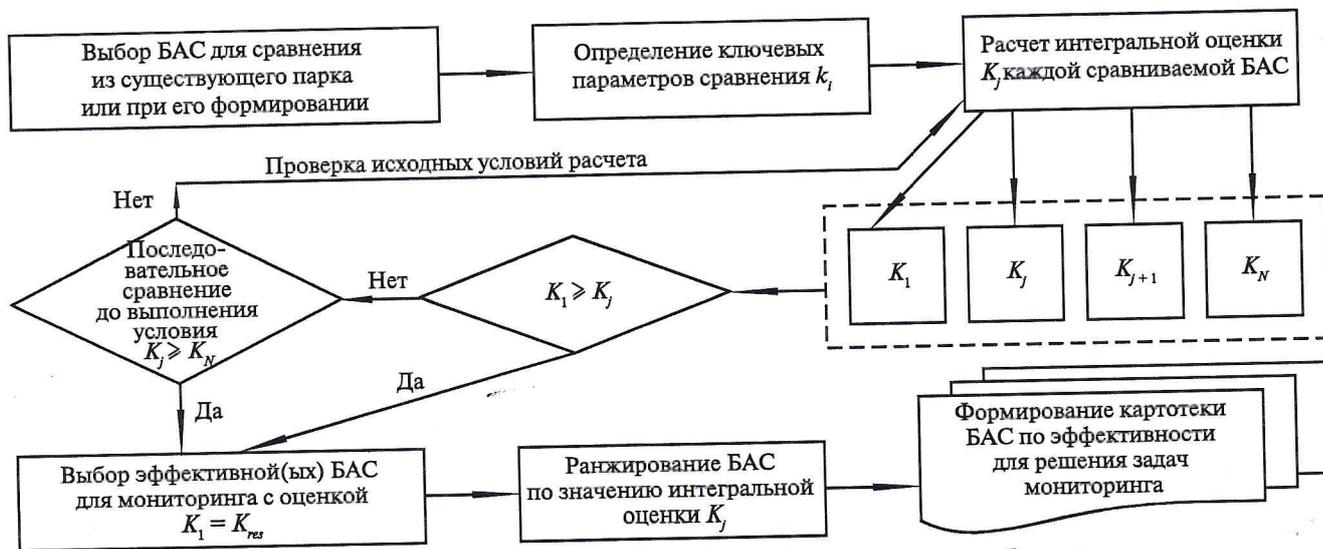
нии поставленной задачи. В обоих случаях расчет может быть автоматизирован посредством электронных таблиц MsExcel или разработки программы для ЭВМ.

При расчете интегральной бальной оценки K_j для БАС с порядковым номером *j* учитываются все показатели, которые не равны 0, также рассчитывается интегральная оценка K_{j+1} для БАС с порядковым номером *j*+1 и интегральная оценка для БАС с порядковым *N*, участвующих в подборе или определении той БАС, которая будет решать поставленную задачу мониторинга. Сравнивая полученные оценки, выбирают ту БАС, которая имеет наибольшее значение интегральной бальной оценки K_{res} , т. е.

$$K_{res} = K_j \geq K_{j+1}, \text{ или } K_{res} = K_j \geq K_N.$$

В общем случае оценка эффективности БАС может быть представлена в виде следующего алгоритма (см. рисунок). Расчет выполняется для выбранной группы БАС из существующего парка или из предварительного списка при его формировании. При этом для каждого из них вычисляются интегральные бальные оценки K_j , которые сравниваются между собой. Допускается, что на предварительном этапе оценки эффективности БАС значения K_j могут совпадать. В этом случае оба устройства считаются эффективными. На основе проведенного сравнения формируется список (картотека) БАС по степени их эффективности для решения задач мониторинга мелиоративных объектов. БАС с максимальным значением K_j может считаться универсальным.

Заключение. Использование предлагаемого подхода для оценки эффективности БАС позволит уже на этапе формирования технического задания на мониторинг получить расчетным методом количественные оценки возможности решения частных целевых задач с учетом предполагаемого состава БАС (целевые нагрузки в виде камер, геодезических приемников, сканеров, комплекса средств связи и др.). Интегральная оценка эффективности БАС обеспечит для организаций, подведомственных Депмелиорации Минсельхоза России, условия планирования и формирования рационального состава парка БАС, с учетом региональной специфики и структуры их государственного задания.



Алгоритм оценки эффективности БАС для мониторинга мелиоративных объектов

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. Велиева, 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. Pokazateli effektivnosti bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa // Sistemyi analiz i prikladnaya informatika. 2014. № 1–3. S. 17–22. EDN UGLOFN.

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

2. Aslanova A.B.g. Dvukhstupenchatyi metod optimizatsii effektivnosti bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa ozoнометрических измерений // Informatsiya i kosmos. 2021. № 2. S. 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. T. 6. № 2. S. 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 svoistv / 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

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