



**Учредители:**

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,  
ФГБНУ ВНИИ «Радуга», АНО «Редакция журнала  
«Мелиорация и водное хозяйство»

Издается с апреля 1949 года

# МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

№ 3  
май—июнь  
2025

**СОДЕРЖАНИЕ**

**СТРАНИЦА РЕДАКТОРА**

*Гулюк Г.Г.* Ирригационно-мелиоративные мероприятия в развитии сельского хозяйства . . . . . 2

*Кирейчева Л.В., Шабанов В.В., Rogachev Д.А., Князьков О.В.* Точная мелиорация – миф или реальность? . . . . . 3

**ГИДРОТЕХНИКА, ГИДРАВЛИКА**

*Михеев П.А., Х. Исмаил* Лабораторные исследования устройства для аэрации придонных слоев воды в условиях термокамеры. . . . . 7

*Толкачев Г.Ю., Дедова Э.Б., Ильина Т.А., Гетьман Е.Н.* Сезонная миграция тяжелых металлов в водных объектах бассейна Верхней Волги . . . . . 10

*Гурбанова Л.Г., Алиева Ф.З., Шекилиев Ф.И.* Формирование гидрохимического режима воды реки Аракс в условиях техногенной нагрузки. . . . . 16

**МЕЛИОРАЦИЯ И ПРИРОДНАЯ СРЕДА**

*Мазурова И.С., Зверьков М.С., Смелова С.С., Степанова Т.Г.* Классификация мелиорируемых земель с учетом эрозии почв в геоинформационной системе . . . . . 21

**МЕЛИОРАЦИЯ В РЕГИОНАХ**

*Максимов С.А., Масляник В.И.* Некоторые современные аспекты развития водохозяйственного комплекса Крыма . . . . . 26

*Юсупов М.М., Курбанов С.А.* Состояние и перспективы развития мелиорации земель в Республике Дагестан . . . . . 30

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАЦИИ**

*Зверьков М.С., Смелова С.С., Брыль С.В., Степанова Т.Г., Булгакова Т.Г.* Анализ индекса NDMI при дешифрировании спутниковых снимков орошаемых земель . . . . . 33

**ОРОШЕНИЕ**

*Грушин А.В., Коломеец А.В.* Повышение эффективности применения поливных трубопроводов капельного орошения. . . . . 37

**ОСУШЕНИЕ**

*Инишева Л.И., Порохина Е.В.* Процессы энзимологической трансформации азота в мелиорируемых торфяных почвах . . . . . 42

**ПЛАНИРОВАНИЕ, ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ**

*Кузнецов Е.В., Мацый В.С.* Менеджмент качества проектно-изыскательской документации мелиоративного комплекса России . . . . . 46

**ИНФОРМАЦИЯ**

Памяти Николая Степановича Саханчука . . . . . 53

**CONTENTS**

**EDITOR'S PAGE**

*Guliuk G.G.* Irrigation and land reclamation measures in agricultural development . . . . . 2

*Kireycheva L.V., Shabanov V.V., Rogachev D.A., Knyazkov O.V.* Precision melioration – myth or reality? . . . . . 3

**HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS**

*Mikheev P.A., Ismaeil H.* Laboratory studies of a device for aeration of bottom layers of water in a thermal chamber . . . . . 7

*Tolkachev G. Yu., Dedova E.B., Ilina T.A., Getman E.N.* Seasonal migration of heavy metals in the waters of the Upper Volga basin . . . . . 10

*Gurbanova L.G., Aliyeva F.Z., Shakiliyev F.I.* Features of hydrochemical water regime in the river Araz under conditions of technogenic load . . . . . 16

**MELIORATION AND NATURAL ENVIRONMENT**

*Mazurova I.S., Zverkov M.S., Smelova S.S., Stepanova T.G.* Classification of reclaimed land taking into account of soil erosion in the geographic information system . . . . . 21

**MELIORATION IN REGIONS**

*Maksimov S.A., Maslyanik V.I.* Some modern aspects of the development of the Crimean water management complex . . . . . 26

*Yusupov M.M., Kurbanov S.A.* Status and prospects land reclamation in the Republic of Dagestan . . . . . 30

**SCIENTIFIC ENSURING MELIORATION**

*Zverkov M.S., Smelova S.S., Bryl S.V., Stepanova T.G., Bulgakova T.G.* Analysis of NDMI index values for satellite images decrypting of irrigated land. . . . . 33

**IRRIGATION**

*Grushin A.V., Kolomeets A.V.* Improving the efficiency of irrigation systems drip irrigation pipelines . . . . . 37

**DRAINAGE**

*Inisheva L.I., Porokhina E.V.* Processes of enzymological transformation of nitrogen in reclaimed peat soils . . . . . 42

**PLANNING, ECONOMY, MANAGEMENT**

*Kuznetsov E.V., Matsiy V.S.* Quality management of design and survey documentation reclamation complex of Russia. . . . . 46

**INFORMATION**

In memory of N.S. Sakhanchuk . . . . . 53

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-61128 от 03.04.2015.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), полные тексты статей доступны на сайте <https://elibrary.ru>.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 6,2. Тираж 1000 экз.

Верстка Т.Б. Самсонова

Адрес редакции: 127550, Москва, Б. Академическая, д. 44, корп. 2. Тел./факс (499) 976-02-71. E-mail: [mivh@mail.ru](mailto:mivh@mail.ru), <http://mivh.vniigim.ru>

Главный редактор – Г.Г. ГУЛЮК

**Редакционный совет:**

М.В. БОРОВОЙ, М.В. ГЛИСТИН, Н.К. ДОЛГУШКИН, Н.Н. ДУБЕНОК, Д.В. КОЗЛОВ, А.В. КОЛГАНОВ, И.П. КРУЖИЛИН, А.П. ЛИХАЦЕВИЧ, Я.П. ЛОБАЧЕВСКИЙ, С.Г. МИТИН, П.А. МИХЕЕВ, В.И. ОЛЬГАРЕНКО, Г.В. ОЛЬГАРЕНКО, Н.Н. СОЛОДЧУК, Т.Г. СТЕПАНОВА, В.И. ТРУХАЧЁВ, М.М. ХИСМАТУЛЛИН, В.А. ШЕВЧЕНКО, В.Н. ЩЕДРИН, В.П. ЯКУШЕВ, С.В. ЯХНЮК

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов публикаций.

## ИРРИГАЦИОННО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В РАЗВИТИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



**Г.Г. ГУЛЮК**

*Уважаемые мелиораторы России!  
Дорогие друзья!*

**В** завершение моей работы в журнале «Мелиорация и водное хозяйство» не могу не отметить ряд федеральных государственных бюджетных учреждений, которые на протяжении более 10 лет с большим уважением относились и относятся к издательству журнала, к научным статьям авторов по внесению разъяснений к созданию новых подходов совершенствования эксплуатации мелиоративных систем, восстановлению их работоспособности и экономической эффективности.

В первую очередь это: ФГБУ «Управление «Чувашмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Воронежмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Камчаткмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Курскмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Красноярскмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Кировмелиоводхоз», ФГБУ «УЭБСК», ФГБУ «Управление «Белгородмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Башмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Сахалинмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Кемеровомелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Владимирмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Астраханьмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Приммелиоводхоз», ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», ФГБУ «Управление «Алтаймелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Туламелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Липецкмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Мармелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Севостинмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», ФГБНУ «ВНИИ «Радуга», ФГБУ «УЭТКГиЧВ».

Безусловно воспринимая и понимая суть научно-производственных вопросов журнала, они проводили плановую подписку на отраслевой журнал.

Ирригационно-мелиоративные мероприятия с каждым годом приобретают все большее значение в планах развития сельского хозяйства, страны, в разрешении важных и сложных задач получения высоких и устойчивых урожаев, повышения уровня производства технических и продовольственных культур, в развитии общественно-животноводства. Определяя меры развития сельского хозяйства из соответствующих климатических условий текущего года, необходимо определить задачи по наведению порядка в использовании имеющихся оросительных и осушительных систем, упорядочивания водопользования, определиться со структурой управления мелиоративного комплекса. Безусловно, успешно выполняя снижение численности, увлечение переводу ответственности на сельхозорганы территорий в нынешних условиях, поверьте, успеха не приносит.

Установление огромного количества землепользователей в связи с изменением собственников более того, с низким уровнем специалистов – провальное дело.

На мой взгляд, учитывая и в дальнейшем изменение климата, возникает необходимость на уровне Министерства сельского хозяйства России провести расширенное совещание с приглашением руководства территорий, землепользователей, мелиораторов, науку и выработать систему ирригационно-мелиоративных мероприятий в общих планах развития сельского хозяйства и, особенно, в деле повышения урожайности технических, зерновых и других сельскохозяйственных культур, определив ответственность за правильное и полное использование выделяемых государственных средств на содержание в надлежащем порядке и правильное использование орошаемых и осушенных земель. Необходимо представить, что 30...50 лет назад усилиями советского народа при прямой помощи руководства страны создано большое и сложное мелиоративное хозяйство.

В системе землепользования и без нее, учитывая бесхозную мелиоративную систему, состоящую из десятка тысяч гидротехнических сооружений, в числе которых находятся крупнейшие ирригационные и осушительные каналы, протяженностью в несколько сот километров каждый, большое количество сложнейших плотин, крупных водохранилищ и других сооружений.

Правильное использование этих громадных ценностей, прежде всего в целях дальнейшего повышения урожайности, и является первой обязанностью сельскохозяйственных работников – к чему теперь стремится нынешняя структура управления мелиоративным комплексом.

Необходимо уже в текущем году провести большую работу по разработке планов сельскохозяйственного освоения мелиорированных земель, чтобы к концу текущего года внесена ясность, какие мероприятия нужно осуществить для полного использования в 2026 г.

Нынешнее состояние мелиорированных земель в Российской Федерации требует незамедлительных мероприятий по повышению плодородия почв.

Строительство мелиоративных систем в 1960–2000 гг. не учитывало отсутствие эксплуатационных мероприятий и что основная часть продукции растениеводства на территории Российской Федерации производится в зонах рискованного земледелия с недостаточным или избыточным количеством осадков. Значительный ущерб сельскому хозяйству наносят засушливые и избыточно-влажные годы и экстремальные проявления неблагоприятных климатических факторов. Нейтрализовать риски проявления неблагоприятных погодных условий для сельскохозяйственного производства, которое в последнее десятилетие участились, возможно, только увеличение доли мелиорируемых земель в составе сельхозугодий.

Мелиоративные системы, построенные 30 лет назад, исчерпали свой ресурс и в значительной степени работоспособность, новое строительство не ведется. Реальная продуктивность на мелиорируемых землях в 3...5 раз ниже потенциальной возможной, что и опре-

деляется низким техническим состоянием мелиоративных систем, но и проявлением деградированных процессов на мелиоративных угодьях и прилегающих территориях.

Учитывая рост населения в мире, спрос на продовольствие в обозримом будущем будет возрастать.

В этой связи отношения ученых, мелиораторов к такой ситуации требуют особого отношения и принятия мер.

ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» в мае 2025 г. провел семинар «Точная мелиорация – миф или реальность?» по современным технологиям в аграрном водопользовании.

Семинар посвящен актуальным вопросам внедрения цифровых и интеллектуальных технологий в мелиоративную отрасль, включая использование искусственного интеллекта и математического моделирования. Организатором мероприятия выступила д-р техн. наук, профессор Л.В. Кирейчева.

УДК 631.6

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-3-7

## ТОЧНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Л.В. КИРЕЙЧЕВА, В.В. ШАБАНОВ, Д.А. РОГАЧЕВ, О.В. КНЯЗЬКОВ

**С**еминар «Точная мелиорация – миф или реальность» состоялся в мае 2025 г. в Москве и посвящен актуальным вопросам внедрения цифровых и интеллектуальных технологий в мелиоративную отрасль, включая использование искусственного интеллекта и математического моделирования. Организатором мероприятия выступила д.т.н., профессор Л.В. Кирейчева. Она отметила, что изначально мелиорация была направлена на выравнивание природных условия для достижения высокого уровня плодородия почвы и создания оптимального мелиоративного режима на мелиорированных землях. При этом возникает необходимость прецизионного управления инженерной мелиоративной системой для регулирования мелиоративного режима, обеспечивающего подачу воды и питательных веществ по фазам развития культурных растений, что можно трактовать как «точная мелиорация».

В семинаре приняли участие представители ведущих научных организаций и образовательных учреждений, отраслевых институтов, Департамента мелиорации Минсельхоза РФ, а также эксперты российских технологических компаний, финансовых структур и зарубежные специалисты из Израиля, Киргизии и Узбекистана. Среди участников семинара – ученые ФНЦ и его региональных филиалов, представители ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, МГУ им. М.В. Ломоносова, ФГБУ «Управление «Приволжскмелиоводхоз», ФГБНУ ВНИИ «РАДУГА», ФГБОУ ВО ГУЗ, ФГБНУ «РосНИИПМ», ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, ФГБОУ ВО Казанского ГАУ, а также эксперты из Минсельхоза РФ, АО «Россельхозбанк», Ассоциации лабораторий по развитию искусственного интеллекта, Zemach Agricultural Technologies (Israel), ООО «Информационные и нейросетевые технологии», ООО «РДА-Софт» и др.

При этом появляется возможность и необходимость управления инженерной мелиоративной системой для регулирования мелиоративного режима, обеспечивающего подачу воды и питательных веществ по фазам развития культурных растений. Что можно трактовать как «Точная мелиорация». В докладах, представленных на семинаре, изложены теоретические основы, методология, технология точного земледелия и мелиорации, а также обсуждены практические аспекты их применения, что определило актуальность дискуссионность данной проблемы.

С предложениями выступили: Л.В. Кирейчева (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»), В.В. Шабанов (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. Тимирязева), Д.А. Рогачев (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»), О.В. Князьков (АО «Россельхозбанк»).

Главный редактор журнала «Мелиорация и водное хозяйство»  
Г.Г. Гулюк

В процессе работы семинара исполнительный директор Ассоциации лабораторий по развитию искусственного интеллекта Вячеслав Андреевич Береснев поздравил ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» с важным достижением – успешным прохождением отраслевой экспертизы разработки АСУ «Водопользование ОС» и ее включением в официальный каталог подтвержденных решений в сфере искусственного интеллекта. Это событие стало значимым признанием вклада института в развитие цифровых технологий для водного хозяйства. Сертификат вручен руководителю научного направления ФНЦ, профессору, доктору технических наук Людмиле Владимировне Кирейчевой.

В докладах, представленных на семинаре, изложены теоретические основы, методология, технология точного земледелия и мелиорации, а также обсуждены практические аспекты их применения, что определило актуальность и дискуссионность данной проблемы.

• **Точная мелиорация – основные понятия и перспективы развития** (проф., д.т.н. В.В. Шабанов, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева).

Доклад посвящен переосмыслению термина «мелиорация» и обоснованию концепции точной мелиорации как системы рационального, научно обоснованного управления водным, солевым и тепловым режимами мелиорируемых земель для оптимально регулирования факторами жизни растений. Автор привел исторический опыт Древнего Египта, где мелиорация была точной и основанной на моделях и измерениях. Подчеркнул необходимость реализации «требований мелиорации» к точному описанию условий внешней среды и почвенной биоты с учетом неоднородности природных объектов во времени, в пространстве и по объектам управления (почва, растение, биота). Предложил подход, в котором точная мелиорация должна опираться



ся на моделирование, прогнозирование, мониторинг и учитывать различия между биотическими и абиотическими объектами. Раскрыл новые направления исследований от создания баз данных и знаний, ГИС-интеграции и анализа Big Data до разработки обучающих и экспертных систем. Привел пример научно-технического достижения – расчета влагозапасов на различных элементах ландшафтной катены [1, 2].

• **Точная мелиорация в климатической и экономической повестке – вызовы и возможности** (О.В. Князьков, заместитель руководителя Центра отраслевой экспертизы АО «Россельхозбанк»).

Докладчик рассмотрел ключевые направления развития мелиорации, как инструментария повышения устойчивости сельского хозяйства к климатическим рискам. Подчеркнул роль Россельхозбанка в качестве основного финансового партнера АПК и необходимость расширения ирригации при активной государственной поддержке. Отметил, что по расчетам Центра отраслевой экспертизы банка на перевод 1 млн га под орошение требуется до 390 млрд руб. В настоящее время состояние оборудования требует модернизации и обновления фонда, на что потребуются дополнительные меры господдержки в виде увеличения федеральных лимитов для возмещения капитальных затрат на проект. Показал высокую эффективность орошения в Агрохолдингах, обеспечивающую кратный рост урожайности и прибыли при быстрой окупаемости. Отметил перспективы развития мелиорации до 2030 г., включая цифровизацию, роботизацию и внедрение отечественных решений. Инициативой для внедрения инноваций должны стать мастер-классы и испытательные полигоны.

• **Водо-энергосберегающие инновационные технологии и техника** (д.с.-х.н. М.М. Хисматуллин, ФГБУ «Приволжскмелиоводхоз»).

Докладчик сосредоточился на практике перехода от традиционных методов мелиорации к точным технологиям, позволяющим эффективно использовать воду и энергию с учетом особенностей каждого участ-

ка. На примере Татарстана продемонстрировал успешные решения: капельное орошение, автоматизированный полив, энергосберегающая техника, цифровые платформы и ИИ-алгоритмы управления водопользованием. Эти мероприятия уже обеспечивают рост урожайности, снижение затрат и улучшение качества продукции. Опыт республики подтверждает, что точная мелиорация – это реальный инструментальный повышения эффективности аграрного сектора и залог его устойчивого развития [3].

• **Advancing Soil Health Through Innovation: An R&D Platform for Precision Soil Analysis, Irrigation, and Fertigation in Sustainable Agriculture** (Dr. Pavel Trifonov, Zemach Agricultural Technologies – Israel).

Доклад Павла Трифонова посвящен инновационным методам управления здоровьем почвы и точному сельскому хозяйству. Он представил исследования научно-исследовательского центра Zemach Ag-Tech с 70-летним опытом, который объединяет науку, лабораторные услуги и обучение. Основное внимание уделено исследовательской ферме, где ежегодно реализуются 50 проектов, включая внедрение сенсоров, точного орошения и дистанционного зондирования. Также выделен лабораторный комплекс, занимающийся анализом почвы, воды и питания растений. Доклад включал примеры проектов поддержания и оптимизации микробного сообщества почвы при выращивании бананов, селекции новых сортов манго, разработка сенсоров для мониторинга состояния посевов, а также внедрение систем агрофотовольтаики (Agro-PV). Последние сочетают производство электроэнергии с солнечных панелей и аграрное производство для повышения устойчивости и продуктивности агросистем. Инновации центра Zemach Ag-Tech помогают повышать устойчивость сельского хозяйства и рационально использовать ресурсы.

• **Точное земледелие и мелиорация – границы и сопряженные области** (к.б.н. Т.Ю. Пуховская, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

Докладчик показала необходимость интеграции технологий точного земледелия и мелиорации. Привела методы управления продуктивностью посевов с учетом внутривидовой вариативности среды обитания растений, выявила причины почвенной неоднородности (природные и антропогенные), проиллюстрировала подходы к ее оценке, включая картирование урожайности, измерение электропроводности почвы, дистанционное зондирование (ДЗЗ) и применение сенсоров. Привела примеры высокой эффективности дифференцированного управления почвенными режимами и целесообразности комплексного применения технологий точного земледелия и мелиорации на уровне хозяйства.

• **Использование цифровых моделей рельефа и дистанционного зондирования при мелиорации и рекультивации сельскохозяйственных земель** (П.П. Лепехин, к.г.н. доцент, ФГБОУ ВО ГУЗ, М.В. Зимин, к.г.н., МГУ им. М.В. Ломоносова, Д.А. Шаповалов д.т.н., профессор ФГБОУ ВО ГУЗ).

В докладе обобщены современные подходы и технологии, применяемые для повышения урожайности и устойчивого использования земельных ресурсов в условиях климатических изменений. Для решения этих задач применяются цифровые модели рельефа (ЦМР) и данные дистанционного зондирования (ДЗЗ). Эти технологии позволяют более точно анализировать состояние земель, прогнозировать риски и управлять восстановительными мероприятиями. Интеграция данных из спутниковых снимков с ГИС-аналитикой позволяет выявлять проблемные зоны и повышать продуктивность сельскохозяйственных угодий. ЦМР помогают в проектировании дренажных систем, оптимальном размещении объектов и управлении водными ресурсами. Мультиспектральные данные (NDVI, NDMI) дают возможность контролировать состояние растений, прогнозировать урожайность. Анализ сочетания разных спектральных каналов и группировка данных по сходным признакам позволяют глубже понять состояние сельскохозяйственных земель. Применение анализа температуры земной поверхности (LST) важно для оценки изменений в экосистемах и управления климатическими рисками. Балльная оценка состояния полей, проведенная с нормализацией и интерполяцией, позволяет принять обоснованные управленческие решения.

• **Перспективы использования ИИ для точного орошения** (к.т.н. Д.А. Рогачев, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

Доклад посвящен применению искусственного интеллекта (ИИ) для повышения эффективности системного водораспределения и точного орошения в условиях дефицита водных ресурсов. Традиционные методы полива зачастую приводят к нерациональному расходу воды и снижению плодородия почв. ИИ, как междисциплинарная область, позволяет анализировать большие массивы данных, прогнозировать погодные и гидрологические условия, а также автоматизировать управление оросительными системами [4]. В докладе подробно рассмотрены основные направления применения ИИ: прогнозирование урожайности, анализ влажности почвы

и уровня осадков, цифровое моделирование участков с использованием ГИС, а также автоматизация управления дождевальными машинами. Докладчик привел примеры зарубежных проектов, таких как Phyttech AI Advisor, CORPX и FieldNET, а также отечественных разработок: АСУ «Водопользование ОС» (разработка ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова) [5, 6], интеллектуальная система мониторинга и управления дождевальными машинами компании БСГ, решения РосНИИПМ и отечественная модель интеллектуальной системы управления оросительным комплексом, разработанная в Саратовском ГАУ имени Н.И. Вавилова.

• **Точная мелиорация – основные понятия и перспективные технологии** (к.с.-х.н. М.Н. Лытов, ВНИИ-ОЗ – филиал ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

В докладе проанализированы технологии точного орошения, как фактор современного направления в мелиорации, обеспечивающего рациональное использование водных ресурсов. Приведены различные определения термина «точная мелиорация», подчеркивающие применение цифровых платформ, сенсоров, ГИС и автоматизации для дифференцированной подачи воды с учетом изменчивости почвенных и климатических условий. Обоснована необходимость адаптивного полива на участках с разным микрорельефом и почвенными комплексами. Рассмотрены технические решения: системы VRI (Variable Rate Irrigation – орошение с переменной нормой полива), капельное орошение, автоматические метеостанции и поливные установки. Технологии точного орошения представлены, как ключ к повышению урожайности и эффективности агропроизводства [7, 8].

• **Анализ и прогнозирование временных рядов температурных и гидрологических данных с помощью нейросетевых и веб-технологий** (к.т.н. А.В. Матвеев, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

Доклад посвящен опыту использования нейросетевых и веб-технологий для анализа и прогнозирования температурных и гидрологических данных в целях точной мелиорации. Рассмотрены различные модели прогнозирования – от традиционных статистических методов до современных подходов с использованием искусственного интеллекта, включая нейросетевые модели типа LSTM (Long Short-Term Memory), способные сохранять значимую информацию из прошлых данных и применять ее для повышения точности предсказания будущих событий. Особое внимание уделено преимуществам LSTM-сетей в учете сезонности, трендов и нелинейных зависимостей. Отмечены технические и методические трудности, влияющие на точность прогнозов, заключающиеся в высокой потребности LSTM-моделей в вычислительных ресурсах, необходимости большого объема исторических данных, сложности настройки гиперпараметров, а также в недостаточном качестве прогноза при использовании упрощенных моделей без нормализации данных и многошагового подхода [9].

• **Перспективы развития точного мелиоративного регулирования пространственной неоднородности распределения влагозапасов по полю** (аспирант А.Ю. Кульчев, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова).

Тематика выступления – разработка мобильного робота для автоматизированного сбора данных о пространственном распределении влаги в почве в режиме реального времени. Представлена концепция устройства, основанного на использовании недорогих компонентов, открытого программного обеспечения и различных модулей (датчики рН, влажности, температуры, GPS, камера и др.), позволяющего собирать и анализировать агроэкологические параметры. Научная новизна определяется применением роботизированной платформы для оценки влагозапасов в корнеобитаемом слое, что создает основу для прецизионного управления поливами. Разработка ориентирована как на научное сообщество, так и на практическое применение в АПК [10].

• **Обобщенные итоги семинара** подвел проф. МГУ им. М.В. Ломоносова, д.б.н. А.В. Смагин.

Семинар в ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» подтвердил высокую потенциальную эффективность наукоемких технологий точной мелиорации для современного агропроизводства, и вместе с тем, выявил ряд нерешенных проблем данного направления. Кардинальная проблема состоит в соотношении масштабы и выровненности мелиорируемых участков по базовым почвенно-экологическим показателям. Традиционные мелиоративные проекты, технологии обработки и окультуривания почвы направлены на выравнивание свойств и создание общего агрофона с высоким плодородием. Прецизионное или «точечное» земледелие, напротив, адаптируется под исходную неоднородность полей с использованием специальной техники для дозированного внесения удобрения, мелиорантов, поливной влаги и соответствии с выявленными при обследовании локальным дефицитом элементов-биофилов или неблагоприятными эдафическими факторами. По-видимому, выбор в пользу традиционной или точной мелиорации, а возможно, и их комбинации в крупномасштабных проектах определяется исходным уровнем неоднородности полей и экономической целесообразностью. При этом западные технологии «точечного» земледелия, приспособленные к контрастным литологическим условиям и сложному рельефу моренных ландшафтов и предгорий европейских стран и, возможно, части Нечерноземья РФ с небольшими (мелко и среднимасштабными) фермерскими хозяйствами, могут быть нерентабельными для крупномасштабных агрохозяйств на относительно выровненных по почвенному плодородию полях черноземной (степной) зоны, куда в настоящее время переместился центр тяжести российского агропроизводства.

Ряд докладов показал явные преимущества AI-технологий в эффективности (быстроте) обработки больших массивов данных почвенно-экологических свойств и режимов, а также в их прогнозировании с использованием входной информации в виде стандартно-изменяемых метеопоказателей. Однако надо понимать, что такие AI-модели остаются сугубо эмпирическими и не могут претендовать на адекватный прогноз в случае выхода измеряемых показателей за диапазон их варьирования во время настройки (обучения) AI, то есть прогнозировать далекие от среднестатистических «ката-

строфические» события с максимальными рисками для агропроизводства. По-видимому, в проектах точной мелиорации целесообразно органическое сочетание эмпирических AI-моделей и физически обоснованных процессных моделей динамики тепла, влаги, растворенных веществ 2/3D-уровня [Kasimov et al, 2025<sup>a,b</sup>], причем AI-подмодели могут значительно облегчить ввод информации в процессные модели, например, при оцифровке рельефа, обработке временных рядов метеопоказателей, данных высокочастотного мониторинга почвенных режимов и иных показателей, контролирующей агропродуктивность. Участники симпозиума единодушно одобрили инициативу ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» по обоснованию и изучению нового научного тренда точной мелиорации и выразили пожелание о более масштабном анонсе будущих мероприятий для формирования широкой аудитории заинтересованных специалистов и агробизнеса.

В рамках озвученных докладов подчеркнута важная роль точной мелиорации как ключевого инструментария повышения эффективности водопользования, адаптации агросектора к климатическим изменениям и перехода к устойчивым формам сельского хозяйства. Внедрение цифровых и интеллектуальных технологий, включая ИИ, дистанционное зондирование и математическое моделирование, позволяет оперативно учитывать пространственную неоднородность агроландшафтов, оптимизировать режимы орошения и снизить затраты ресурсов [11–13].

Работа семинара сопровождалась оживленной дискуссией, в процессе которой участники отметили высокую актуальность обсуждаемых вопросов и необходимость интеграции цифровых решений в процессы управления мелиоративными системами.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность всем докладчикам и участникам семинара за ценные идеи, обмен опытом и материалы, положенные в основу настоящей публикации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шабанов В.В., Голованов А.И. Некоторые аспекты точной мелиорации // *Природообустройство*. 2019. № 1. С. 92–96. EDN AWUSJT.
2. Эффективное водопользование при орошении: теоретические и прикладные аспекты / С.Д. Исаева, А.Л. Бубер, А.О. Шербаков [и др.]. М.: ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова, 2022. С. 241–248. ISBN 978-5-907464-26-1. EDN PQZBJP.
3. Современное состояние и экономическая эффективность мелиоративного земледелия в Республике Татарстан в условиях роста аридности климата / М.М. Хисматуллин, А.А. Лукманов, М.М. Хисматуллин [и др.] // *Аграрная наука*. 2024. № 5. С. 136–143. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-382-5-136-143. EDN IZXHRO.
4. 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.
5. Оптимизация распределения ограниченных водных ресурсов методами эволюционно-генетического программирования / Л.В. Кирейчева, Д.А. Рогачев, И.Ф. Юрченко, А.Ф. Рогачев // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2024. № 2(398). С. 233–238. DOI: 10.55186/25876740\_2024\_67\_2\_233. EDN QABDGE.
6. Интеллектуальная подсистема технической эксплуатации АСУ «Водопользование оросительной системы» / Д.А. Рогачев, Л.В. Кирей-

чева, С.Б. Адыев, А.Г. Блохин // Природообустройство. 2025. № 2. С. 6–14. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-2-6-14. EDN KHN VAT.

7. Бубер А.А., Лытов М.Н., Меньшикова С.А. Концептуальные подходы к проектированию комплексных мелиораций на уровне агро- и микроаглоландшафтов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 6(78). С. 367–376. DOI 10.32786/2071-9485-2024-06-40. EDN OQORPM.

8. Мелиоративные технологии повышения плодородия почв и конструкции гидромелиоративных систем / Л.В. Кирейчева, В.А. Шевченко, А.М. Соловьев [и др.] // Научное обоснование развития мелиорации, водного хозяйства и орошаемого земледелия. М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. С. 12–183. EDN DSKNHE.

9. 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.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2024. 204 с. ISBN 978-5-907464-78-0. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.19.62.001. EDN ZTXNHM.

10. Моделирование природно-техногенных процессов в мелиоративно-водохозяйственном комплексе / В.А. Шевченко, Г.И. Бондарева, Э.Б. Дедова [и др.]. М.: ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2025. 231 с. ISBN 978-5-907464-75-9. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2025.48.97.001. EDN VFODYW.

11. Kasimov A., Obnosov Yu., Nikonenkova T., Smagin A. Analytical and HYDRUS-2D models of seepage from buried trapezoidal ditches as subsurface capillarity-driven irrigating units. // Modeling Earth Systems and Environment. 2025 a. 11:136, 11 p. <https://doi.org/10.1007/s40808-025-02301-6>.

12. Smagin A.V. A physically based model for the entire soil water retention curve // Soil Sci. Soc. Am. J. 2025, Vol. 89: e70054. P. 1–24. <https://doi.org/10.1002/saj2.70054>

13. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V., Egorov Yu.V., Vityazev V.G., Bashina A.S. Dependence of the Osmotic Pressure and Electrical Conductivity of Soil Solutions on the Soil Water Content // Eurasian Soil Sci., 2018, Vol. 51, No. 12, pp. 1440–1451. <https://doi.org/10.1134/S1064229318120128>

#### REFERENCES

1. Shabanov V.V., Golovnov A.I. Some aspects of precise land reclamation // Environmental management. 2019. No. 1. Pp. 92–96. EDN AWUSJT.

2. Effective water use in irrigation: theoretical and applied aspects / S.D. Isaeva, A.L. Buber, A.O. Shcherbakov [et al.]. М.: А.Н. Костяков All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2022. Pp. 241–248. ISBN 978-5-907464-26-1. EDN PQZBJP.

3. Khismatullin M.M., Lukmanov A.A., Khismatullin M.M. [Current state and economic efficiency of reclamation agriculture in the Republic of Tatarstan in conditions of increasing climate aridity] // Agrarian Science. 2024. No. 5. Pp. 136–143. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-382-5-136-143. EDN IZHR.

4. 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.

5. Optimization of the distribution of limited water resources by methods of evolutionary genetic programming / L.V. Kireicheva, D.A. Rogachev, I.F. Yurchenko, A.F. Rogachev // International Agricultural Journal. 2024. № 2(398). Pp. 233–238. DOI: 10.55186/25876740\_2024\_67\_2\_233. EDN GABJE.

6. The intelligent subsystem of technical operation of the automated control system «Water use of the irrigation system» / D. A. Rogachev, L. V. Kireicheva, S. B. Adyaev, A. G. Blokhin // Environmental management. 2025. No. 2. Pp. 6–14. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-2-6-14. EDN KHN VAT.

7. Buber A.A., Lytov M.N., Menshikova S.A. Conceptual approaches to the design of complex land reclamation at the level of agro- and microagrolandscapes // Izvestia of the Nizhnevolszhsy Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2024. № 6(78). Pp. 367–376. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-06-40. EDN OQORPM.

8. Land reclamation technologies for increasing soil fertility and the design of hydro-reclamation systems / L.V. Kireicheva, V.A. Shevchenko, A.M. Soloviev [et al.] // Scientific substantiation of the development of land reclamation, water management and irrigated agriculture. М.: А.Н. Костяков Federal State Budgetary Scientific Research Center VNIIGiM, 2024. Pp. 12–183. EDN DSKNHE.

9. Intelligent decision support system for the management of the melioration and water management complex: on the 100th anniversary of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov / S.D. Isaeva, E.B. Dedova, A.V. Matveev [et al.]. М.: Scientific Research All-Russian Institute of Hydraulic Engineering and Melioration A.N. Kostyakov, 2024. 204 p. ISBN 978-5-907464-78-0. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.19.62.001. EDN ZTXNHM.

10. Modeling of natural and man-made processes in the reclamation and water management complex / V. A. Shevchenko, G. I. Bondareva, E. B. Dedova [et al.]. М.: А.Н. Костяков Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2025. P. 231. ISBN 978-5-907464-75-9. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2025.48.97.001. EDN VFODYW.

11. Kasimov A., Obnosov Yu., Nikonenkova T., Smagin A. Analytical and HYDRUS-2D filtration models from buried trapezoidal ditches as underground irrigation systems with capillary drive // Modeling of terrestrial systems and the environment. 2025, issue 11:136, 11 p. <https://doi.org/10.1007/s40808-025-02301-6> 12.

12. Smagin A.V. A physically sound model for the entire soil moisture retention curve // Soil Science. Soc. Am. J. 2025, Volume 89: e70054. Pp. 1–24. <https://doi.org/10.1002/saj2.70054>

13. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V., Egorov Yu.V., Vityazev V.G., Bashina A.S. Dependence of osmotic pressure and electrical conductivity of soil solutions on the water content in the soil // Eurasian Soil Science., 2018, Volume 51, No. 12. Pp. 1440–1451. <https://doi.org/10.1134/S1064229318120128>

**Кирейчева Людмила Владимировна**, доктор техн. наук, профессор, рук. научного направления; **Рогачёв Дмитрий Алексеевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-4014-4770>, [Rogachev.soft@gmail.com](mailto:Rogachev.soft@gmail.com) (ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Москва); **Шабанов Виталий Владимирович**, науч. руководитель проблемной лаборатории, <https://orcid.org/0000-0001-9798-519X> (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва); **Князьков Олег Владимирович**, зам. руководителя Центра отраслевой экспертизы (АО «Россельхозбанк»).

УДК 504.064.4:504.4.062.2:504.455

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-7-10

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АЭРАЦИИ ПРИДОННЫХ СЛОЕВ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОКАМЕРЫ

П.А. МИХЕЕВ, Х. ИСМАИЛ

**Ключевые слова:** устройство для аэрации, термокамера, температура, пузырьки воздуха, выпускной клапан.

**Keywords:** aeration device, thermal chamber, temperature, air bubbles, exhaust valve.

**Аннотация.** Лабораторные исследования выполнялись на модели устройства, установленной в термокамере, в которой создавался температурный режим в диапазоне температур от 15 до 50 °С, в процессе повышения температуры воздух поступал в емкость с водой. Процесс выделения воздуха устройством фиксировался и оценивался методом пузырьков и методом водоизмещения. В условиях термокамеры подтверждена возможность насыщения воды воздухом с помощью устрой-

ства для аэрации придонных слоев воды принцип работы, которого основан на использовании энергии солнца.

**Abstract.** Laboratory studies were performed on a model of the device installed in a thermal chamber, in which a temperature regime was created in the temperature range from 15 to 50 °C. During the temperature increase, air was supplied to a container with water. The process of air release by the device was recorded and evaluated by the bubble method and the displacement method. Under the conditions of a thermal chamber, the possibility of saturating water with air using a device for aeration of bottom layers of water has been confirmed, the principle of operation of which is based on the use of solar energy.

**В**ведение. Происходящие изменения климата связаны, прежде всего, с повышением температуры, что существенно влияет на экологическое состояние водных объектов и, в первую очередь, пресноводных источников питьевого и хозяйственного назначения. В этих условиях сохранение объектов водного хозяйства, в соответствии с нормативами основных показателей качества воды, является важной научной и технической задачей. Как известно одним из основных показателей качества воды естественных водоисточников является содержание растворенного кислорода [1, 2]. Среди существующих подходов и технических решений, обеспечивающих повышения растворенного кислорода, технология аэрация воды является наиболее распространенной. При этом, несмотря на многообразие существующих способов, и технических решений для аэрации воды, основными критериями выбора конструкций аэраторов являются их надежность и энергетические показатели [3]. Современными тенденциями в разработке и применении конструкций аэраторов являются, так называемые энергонезависимые решения, основанные на использовании возобновляемых источников энергии, прежде всего, солнечной радиации [4–6]. Традиционно системы энергонезависимости на основе солнечной энергии, в том числе и для аэрационных систем, основаны на комплексе солнечных батарей и других элементов, способных генерировать, хранить и использовать энергию. В работе представлены результаты лабораторных исследований устройства

для аэрации придонных слоев воды, основанного на использовании прямой солнечной энергии [7].

*Целью лабораторных исследований* являлось установление основных закономерностей и технических возможностей устройства для аэрации придонных слоев воды в режиме работы термокамеры.

**Материал и методы исследований.** Устройство для аэрации придонных слоев воды, в соответствии с патентом на полезную модель, состоит из емкости-накопителя, в верхней части которой установлен впускной клапан для воздуха, а в нижней трубка-воздуховод, по которой воздух, при нагревании емкости-накопителя в дневное время, поступает в толщу водоема, насыщая кислородом придонные слои воды [7]. В ночное время суток воздух в емкости-накопителе охлаждается, давление внутри снижается, впускной клапан открывается, и атмосферный воздух заполняет полость емкости.

Исследования устройства для аэрации придонных слоев воды проводились в лаборатории гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в период с декабря 2023 г. по апрель 2024 г.

Для проведения лабораторных исследований изготовлена термокамера, состоящая из деревянного каркаса размером 70×70×70 см, покрытого изнутри отражающим фольгированным утеплителем толщиной 10 мм. Внутри камеры размещалась экспериментальная модель устройства для аэрации придонных слоев воды (рис. 1).

Для поддержания стабильной температуры внутри термокамеры у задней стенки установлены вентилятор и четыре лампы накаливания мощностью 95 Вт, подключенные к регулятору температуры, установленному на внешней поверхности термокамеры, который, в свою очередь, содержал датчик для измерения температуры в диапазоне 0...100 °С и управления работой ламп накаливания, размещенный внутри термокамеры. Воздух, активированный вентилятором, направлялся непосредственно к лампам, что позволяло равномерно распределять выделяемое ими тепло внутри термокамеры.

Лицевая сторона термокамеры выполнена в виде смотровой панели из прозрачного оргстекла толщиной 5 мм, для визуального наблюдения и снятия показателей измерительных приборов. В центре верха и дна камеры выполнены сквозные отверстия диаметром 10 мм для вывода трубок, соответственно впускного и выпускного клапанов модели, снизу, под термокамерой установлена стеклянная емкость с водой, в которую погружался воздуховод с выпускным клапаном.

Лабораторная установка оборудована спиртовыми термометрами для измерения температуры внутри термокамеры и в корпусе модели устройства для измерения температуры внутри емкости-накопителя, время фиксировалось с помощью секундомера.

Модель устройства для аэрации придонных слоев воды представляет собой металлический цилиндрический корпус емкости-накопителя, снизу и сверху которого расположены штуцеры, соединенные пластиковыми трубками, соответственно с выпускным и впускным клапаном. Для увеличения поглотительной способности теплового излучателя и последующего излучения тепла молекулами воздуха емкости-накопителя корпус

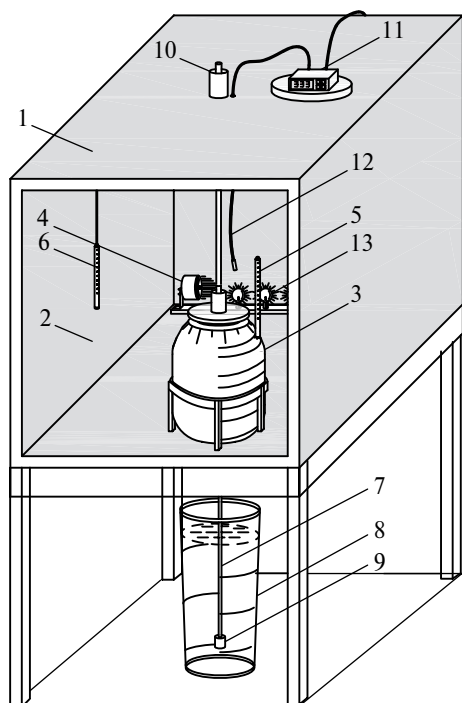


Рис. 1. Экспериментальное устройство для аэрации придонных слоев воды в термокамере:

- 1 – корпус термокамеры; 2 – смотровая панель; 3 – модель емкости-накопителя; 4 – вентилятор; 5 и 6 – термометры, соответственно в полости модели и термокамере; 7 – трубка воздуховода; 8 – сосуд с водой; 9 – выпускной клапан; 10 – впускной клапан; 11 – регулятор температуры; 12 – датчик регулятора; 13 – лампы накаливания

последней окрашен в черный цвет. В лабораторных экспериментах использовались три емкости-накопителя объемом 6,5; 10 и 13,5 л, внешнем диаметром 18,5; 25,3 и 25 см и высотой 24; 20 и 27,5 см соответственно.

Остальные параметры установки во всех опытах были одинаковыми: внутренний диаметр трубки-воздуховода 7 мм; длина трубки 80 см, погружение выходного отверстия клапана под уровень воды в емкости составлял 60 см.

Диапазон температуры воздуха внутри термокамеры поддерживался нагревателем автоматически, так что температура воздуха на протяжении всего эксперимента колебалась от 15 до 50 °С.

В ходе экспериментов основными параметрами, характеризующими работу установки, являлись продолжительность работы устройства и объем воздуха, выходящего в воду из емкости-накопителя, при этом объем воздуха определялся двумя методами.

Первый – метод фиксации, с помощью видеосъемки и последующего использования техники замедления видеозаписи для оценки количества пузырьков, выходящих из трубки-воздуховода, и дальнейшим пересчетом объема воздуха через количество пузырьков, при условии, что средний диаметр одного пузырька принимается равным внутреннему диаметру трубки [8–10]. Методика проведения экспериментов основывалась на материалах и опыте исследований проведенных авторами ранее [11].

Второй метод водоизмещения – один из простых и распространенных, используемых для определения объема газа, выделяющегося в жидкой среде в научной практике [12]. Расход выделяемого воздуха определялся с помощью стеклянного мерного сосуда объемом 2000 см<sup>3</sup>, который погружался под уровень емкости с водой и заполнялся водой до полного отсутствия воздуха (рис. 2).

Затем сосуд переворачивался вверх дном и поднимался над уровнем воды в емкости. На боковой поверхности мерного сосуда нанесены деления с ценой одного деления 10 см<sup>3</sup>. Под горловину мерного сосуда подводился штуцер выходного клапана, таким образом, чтобы весь выходящий из емкости-накопителя воздух попадал в мерный сосуд.

После завершения процесса выделения воздуха мерный сосуд поднимался, уровни воды в сосуде и емкости выравнивались, по шкале мерного сосуда определялся объем вытесненной воды. Таким образом, объем воздуха, вышедший из емкости-накопителя в процессе работы устройства, определялся равным объему воды, вытесненной из мерного сосуда.

**Результаты исследования и их обобщение.** Основным параметром при оценке эффективности работы устройства принят объем воздуха, вышедшего из емкости за время работы устройства. Поэтому в ходе каждого опыта фиксировались: мо-

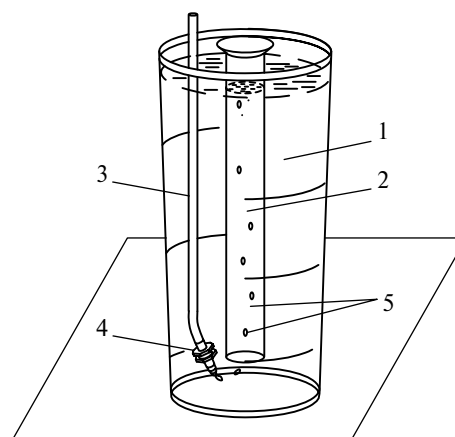


Рис. 2. Измерение расхода выходящего воздуха методом водоизмещения:

1 – емкость с водой; 2 – мерный сосуд; 3 – воздуховод; 4 – выпускной клапан; 5 – пузырьки воздуха

мент времени, когда в термокамере включался нагреватель; время, прошедшее с момента включения нагревателя до момента выхода первого пузырька воздуха в воду; температура воздуха внутри баллона в этот момент; время между выходом первого пузырька и моментом, когда интенсивность выхода пузырьков стабилизировалась, а также температура воздуха внутри баллона в этот момент.

Результаты обработки данных экспериментов по определению двумя методами объема воздуха, вышедшего при нагревании модели емкости-накопителя приведены в таблице.

Как видно из таблицы, относительное отклонение в определении объема воздуха в опытах разными методами не превышает 10 %, при этом результаты полученные методом пузырьков во всех опытах несколько выше, чем методом водоизмещения, поэтому в последующем использовались оба метода.

Если сравнивать серии опытов с клапаном и без клапана, то объем выходящего воздуха при наличии клапана во всех опытах больше, однако это превышение колеблется в пределах от 2,4 до 3,3 %, в этой связи можно предположить, что разница в сериях связана с объемом воздуха находящегося в воздуховоде после закрытия клапана.

**Выводы.** Лабораторными исследованиями экспериментальной установки устройства для аэрации придонных слоев воды по оценке объемов выходящего воздуха установлено, что в зависимости от типоразмера емкости-накопителя при температуре воздуха в термокамере 50 °С продолжительность процесса выделения воздуха не пре-

Данные опытов по оценке объема воздуха при работе устройства для аэрации придонных слоев воды

Объем емкости, л	Серия опытов*	Температура воздуха в термокамере и при выходе пузырьков, °С			Время выхода пузырьков воздуха, с		Опытный объем воздуха методом, мл		Относительное отклонение, %
		В камере	Первого	Последнего	Начало	Окончание	объемным	пузырьков	
6,5	А	33	20	45	320	1244	800	856	6,5
	Б	29	18	47	284	1244	820	885	7,3
10,0	А	44	25	53	400	1450	1260	1300	3,1
	Б	41	24	55	356	1459	1300	1330	2,2
13,5	А	45	26	56	432	1652	1540	1550	0,6
	Б	44	24	59	383	1678	1580	1595	0,9

\* А – без клапана; Б – с клапаном.

вышла полчаса, при этом объем выходящего воздуха также зависел от рабочего объема емкости-накопителя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов / Отв. ред. В.К. Дебольский, А.Г. Кочарян. М.: Наука, 1988. 166 с. ISBN 5-02-003356-1.
2. Белковский Н.М. Активизация процессов биологической очистки и аэрация водных объектов как важнейший путь реабилитации городских водоемов // Сборник трудов VIII Международного конгресса «Чистая вода. Казань» 30 ноября – 1 декабря 2017 г. Казань: Новое знание, 2017. С. 88–89. ISBN 978-5-9909515-5-6. <http://средволаводхоз.russian.federation/cw2017.pdf>.
3. Серпокрьлов Н.С., Смоляниченко А.С., Лесников И.И. Сравнительная оценка аэраторов для очистки сточных вод по обобщенному критерию аэрации // Вестник СГАСУ: Градостроительство и архитектура. 2011. № 2. С. 97–100.
4. Патент на полезную модель № 147539 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Солнечная мобильная аэрационная система: № 2014108251/05: заявл. 04.03.2014; опубл. 10.11.2014 / Н.Н. Крамчанинов, Т.Г. Болотских, С.М. Лутовинов [и др.].
5. Патент на полезную модель № 52848 Российская Федерация, МПК C02F 7/00. Солнечная аэрационная система: № 2005137198/22: заявл. 30.11.2005; опубл. 27.04.2006 / В.И. Виссарионов, Д.Н. Кунакин.
6. Лазарев-Марченко С.А. Разработка и исследование режимов плавучей аэрационной установки с питанием от солнечных фотоэлектрических батарей // Вестник Московского энергетического института. 2007. № 3. С. 88–93.
7. Патент на полезную модель № 214200 Российская Федерация, МПК C02F 7/00, B01F 23/231. Устройство для аэрации придонных слоев воды: № 2022112382: заявл. 06.05.2022; опубл. 14.10.2022 / В.В. Петрашкевич, П.А. Михеев, Д.М. Бенин [и др.].
8. Gaddis E.S., & Vogelpohl A.J. C. E. S. Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions // Chemical Engineering Science. 1986. Vol. 41(1). P. 97–105.
9. Badam V.K., Buwa V., Durst F. Experimental Investigations of Regimes of Bubble Formation on Submerged Orifices Under Constant Flow Condition // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2008. Vol. 85, Issue 3. P. 257–267.
10. Викулина В.Б., Инешина Л.В. Теоретические исследования движения пузырьков воздуха в потоке воды при аэрации // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2019. № 10. С. 22–24.
11. Исмаил Х., Али М.С., Михеев П.А. Лабораторные исследования устройства для аэрации водоемов с использованием солнечной радиации в условиях Сирии // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 128–138. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138>.
12. Brack, P., Dan, S., Wijayantha, K. U., Adcock, P., & Foster, S. (2016). A simple, low-cost, and robust system to measure the volume of hydrogen evolved by chemical reactions with aqueous solutions // JoVE (Journal of Visualized Experiments), (114), e54383.

УДК 627.157:002.637 (282.247.41)

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-10-15

## СЕЗОННАЯ МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Г.Ю. ТОЛКАЧЕВ, Э.Б. ДЕДОВА, Т.А. ИЛЬИНА, Е.Н. ГЕТЬМАН

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, водные объекты, весенние паводки, природно-техногенные системы, мониторинг.

**Keywords:** heavy metals, water bodies, spring floods, natural and man-made systems, monitoring.

**Аннотация.** Последние века, и особенно последние десятилетия проявили себя весьма результативно относительно загрязнения окружающей среды вследствие индустриализации. Тяжелые металлы, попадающие в результате такой деятельности на дневную поверхность, мигрирующие в ее пределах до базисов эрозии – водных объектов нередко создают нежелательно высокую их концентрацию для биоты в широком понимании этого термина. Рассмотрены различные природно-техногенные объекты в режиме мониторинга – это сельхозугодья при аномальных весенних паводках и водные объекты в период открытой водной поверхности. В течение работ рассмотрены псевдозакрытая и откры-

## REFERENCES

1. Brekhovskikh V.F. Hydrophysical factors of the formation of the oxygen regime of reservoirs / Ed. by V.K. Deboldsky, A.G. Kocharyan. M.: Nauka, 1988. 166 p. ISBN 5-02-003356-1.
  2. Belkovsky N.M. Activation of biological purification processes and aeration of water bodies as the most important way of rehabilitation of urban reservoirs // Proceedings of the VIII International Congress «Clean Water. Kazan» November 30 – December 1, 2017. Kazan: Novoe Znanie, 2017. Pp. 88–89. ISBN 978-5-9909515-5-6. <http://средволаводхоз.russian.federation/cw2017.pdf>.
  3. Serpokrylov N.S., Smolyanichenko A.S., Lesnikov I.I. Comparative assessment of aerators for wastewater treatment according to a generalized aeration criterion // Bulletin of SSASU: Urban Planning and Architecture. 2011. No. 2. Pp. 97–100.
  4. Utility Model Patent No. 147539 Russian Federation, IPC C02F 7/00. Solar mobile aeration system: No. 2014108251/05: application 04.03.2014; published 10.11.2014 / N.N. Kramchaninov, T.G. Bolotских, S.M. Lutovinov [et al.].
  5. Utility Model Patent No. 52848 Russian Federation, IPC C02F 7/00. Solar aeration system: No. 2005137198/22: application no. 11/30/2005; published 04/27/2006 / V.I. Vissarionov, D.N. Kunakin.
  6. Lazarev-Marchenko S.A. Development and research of modes of a floating aeration plant powered by solar photovoltaic batteries // Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. 2007. No. 3. Pp. 88–93.
  7. Utility Model Patent No. 214200 Russian Federation, IPC C02F 7/00, B01F 23/231. Device for aeration of bottom layers of water: No. 2022112382; published on 05/06/2022; published on 10/14/2022 / V.V. Petrashkevich, P.A. Mikheev, D.M. Benin [et al.].
  8. Gaddis E.S., & Vogelpohl A.J. C. E. S. Bubble formation in quiescent liquids under constant flow conditions // Chemical Engineering Science. 1986. Vol. 41(1). P. 97–105.
  9. Badam V.K., Buwa V., Durst F. Experimental Investigations of Regimes of Bubble Formation on Submerged Orifices Under Constant Flow Condition // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2008. Vol. 85, Issue 3. P. 257–267.
  10. Vikulina V.B., Ineshina L.V. Theoretical studies of the movement of air bubbles in a stream of water during aeration // Plumbing, heating, air conditioning. 2019. № 10. Pp. 22–24.
  11. Ismail Kh., Ali M.S., Mikheev P.A. Laboratory studies of devices for aeration of reservoirs using solar radiation in Syria // Irrigation and hydraulic engineering. 2024. Vol. 14, No. 2. Pp. 128–138. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-128-138>
  12. Brack, P., Dan, S., Wijayantha, K. U., Adcock, P., & Foster, S. (2016). A simple, low-cost, and robust system to measure the volume of hydrogen evolved by chemical reactions with aqueous solutions // JoVE (Journal of Visualized Experiments), (114), e54383.
- Михеев Павел Александрович**, доктор техн. наук, профессор, кафедра сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, [mikheev.pa@gmail.com](mailto:mikheev.pa@gmail.com); **Исмаил Хусейн**, аспирант, [huseinismaeil93@gmail.com](mailto:huseinismaeil93@gmail.com) (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва).

тая природно-техногенные системы. Представлены сезонные варианты вторичного загрязнения водной толщи и факторы, его определяющие.

**Abstract.** The last centuries, and especially the last decades, have proved to be very effective in terms of environmental pollution due to industrialization. Heavy metals that fall on the daytime surface as a result of such activities, migrating within its limits to the bases of erosion – water bodies often create an undesirably high concentration of them for biota in the broad sense of the term. Various natural and man-made objects in the monitoring mode are considered – these are farmlands during abnormal spring floods and water bodies during the period of open water surface. During the work, pseudo-closed and open natural and man-made systems were considered. Seasonal variants of secondary pollution of the water column and the factors determining it are presented.

Донные отложения (ДО) водных объектов, в том числе рек и коллекторов, можно считать конечным звеном круговорота техногенных элементов в ландшафте: вследствие своих высоких сорбционных свойств они накапливают весь комплекс загрязнителей. Степень загрязнения ДО может рассматриваться в качестве интегрального показателя техногенной нагрузки на водный объект, а также является информацией об интенсивности и направленности инженерно-хозяйственной деятельности на водосборной территории. Изучение загрязнения ДО водных объектов химическими элементами продолжает оставаться одной из важных проблем геоэкологии и охраны окружающей среды. Отсутствие формальной нормативной базы по этим показателям привело к различным и многообразным подходам и методам решений поставленной задачи. В настоящее время состояние водных объектов определяется техногенными факторами. С точки зрения техногенной нагрузки наиболее опасными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn и As. При этом конечным звеном, энергетическими ловушками и потенциальными барьерами в природно-техногенной ландшафтно-каскадной системе любой водосборной территории, а исследования ДО водоемов позволяют установить неблагоприятные участки и определить источники загрязнения [1, 2].

Режимные наблюдения за состоянием ДО водных объектов – необходимый элемент изучения их геоэкологического состояния, поскольку сами отложения аккумулируют и трансформируют последствия техногенного воздействия, являясь при этом индикатором его уровня. Наличие и содержание тяжелых металлов (ТМ) в ДО определяется гидродинамическими характеристиками потока, физико-химическими процессами, связанными с ТМ, а также их взаимодействием с квазистационарной сорбирующей фазой. Комплексные соединения могут активизировать десорбцию ТМ из суспензионного материала и ДО и негативно влиять на имеющиеся природные адсорбционные процессы, увеличивая концентрацию растворенных металлов в водной массе [3]. Степень накопления либо выноса ТМ из ДО зависит от концентраций комплексных соединений, изменения рН, форм металлов, присутствующих в суспензионном материале и взаимодействия их катионов. Образование прочных растворимых комплексов с органическими лигандами – один из наиболее реальных путей десорбции ТМ из ДО. Устойчивость комплексных соединений с ростом рН увеличивается. Это, вероятно, связано с повышением активности комплексообразующих центров при понижении кислотности.

Активный необратимый восстановитель, взаимодействующий с «ионной» системой ДО – растворенное органическое вещество, образующееся при распаде захороненных органических осадков. Мощность окисленного слоя осадков определяется соотношением интенсивностей диффузионного потока  $O_2$  через границу вода–донные отложения при распаде органического вещества. Чем медленней затухает распад, тем

на меньшую глубину в ДО проникает раствор  $O_2$  [4]. Таким образом, содержание  $O_2$  в верхнем слое ДО и, соответственно, в придонном слое водной массы водоема – непосредственно влияет на процессы накопления-выноса ТМ в системе вода–дно.

Валовое содержание ТМ является важным показателем, однако оно еще не указывает на опасность токсических эффектов при вторичном загрязнении водных масс. В большинстве исследований, посвященных частицам металлов в природных водных системах (т. е. металлам, связанным с взвешенными веществами или ДО), рассматривается общая концентрация металлов. Вместе с тем необходимо оценивать их содержание и распределение по формам существования в ДО – поскольку именно от форм существования зависит их миграция и массообмен в системе вода–дно.

**Объекты и методы исследования.** Отсутствие формальной нормативной базы по содержанию ТМ в ДО водоемов привело к различным и многообразным подходам и методам оценки техногенной нагрузки. Предыдущими исследованиями установлено, что в системе почвы водосбора–водная масса–ДО водоема существует определенная связь соотношений подвижных форм ТМ к их валовому содержанию [5]. Таким образом, вынос ТМ с участков водосборных территорий водоема напрямую влияет на содержание ТМ непосредственно в ДО водоемов, и вместе с тем на возможность вторичного загрязнения, то есть после выноса ТМ с водосборной площади водоема и накопления их в ДО может последовать их вынос из ДО в водную массу – при определенных условиях. Для разработки нового подхода к оценке загрязнения водных объектов применен с некоторыми дополнениями разработанный ранее энергетический подход, а также произведено районирование территории на примере речного бассейна по участкам четырех категорий [6]. Обоснование точек отбора не носит унифицированного характера, т. к. участки различных категорий являются в некоторой степени уникальными и требуют индивидуального подхода.

На данном этапе исследований рассматриваются два участка четвертой категории, расположенные в Рязанской области в пойме реки Ока – «Ольхи» и АО «Московское».

*Участок «Ольхи»* рассматривается в качестве псевдозакрытой системы, потенциальным барьером для миграции подавляющего большинства загрязнителей, переносимых по поверхности, является дренажная канава. Под потенциальным барьером понимается природная или природно-техногенная структура, депонирующая почти все поступающие в нее загрязнители, из которой последние могут перемещаться только при значительном, относительно существующего природно-техногенного состояния, повышении  $E_{ак}$ . Такое повышение  $E_{ак}$  в конкретных условиях может вызываться только техногенным, либо аномальным природным воздействием. Подробно данный энергетический подход рассмотрен в [7, 8].

Опробования производились в центральной и периферийной части поля, а также в аналогичных пунктах дренажной канавы, вблизи опытного полевого

эксперимента Мещерского филиала ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова». Пробы отобраны в двух дренажных каналах и одном дренажном коллекторе. Описание точек отбора приведено в табл. 1.

Участок АО «Московское» является открытой системой, а потенциальным барьером для загрязнителей является весьма далеко расположенный коллектор. Для подобных участков опробования также целесообразно проводить в центральной и периферийной частях полей до начала весенних посадок и по завершению сбора урожая, так как в течение сельхозработ возможно поступление различных техногенных загрязнителей [9, 10].

Явных других источников загрязнения, оказывающих влияние на экологическое состояние участка АО «Московское» вблизи него не обнаружено. Почвы участка по данным Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ» в основном представлены суглинками, в профиле встречаются прослойки супесей и глин. По состоянию на 2017 г. площадь сельскохозяйственных земель АО «Московское» составляла 2162,72 га, из них: пашни – 939,04 га (43,4%), пастбищ – 849,29 га (39,3%), сенокосов – 374,39 га (17,3%). В октябре 2019 г. и в мае 2021 г. на участках отбора паводковых накоплений (пробы 1с и 1с) отобраны пять проб во втором чеке у канала № 2: три –

почвы (6с, 7с и 8с) и две пробы ДО в дренажном канале (9с) и магистральном коллекторе (10с). Состав почв и ДО АО «Московское» является типичным для Нечерноземной зоны [10, 11].

Подготовка проб ДО и почв осуществлена в лаборатории ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова». Изучение их вещественного состава проводилось в лабораториях кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета ФГОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова. Содержания ТМ в почвах и ДО приведены в табл. 2. В качестве базовой методики оценки степени загрязнения ДО ТМ использовалась система классификации ДО по «индексу геоаккумуляции» [12, 13]. «Индекс геоаккумуляции» характеризует кратность загрязнения ДО относительно природного фона во фракциях менее 0,02 мм [12].

**Обсуждение результатов.** Состав макроэлементов почв и ДО «Ольхи» является типичным для Нечерноземной зоны [11]. В осенний период содержание As, Co, Cu, Ni, Cd и Hg, на полях и в зоне потенциального барьера, находятся на уровне фоновых значений для большинства перечисленных элементов (табл. 2), так как между полями и дренажной канавой нет дополнительных источников загрязнений, а грунты на полях достаточно чистые.

Отмечается превышение во всех пробах фоновых значений по Cr и Zn – до умеренно загрязненного уровня [12, 14]. В весенний период после схода паводковых вод в ряде точек существенно выросло содержание Cu, Ni, Cd и Pb. При этом содержание Cu и Ni практически не превысило фоновых значений, содержание Cd и Pb – кроме точки 5с – не превысило умеренно загрязненного уровня. В точке 5с отмечен умеренно загрязненный уровень для As и Zn, средне загрязненный уровень для Pb. Во всех остальных точках концентрации Zn остаются практически на том же уровне, содержание Co также без изменений. Однако для Cr по всему участку наблюдается значительное снижение его концентрации до незагрязненного уровня. Данная динамика может быть объяснена резко усилившимся весной массообменом: паводковые воды активно приносят взвесь с окрестных водосборных площадей и автодорог и одновременно уносят уже имеющийся поверхностный слой отложений.

Загрязнение ТМ на полях участка АО «Московское» (6с, 7с и 8с) в дренажном канале (9с) и магистральном коллекторе (10с) в осенний период для As, Co, Cu, Ni, Cd и Hg на-

Таблица 1

Точки отбора проб на участке «Ольхи»

№ пробы	Описание	Примечание
1с	Дренажная канава, выше коллектора, глубина отбора 1...15 см	Без воды
2с	Изгиб канала у коллектора, впадающего в промоину реки Старицы	Без воды
3с	Изгиб дренажной канавы	С водой
4с	Устье дренажного канала	Без воды
5с	Выход дренажного коллектора в реку Старица, ниже коллекторной трубы	С водой

Таблица 2

Содержание ТМ и As (мг/кг) в почвах и ДО водных объектов, (фракция &lt;20 мкм)

№ образца	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Cd	Hg	As	Pb
На участке «Ольхи»									
1с	243/128	8,5/9,0	23/43	23/47	159/166	0,07/0,3	0,066/0,116	9,6/12,8	0/40
2с	178/127	18,0/13,2	38/59	40/66	159/170	0,33/0,66	0,086/0,146	14,2/14,7	19/55
3с	211/111	13,0/12,5	37/47	37/53	142/146	0,25/0,60	0,088/0,121	11,1/11,8	44/34
4с	258/119	2,1/13,0	22/50	24/55	176/161	0,01/0,52	0,065/0,124	10,0/13,2	0/44
5с	200/102	14,0/12,7	30/51	38/55	216/300	0,36/0,55	0,094/0,121	8,6/30,8	24/164
На участке АО «Московское»									
6с	217/99	13,0/9,9	38/50	40/55	172/148	0,36/0,52	0,094/0,124	11,0/13,3	0/44
7с	262/123	15,6/13,0	47/59	35/66	203/178	0,15/0,75	0,087/0,140	18,6/12,8	31/41
8с	157/106	11,0/4,0	38/26	42/29	157/84	0,09/0,02	0,101/0,079	16,0/9,5	40/17
9с	192/136	18,0/16,5	28/58	47/65	179/155	0,53/0,76	0,109/0,134	11,0/13,1	43/–
10с	119/106	11,0/13,1	26/52	34/60	169/179	0,28/0,66	0,083/0,120	23,2/11,7	73/33
11с	–/77	–/12,5	–/48	–/54	–/149	–/0,52	–/0,113	–/12,0	–/55

Примечание. Числитель – в октябре; знаменатель – в мае.

ходится в пределах фоновых значений. В магистральном коллекторе отмечается превышение во всех пробах фоновых значений по Cr, по Zn и Pb – до умеренно загрязненного уровня (см. табл. 2). Такая ситуация обусловлена близким расположением автомагистрали с интенсивным движением. В весенний период на участке АО «Московское» наблюдается значительное снижение содержания Cr, практически до таких же значений.

И только в образце 12с установлен его умеренный уровень загрязнения. Содержание Co и As остается достаточно стабильным, содержание Cu и Ni в ряде точек с осени по весну незначительно повышается, однако не выходит за пределы незагрязненного уровня. Содержание Cd весной практически во всех точках опробования повышается до умеренно загрязненного уровня, однако не представляет серьезной опасности; содержание Pb стабильно на этом же уровне – и вместе с тем в результате мощного промывного режима существенно снизилось в магистральном коллекторе. Отмечено незначительное снижение содержания Zn, но в целом он остается на том же уровне загрязнения, что и в октябре.

По итогам проведенных исследований отмечено, что с точки зрения загрязнения ТМ весенние паводки для участка АО «Московское» оказывают очищающее воздействие; также можно констатировать, что на обоих участках загрязнение достаточно стабильно и при этом не представляет существенной опасности. Вынос ТМ с участков в близлежащие водоемы не может быть значительным, и поэтому не оказывает ощутимого влияния на накопление и содержание металлов в отложениях водоемов.

В других районах с водосборных территорий возможно более значительное поступление ТМ в водный объект, что в свою очередь приводит к увеличению поступления ТМ в ДО. При этом в результате создания в водном объекте определенных условий возможен выход (ремобилизация) ТМ из ДО – происходит процесс вторичного загрязнения. Для оценки потенциального выноса ТМ из ДО водоема необходимо определить массу каждого ТМ, накопленную по площади его отложений. Ранее проведенные исследования показали, что в пределах одного водного объекта и сезона соотношение различных форм существования элементов в твердой фазе ДО остается постоянным по всей площади водоема и меняется только по сезонам [15]. Поэтому для оценки масс ТМ, находящихся в разных формах в твердой фазе ДО в пределах изучаемого водоема (либо его отдельного района), могут быть использованы результаты исследований, проведенных на его характерных точках.

Сложность кинематической структуры потока в водоемах не позволяет выполнить моделирование процессов выхода загрязняющих веществ, в частности ТМ из ДО в воду. Поэтому целью экспериментальных исследований является не моделирование многофакторных процессов выхода загрязняющих веществ из ДО, а постановка опытов, позволяющих непосредственно определить параметры, определя-

ющие поток элементов из ДО. Для определения этих параметров проводился статический эксперимент по методике [16]. В результате эксперимента для Cu и Zn установлено следующее. При поглощении Cu происходит ее аккумуляция в ДО. В отсутствие сильного воздействия на структуру, а также ряда агентов, способных перевести труднорастворимые формы в легко растворимые, выделения в воду поглощенной Cu не наблюдается в течение длительного времени. Даже в условиях интенсивного ресуспензирования и реокисления осадков, при изменении температуры от 0 до 20, содержания растворенного кислорода от 0 до 100 % насыщения и величины рН 7,8...8,8 выделения Cu не происходит. Рассматривая изменения концентрации Zn, следует отметить, что влияющие на десорбцию Zn факторы идентичны факторам, влияющим на десорбцию Cu. Влияние рН на десорбцию ТМ незначительно.

На основании проведенных исследований на водных объектах Верхней Волги можно сделать вывод, что именно изменение содержания ТМ в подвижных формах существования способствует изменению их валового содержания в ДО [5]. На основе проведенных исследований отмечается высокая изменчивость содержания форм существования изученных ТМ в верхнем 10-сантиметровом слое ДО водохранилища, который наиболее активно вовлечен в процесс массообмена с водной массой водоема [5]. Для расчета масс ТМ в твердой фазе верхнего 10-сантиметрового слоя ДО принимаются следующие средние значения характеристик фракции <0,02 мм: плотность осадков – 1,5 г/см<sup>3</sup>; пористость верхнего горизонта – 0,6. Следовательно, вес призмы твердой фазы илистых отложений размером 1 × 1 × 0,1 м составляет 150 кг. Оценка содержания накопленных масс ТМ в изучаемом слое ДО основана на распределении по классам геоаккумуляции, и позволяет оценить массу *m* каждого ТМ в активном слое ДО на площади 1 м<sup>2</sup> [12, 14] (табл. 3) [12]. Данный подход позволяет определять районы с относительно равномерным загрязнением ДО, рассчитывать их приблизительную площадь и затем – максимально возможный вынос ТМ в водную толщу.

Таблица 3

Распределение значений накопленной массы ТМ в призме ДО 1 × 1 × 0,1 м по классам геоаккумуляции (игео-классам)

Элемент	Фон, г	Накопленная масса по классам геоаккумуляции, г						
		0	1	2	3	4	5	6
Mn	127,5	191	382,5	765	1530	3060	6120	>6120
Cd	0,045	0,07	0,135	0,27	0,54	1,08	2,16	>2,16
Zn	14,25	21,4	42,8	85,6	171,2	342,4	684,8	>684,8
Pb	3	4,5	9	18	36	72	144	>144
Cu	6,75	10,1	20,2	40,4	80,8	161,6	323,2	>323,2
Ni	10,2	15,3	30,6	61,2	122,4	244,8	490	>490
Co	2,85	4,3	8,6	17,2	34,4	68,8	138	>138
Cr	13,5	20,2	40,4	80,8	161,6	323,2	646	>646
As	2	2,9	5,8	11,6	23	46	84	>84
Hg	0,06	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	>3,2

Таким образом, представляется возможным провести районирование ДО по площади в зависимости от уровня игео-класса накопленной массы (или запасов) ТМ. В результате отбора и анализа проб ДО определяются приблизительные площади содержания ТМ для каждого игео-класса. Затем в соответствии с данными табл. 3 рассчитывается накопленная масса определенного металла для площади каждого района – далее  $M_{1-гео}$ . Далее, путем суммирования массы ТМ для каждого игео-класса, возможно оценить общую накопленную массу ТМ для ДО всего водоема:

$$\begin{aligned} M_{1-гео} &= mS_{1-гео}; \\ M_{общ} &= \sum M_{1-гео}, \end{aligned}$$

где  $m$  – масса каждого ТМ в активном слое ДО на площади  $1 \text{ м}^2$ ;  $S_{1-гео}$  – площадь содержания ТМ в ДО определенного игео-класса;  $M_{общ}$  – суммарная накопленная масса ТМ по всей площади ДО водоема;  $M_{1-гео}$  – накопленная масса ТМ по определенному игео-классу в отдельном районе ДО.

В результате районирования и унификации оценок содержания ТМ по игео-классам существенно упрощается расчет количества ТМ в ДО как для каждого района водоема, так и для всего водоема в целом. В водоеме в период летней межени, при сухой погоде, может практически целиком прекращаться поступление водных масс с осадками и с водосборной территории. Вследствие этого может существенно понижаться уровень водоема, и соответственно, уменьшаться его объем. В результате в проточных водоемах снижаются скорости течений, начинается стагнация, евтрофикация и заморные явления. При этом существенно возрастает объем забираемой воды для сельскохозяйственного водопользования – полива растений и поения животных – различных прибрежных фермерских хозяйств.

Вместе с тем, в условиях стагнации водоема, как правило, существенно ухудшается гидрохимическая обстановка – снижается содержание  $O_2$ , особенно в придонном слое, а также показатели рН в придонном слое воды и в ДО [5], что свидетельствует о подкислении системы вода–ДО и переходе от окислительных условий к восстановительным, что в свою очередь приводит к опасности вторичного загрязнения. В данных условиях возможен переход ТМ, находящихся в подвижных формах существования, в ДО, в водную массу практически в полном объеме в течение одной-двух недель.

Накопленная масса ТМ после выхода из ДО распространяется в водной среде водоема, в результате чего в воде возрастают содержания металлов – вынесенные из отложений массы добавляются к уже имеющимся концентрациям. Для оценки максимально возможного влияния выноса масс ТМ из ДО представляется допустимым принять, что из отложений выйдут полностью все изучаемые элементы, содержащиеся в них в подвижных формах. Также для данной оценки представляется возможным принять утверждение, что в предполагаемых условиях уровень водоема – и, следовательно, объем – будет минимальный. При этом возможно принять, что вынесенные металлы будут распространяться по всему объему водных масс. Таким

образом, можно рассчитать максимально возможное добавленное содержание металла в воду водоема в результате вторичного загрязнения. Расчет может быть произведен по формуле:

$$C_3 = M_{общ} / V; \quad (1)$$

далее можно рассчитать общую концентрацию каждого металла в воде – путем сложения концентрации, добавившейся в результате выноса, и уже имеющейся концентрации в водной массе:

$$C_{общ} = C_3 + C_в,$$

где  $C_3$  – концентрация ТМ, добавленная (вынесенная) в водную массу из ДО;  $M_{общ}$  – суммарная накопленная масса ТМ по всей площади ДО водоема;  $V$  – объем водной массы водоема;  $C_{общ}$  – общая концентрация ТМ в результате выноса из ДО;  $C_в$  – концентрация ТМ в воде перед выносом из ДО.

Как следует из (1), в засушливые летние меженные периоды, с потенциальным ухудшением качества воды в водоемах, перед водопользованием необходимо измерять содержания ТМ в воде, рассчитывать объем водной массы и давать оценку накопленным массам ТМ в ДО. Данные расчеты можно проводить как на отдельных водоемах, так и на отдельных участках средних и крупных рек, на которых расположены сельхозугодья и предполагается активное водопользование. По результатам расчета общей концентрации ( $C_{общ}$ ) ТМ в воде исследуемого водоема, можно принимать решение о целесообразности и правомерности использования его воды в сельскохозяйственных целях.

Исходя из проведенных исследований, с участков в пойме реки Ока в настоящее время отсутствует существенный вынос ТМ, и как следствие, заметное влияние на содержание в ДО р. Ока. Вместе с тем представленный подход позволяет определять пути переноса ТМ через водосборную территорию в водный объект, и определять неблагоприятные районы при значительных количествах переноса ТМ в ДО.

#### Выводы

1. На исследуемых участках «Ольхи» и АО «Московское» содержание в ДО As, Co, Cu, Ni барьером для загрязнителей является дренажный коллектор близ реки Оки. Для подобных участков опробования целесообразно проводить в центральной и периферийной частях полей до начала весенних посадок и по завершению сбора урожая, так как в течение сельхозработ возможно поступление различных техногенных загрязнителей. Явных других источников загрязнения, оказывающих влияние на экологическое состояние участка АО «Московское» не обнаружено.

2. Загрязнение исследуемых участков ТМ не представляет серьезной опасности: только в магистральном коллекторе участка АО «Московское» содержание Sr, Zn и Pb соответствует умеренно загрязненному уровню, что может объясняться близкой автомагистралью с интенсивным движением. В остальных точках содержание металлов в оба сезона практически не превышает незагрязненного уровня.

3. Представляется возможным провести районирование ДО каждого изучаемого водного объекта по площади загрязнений в зависимости от уровня игео-класса

накопленной массы (или запасов) ТМ. В результате отбора и анализа проб ДО определяются приблизительные площади содержания ТМ для каждого иго-класса. В результате районирования и унификации содержания ТМ по иго-классам существенно упрощается оценка количества ТМ в ДО как для каждого района водоема, так и для всего водоема в целом.

4. Для оценки влияния выноса ТМ из ДО на воду водного объекта, необходимо рассчитать добавленное содержание каждого металла в водную массу. Далее рассчитывается общая концентрация каждого металла в воде в результате выноса — путем сложения концентрации, добавившейся в результате выноса, и уже имеющейся концентрации в водной массе. По результатам расчета общей концентрации ТМ в воде водного объекта принимается решение об использовании его воды в сельскохозяйственных целях.

5. В системе почвы водосбора—водная масса—ДО водоема существует определенная связь соотношений подвижных форм ТМ к их валовому содержанию от почв к ДО — при этом представленный в работе методический подход позволяет определять пути переноса ТМ через водосборную территорию в водный объект, и определять неблагоприятные районы при значительных количествах переноса ТМ в ДО. На исследуемых в работе участках поступление ТМ в водоемы с водосбора не является значимым.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Техногенное загрязнение речных экосистем / Под ред. В.Е. Райнина, Г.Н. Виноградовой. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
2. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений / Н.В. Коломийцев, Б.И. Корженевский, Т.А. Ильина, Е.Н. Гетьман // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 6. С. 15—19.
3. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 272 с.
4. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов. М.: Наука, 1988. 168 с.
5. Толкачев Г.Ю. Влияние водосборной территории на миграцию и трансформацию тяжелых металлов в донных отложениях (на примере Верхней Волги и Ивановского водохранилища) // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 3. С. 23—26.
6. Корженевский Б.И. Факторы миграции тяжелых металлов в водные объекты и на сопредельных территориях // Международный технико-экономический журнал. 2019. № 4. С. 38—44.
7. Полунин Г.В. Динамика и прогноз экзогенных геологических процессов. М.: Наука, 1989. 232 с.
8. Корженевский Б.И. Зональность энергетического потенциала — основа для прогнозирования гравитационных процессов в горном регионе // Методы регионального инженерно-геологического прогнозирования. М.: ВСЕГИНГЕО, 1989. С. 136—146.
9. Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Павлов А.А. Оценка поступления тяжелых металлов и мышьяка с седиментами на пахотные земли пойменного агроландшафта реки Ока // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 4(400). С. 461—464.
10. Ильинский А.В., Неведов А.В., Евсенкин К.Н. Обоснование необходимости повышения плодородия мелиорированных аллювиальных почв АО «Московское» // Мелиорация и водное хозяйство. 2019. № 5. С. 44—47.
11. Принципы мониторинга водных объектов для изучения процессов и явлений при восстановлении плодородия почв и рекультивации деградированных мелиорированных земель / Б.И. Корженевский, Н.В. Коломийцев, Г.Ю. Толкачев, Т.А. Ильина // Безопасность жизнедеятельности. 2022. № 7. С. 37—43.
12. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins — Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H. 24. S. 778—783.

13. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20  $\mu\text{M}$  or <2  $\mu\text{M}$ ? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2001. V. 371. No. 5. P. 637—642.

14. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / Под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. М.: Наука, 2006. 223 с. ISBN 5-02-034205-X.

15. Современное состояние и проблемы охраны качества воды в бассейне Волги / А.Б. Авакян, Е.В. Венецианов, А.Г. Кочарян, К.И. Сафронова // Водные ресурсы. 1994. Том 21. № 4. С. 471—479.

16. Майрановский Ф.Г. Влияние сорбционных процессов на формирование качества воды в водохранилищах // Гидродинамика поверхностного стока и прогнозы качества воды. М.: Наука, 1982. С. 58—65.

#### REFERENCES

1. Technogenic pollution of river ecosystems / Edited by V.E. Rainin, G.N. Vinogradova. M.: Scientific World, 2002. 140 p.
2. Kolomytsev N.V., Korzhenevsky B.I., Ilyina T.A., Getman E.N. Assessment of the anthropogenic load on water bodies by pollution of bottom sediments // Melioration and water management. 2015. No. 6. Pp. 15—19.
3. Linnik P.N., Nabivanets B.I. Forms of metal migration in fresh surface waters. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 272 p.
4. Brekhovskikh V.F. Hydrophysical factors of formation of oxygen regime of reservoirs. Moscow: Nauka, 1988. 168 p.
5. Tolkachev G.Yu. The influence of the catchment area on the migration and transformation of heavy metals in the sediments (on the example of the Upper Volga and the Ivan'kovo reservoir) // Land reclamation and water management. 2011. No. 3. Pp. 23—26.
6. Korzhenevskiy B.I. Factors of migration of heavy metals into water bodies and adjacent territories // International Technical and Economic Journal. 2019. No. 4. Pp. 38—44.
7. Polunin G.V. Dynamics and forecast of exogenous geological processes. Moscow: Nauka, 1989. 232 p.
8. Korzhenevskiy B.I. Zonality of energy potential as a basis for forecasting gravity processes in a mountainous region / Methods of regional engineering and geological forecasting. Moscow: VSEGIN GEO, 1989. Pp. 136—146.
9. Il'yinsky A.V., Evsenkin K.N., Pavlov A.A. Assessment of the intake of heavy metals and arsenic with sediments on arable lands of the floodplain agricultural landscape of the Oka River // International Agricultural Journal. 2024. № 4 (400). Pp. 461—464.
10. Il'yinsky A.V., Nefedov A.V., Evsenkin K.N. Substantiation of the need to increase the fertility of reclaimed alluvial soils of Moskovskoye JSC // Land reclamation and water management. 2019. No. 5. Pp. 44—47.
11. Korzhenevskiy B.I., Kolomytsev N.V., Tolkachev G.Yu., Il'yina T.A. Principles of monitoring water bodies for studying processes and phenomena during the restoration of soil fertility and reclamation of degraded reclaimed lands. 2022. No. 7. Pp. 37—43.
12. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins — Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H. 24. S. 778—783.
13. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20  $\mu\text{M}$  or <2  $\mu\text{M}$ ? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2001. V. 371. No. 5. Pp. 637—642.
14. Modeling of erosion processes in the territory of a small drainage basin / Edited by A.S. Kerzhentsev and R. Meisner. M.: Nauka, 2006. 223 p. ISBN 5-02-034205-X.
15. Avakyan A.B., Venetsianov E.V., Kocharyan A.G., Safronova K.I. The current state and problems of water quality protection in the Volga basin. 1994. Vol. 21. No. 4. Pp. 471—479.
16. Mayranovsky F.G. The influence of sorption processes on the formation of water quality in reservoirs // Hydrodynamics of surface runoff and forecasts of water quality. Moscow: Nauka, 1982. Pp. 58—65.

**Толкачев Глеб Юрьевич**, канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник отдела рекультивации и охраны земель, k-26@mail.ru; **Дедова Эльвира Батыревна**, доктор с.-х. наук, зам. директора, dedova@vniigim.ru; **Ильина Тамара Андреевна**, канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник отдела рекультивации и охраны земель, ristolanin@mail.ru; **Гетьман Евгения Николаевна**, ст. науч. сотрудник отдела рекультивации и охраны земель, jene.get@yandex.ru (ФНЦ ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова).

## ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДЫ РЕКИ АРАКС В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Л.Г. ГУРБАНОВА, Ф.З. АЛИЕВА, Ф.И. ШЕКИЛИЕВ

**Ключевые слова:** биогенные элементы, органическое вещество, антропогенное воздействие, общая минерализация, общая жесткость, тяжелые металлы.

**Keywords:** organic matter, anthropogenic impact, total mineralization, total hardness, heavy metals.

**Аннотация.** Статья посвящена изучению гидрохимических свойств воды реки Аракс. В связи с антропогенными факторами из года в год нарушается экологическое равновесие природы и в том числе естественные условия водных объектов. Ухудшается качество воды, нарушаются русловые процессы, усиливается возможность загрязнения водных объектов сбросными отходами. За исключением воды, содержащейся в минералах и биомассе, всю гидросферу можно считать природным богатством водных ресурсов. Поэтому изучение физико-химических свойств воды необходимо в связи с ее широким использованием в различных областях экономики (в промышленности, аграрном секторе, водоснабжении и др.). Изучение таких факторов как: общая минерализация, общая жесткость, ионный и солевой состав, биогенные элементы, химическая (ХПК) и биологическая (БПК) потребность в кислороде, а также изучение некоторых тяжелых металлов в воде выясняет закономерности формирования их гидрохимического режима.

Также установлено, что состав и формирование речных вод зависят от природных условий, рельефа местности, состава подземных и поверхностных вод. Поэтому изучение химического состава природных вод имеет особое значение и является очень актуальной проблемой в современное время. Изучение гидрофизических, гидрохимических и биологических свойств воды, ее воздействия на гидротехнические сооружения и устройства определяет ее использование в различных областях — орошении, хозяйственно-питьевом водоснабжении, дает основу для изучения качества воды рек, водохранилищ и каналов.

**Abstract.** The article is devoted to the study of hydrochemical properties of water of the river Araks. Due to anthropogenic factors, ecological balance of nature, including natural conditions of water bodies is disturbed from year to year. Water quality is deteriorating, channel processes are being disturbed, and possibility of pollution of water bodies with waste products is increasing. With the exception of water contained in minerals and biomass, the entire hydrosphere can be considered a natural wealth of water resources. Therefore, study of physical and chemical properties of water is necessary due to its wide use in various areas of economy (industry, agricultural sector, water supply, etc.). Study of such factors as: general mineralization, general hardness, ionic and salt composition, biogenic elements, chemical (COD) and biochemical (BOD) oxygen demand, and the study of some heavy metals in water reveals the patterns of formation of their hydrochemical regime.

It has also been established that content and formation of river waters depend on natural conditions, terrain, composition of ground and surface waters. Therefore, the study of chemical composition of natural waters is of particular importance and is a very urgent problem in modern times. The study of hydrophysical, hydrochemical and biological properties of water, its impact on hydraulic structures and devices determines its use in various areas — irrigation, domestic and drinking water supply, provides a basis for studying the quality of water in rivers, reservoirs and canals.

**Введение.** Организация рационального использования воды является одной из актуальных проблем охраны природы и изменения экологического баланса. Интенсификация промышленности и сельского хозяйства, транспортировка и охрана питьевой воды является одним из наиболее актуальных вопросов независимо от развития других областей экономики. За исключением воды, содержащейся только в минералах и биомассе, весь состав гидросферы можно считать запасом водных ресурсов. Поэтому изучение физико-химических свойств воды очень актуально в связи с ее использованием в различных сферах экономики (промышленности, сельском хозяйстве, водоснабжении и др.). Изучение таких свойств воды как: общая минерализа-

ция, общая жесткость, ионный и солевой состав воды, содержание биогенных элементов и некоторых тяжелых металлов, химическое и биологическое потребление кислорода, уточняет закономерности формирования их гидрохимического режима.

Гидрохимический анализ воды реки Аракс с 1944 г. регулярно проводился бывшим Комитетом Гидрометеорологии Азербайджана. В 1976–1979 гг. гидрохимические свойства воды реки Аракс изучались в Научно-исследовательском институте водных проблем. Анализы воды реки повторно проведены в 2009–2011 гг. Результаты этих анализов показали, что в верховьях реки в воде преобладает количество гидрокарбонат-ионов, а в низовьях — количество сульфат-ионов. В зависимости от сезонов состав воды реки меняется [1–5]. Причиной такого изменения химического состава воды по направлению течения реки объясняется по нашему соображению смешением вод, впадающих в нее рек и подземных вод (природных и антропогенных).

Как мы уже отметили, для обеспечения растущей потребности населения, сельского хозяйства, новых отраслей промышленности в воде, а также с целью охраны водных ресурсов и изучения их качества, повторно в 2014–2016 гг. проведены комплексные исследовательские работы по выявлению закономерностей формирования гидрохимического режима воды реки Аракс [2].

**Цель исследования** — изучение формирования гидрохимического режима воды нижней части течения реки Аракс в условиях техногенной нагрузки.

**Материалы и методы исследования.** С целью изучения формирования гидрохимического режима воды реки Аракс проанализированы взятые пробы. Образцы привлечены к химическому анализу. При анализе определено содержание в воде анионов и катионов. Также установлены: общая минерализация, общая жесткость, содержание биогенных элементов, тяжелые металлы и органические вещества.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Как известно, состав и формирование речных вод зависят от природных условий, рельефа местности, состава подземных и поверхностных вод. Поэтому изучение химического состава природных вод имеет особое значение и является очень актуальной проблемой в современное время. Следовательно, изучение гидрохимических и биологических свойств воды, ее влияние на гидротехнические сооружения и оборудования определяет ее использование в различных областях экономики, в орошении, питьевом водоснабжении и дает основу для изучения динамики вод рек, водохранилищ и каналов.

В целом улучшение экологии реки Аракс рассматривается как проблема и изучается постоянно.

но, но решение изучения гидрохимических свойств речной воды нельзя рассматривать как рядовой комплексный вопрос. Поскольку часть реки Аракс проходит по территории Армении, мы не можем проводить исследования в этом районе. Поэтому исследования проводились только на участке реки, проходящей по территории Азербайджана (на пунктах, расположенных от точки входа на территорию до точки впадения в реку Кура).

Изучение физико-химических и биологических свойств воды реки Аракс, донных отложений, ионно-солевого состава, присутствие в составе органических веществ, биогенные и микро-макроэлементов, взвешенных частиц, микробного состава, коли-титра, коли-индекса, ХПК и БПК, выявление природных и антропогенных факторов, влияющих на формирование гидрохимического режима, а также изучение качества воды по направлению течения реки имеет большое значение с точки зрения улучшения ее экологии и составляет основу данной исследовательской работы [2].

При исследовании гидрохимических свойств воды крупных рек (особенно реки Аракс) в первую очередь должны быть изучены характеристики малых рек, смешивающихся с ними по направлению течения, и ландшафта, который их окружает. Результаты исследований, проведенных учеными в разное время, показывают, что качество воды в реках зависит от плотности населения, проживающего в этой зоне, количества животных, приходящихся на 1 км<sup>2</sup> площади, количества сточных вод, сбрасываемых в реку без обработки, а также от природных и антропогенных воздействий.

Река Аракс является крупнейшим рукавом реки Куры и берет начало (исток) с высот горы Бингёл на территории Турции.

Это очень илистая река и ежегодно приносит собой на территорию Азербайджана около 14 тыс. т взвешенных частиц. В реку Аракс впадает до 400 малых рек длиной 8–10 км – Севджур, Зенгичай, Арпачай, Нахичеванчай, Базарчай, Конделенчай, Охчучай, Гекеричай, Макучай, Готурчай и др. 54 % воды реки составляют атмосферные осадки, а 46 % подземные воды [2]. Вода реки широко используется в ирригации, энергетике, рыболовстве, питьевом водоснабжении и различных отраслях экономики.

Естественный режим реки Аракс нарушается в период орошения и в связи с развитием сельского хозяйства и промышленности, а также изменением межгосударственных отношений, наблюдается изменение качества и количества речной воды, в результате чего она поступает на территорию нашей республики в загрязненном состоянии. В то же время, протекая через регионы страны, вода реки Аракс подвергается дополнительному загрязнению. При прохождении реки Аракс по территории Армении горнодобывающие и промышленные стоки, а также бытовые сточные воды стекают в нее без очистки. Примерами таких рек являются Базарчай, Гекеричай, Охчучай и Хачинчай. Река Базарчай, проходя через большую часть территории Армении, принимает неочищенные промышленные и бытовые стоки и впадает в реку Гекери-

чай, которая в конечном итоге впадает в реку Аракс. Также Охчучай, проходя по территории Армении, приносит собой грязные стоки и промышленные отходы и смешивается с рекой Аракс в Зенгилянском районе. В результате в составе воды реки значительно увеличивается количество меди, кадмия, цинка, фенола, сульфатов и др. элементов. Так, например, на расстоянии 100 км от Миндживана до Горадиза количество цианид-ионов (CN) превышает норму в 4–6 раз. Воды реки Аракс подвергаются дополнительному загрязнению при прохождении через Шарурский, Нахичеванский, Джульфинский, Ордубадский, Миндживанский, Горадизский, Имишлинский, Бейлаганский, Саатлинский и Сабирабадский районы республики. Поэтому, на сегодняшний день улучшение качества воды реки Аракс является глобальным и важным вопросом.

Развитие промышленности, увеличение выбросов и степень их загрязненности, отток воды с сельскохозяйственных полей в реку Аракс приводит к еще большему снижению качества воды реки. Из-за воздействия нефтепродуктов, азотных и фосфорных удобрений, органических веществ и неочищенных сточных вод, количество химических и биологических загрязнителей в воде реки Аракс значительно превышает норму, в результате чего ее вода не соответствует нормам питьевой воды. В связи с этим возникает необходимость изучения гидрохимических и биологических свойств вод водоемов [6].

С учетом вышеизложенного в целях комплексного изучения гидрофизических, гидрохимических и биологических свойств воды реки Аракс отобраны пробы воды из различных пунктов, расположенных по течению реки, а именно на территории Нахичеванской Автономной Республики, Горадизе, Бала-Бахманлы, Бейлагане, Бахрамтепе, Имишлах, Саатлах, Сабирабаде. Взятые пробы воды проанализированы в лабораторных условиях. Полученные данные основных составляющих проб речной воды: количество гидрокарбонатов, кальция, магния, сульфатов, хлоридов, натрия, калия, общая минерализация, общая жесткость, классы и группы вод, соотношение анионов и катионов, приведены в таблице [7, 8].

Как видно из данных таблицы, вода реки на периоды проведения анализов была очень изменчивой. Так, общая минерализация варьировала в пределах от 535,3 до 2002 мг/л, а общая жесткость 5...15,5 мг-экв/л. По нашему соображению, изменение минерализации в таком широком интервале обусловлено физико-географическими условиями, режимом рек, влиянием подземных и сточных вод, а также вод рек, впадающих в реку Аракс. Следует отметить, что за последние 35...40 лет минерализация воды реки Аракс увеличилась в 2...3 раза [9, 10].

На территории Нахичеванской АР минерализация речной воды составляет 855,6 мг/л, жесткость 6...7,5 мг-экв/л, соотношение анионов:  $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ ;  $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ ;  $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$ , а соотношение катионов в основном  $Na^+ + K^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ . По классификации воды реки в этих пунктах относятся к хлористо-сульфатным,

Химический анализ проб воды из реки Аракс

Пункт отбора проб	Дата отбора	Содержание анионов и катионов, мг-экв/л мг/л								Общая жесткость, мг-экв/л	Общая минерализация, мг/л	Классификация воды по О.А. Алекину	Тип
		НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Сl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Класс	Группа				
г. Нахичевань	02.03.20	140,3	262,3	187,3	56,1	57,1	152,5	10	855,6	II	12	III	
г. Шарур	07.04.20	2,3	7,4	3,9	2,8	4,7	6,1	7,5	636,9	Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> хлоридный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	III	
		237,9	74,4	144,1	50,1	30,4	100,0	5,0	636,9	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> > K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> = Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	III	
г. Джульфа	08.04.20	3,9	2,1	3,0	2,5	2,5	4,0	8,5	960,8	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		298,9	152,4	240,1	60,1	66,8	142,5	6,7	960,8	Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> хлоридный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Горадиз	02.03.20	4,9	6,5	5,2	3,1	3,6	9,9	6,0	1132,3	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		298,9	230,4	249,7	62,1	43,7	247,5	6,0	1132,3	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Горадиз	12.05.20	4,5	2,5	2,9	2,75	3,25	3,9	6,0	694,5	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		274,5	88,6	139,3	55,1	39,5	97,5	6,0	694,5	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Горадиз	09.11.20	4,5	3,2	3,9	2,2	3,8	5,6	6,0	805,5	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		274,5	113,4	187,3	44,1	46,2	140,0	6,0	805,5	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Горадиз	07.01.20	366,1	177,2	187,3	70,1	42,5	197,5	7,0	1040,7	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> = Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		6,0	5,0	3,9	3,5	3,5	7,9	7,0	1040,7	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> = Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Горадиз	05.06.20	244,0	67,3	86,4	40,1	42,5	55,0	5,5	535,3	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Mg <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> магний	II	
		4,0	1,9	1,8	2,0	3,5	2,2	5,5	535,3	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Mg <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> магний	II	
г. Горадиз	11.02.21	268,4	78,0	148,9	68,1	44,9	65,0	7,1	673,3	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> магний	II	
		4,4	2,2	3,1	3,4	3,7	2,6	7,1	673,3	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> магний	II	
г. Горадиз	04.03.21	292,8	92,2	345,8	84,2	47,4	162,5	8,1	1024,9	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		317,2	121,6	139,3	80,2	42,5	100,7	8,1	1024,9	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Горадиз	11.02.20	5,2	3,43	2,9	4,0	3,5	4,03	7,5	801,5	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		305,0	149,0	312,2	84,2	36,4	212,5	7,5	801,5	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Горадиз	07.08.20	5,0	4,2	6,5	4,2	3,0	8,5	7,2	1099,3	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		305,0	177,2	172,9	70,1	36,4	177,5	7,2	1099,3	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Горадиз	07.01.21	5,0	5,0	3,6	3,5	3,0	7,1	6,5	939,1	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> = Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		311,1	148,9	302,6	86,2	37,7	205,0	6,5	939,1	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> = Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> гидрокарбонатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
Бала-Бахманлы	03.08.21	5,1	4,2	6,3	4,3	3,1	8,2	7,4	1091,5	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		335,5	131,2	187,3	82,2	60,7	100,0	7,4	1091,5	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
Бала-Бахманлы	11.02.21	5,5	3,7	3,9	4,1	5,0	4,0	9,1	896,9	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> магния	II	
		298,9	95,7	163,3	80,2	36,4	100,0	9,1	896,9	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> магния	II	
Бала-Бахманлы	04.07.21	4,9	2,7	3,4	4,0	3,0	4,0	7,0	774,5	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Ca <sup>2+</sup> = Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> кальциевая-натрий-калиевая	II	
		366,1	102,8	360,2	120,2	48,6	160,0	7,0	774,5	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > Cl <sup>-</sup> гидрокарбонатный	Ca <sup>2+</sup> = Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> кальциевая-натрий-калиевая	II	
Бала-Бахманлы	05.02.20	6,0	2,9	7,5	6,0	4,0	6,4	10,0	1157,9	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		274,5	156,0	734,8	130,3	60,7	317,5	10,0	1157,9	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Бейлаган	08.10.20	4,5	4,4	15,3	6,5	5,0	12,7	11,5	1673,8	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		274,5	124,1	326,6	50,1	60,7	182,5	11,5	1673,8	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
г. Бейлаган	17.02.21	4,5	3,5	6,8	2,5	5,0	7,3	7,5	1018,5	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	
		274,5	124,1	326,6	50,1	60,7	182,5	7,5	1018,5	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> сульфатный	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> натрий-калий	II	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
г. Бейлаган	07.09.21	274,5	248,1	192,1	40,1	54,7	225,0	1034,5	6,5	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ хлоридный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ натрий-калий	II
		4,5	7,0	4,0	2,0	4,5	9,0					
Бахрамтепе	11.02.20	311,1	120,5	254,5	82,2	48,6	142,5	959,4	8,1	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II
		5,1	3,4	5,3	4,1	4,0	5,7					
	15.09.21	237,9	212,7	576,4	100,2	60,7	297,5	1485,4	10,0	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} = \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II
		3,9	6,0	12,0	5,0	5,0	11,9					
	01.09.21	292,8	255,2	561,9	120,2	70,5	297,5	1598,1	11,8	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II
		4,8	7,2	11,7	6,0	5,8	11,9					
	15.02.22	298,9	109,9	374,6	112,2	42,5	167,5	1105,6	9,1	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II
		4,9	3,1	7,8	5,6	3,5	6,7					
	06.10.22	292,8	237,5	518,7	110,2	60,7	295,0	1514,9	10,5	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II
		4,8	6,7	10,8	5,5	5,0	11,8					
14.03.20	244,0	156,0	384,2	110,2	54,7	160,0	1109,1	10,0	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II	
	4,0	4,4	8,0	5,5	4,5	6,4						
09.06.20	280,6	177,2	763,7	160,3	66,8	300,0	1748,6	13,5	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II	
	4,6	5,0	15,9	8,0	5,5	12,0						
06.03.21	366,1	127,6	413,0	100,2	54,7	217,5	1279,1	9,5	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II	
	6,0	3,6	8,6	5,0	4,5	8,7						
14.08.21	268,4	212,7	528,3	142,3	63,2	227,5	1442,4	12,3	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II	
	4,4	6,0	11,0	7,1	5,2	9,1						
15.02.22	323,3	124,0	312,1	88,2	60,7	147,5	1055,8	9,4	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ натрий-калий	II	
	5,3	3,5	6,5	4,4	5,0	5,9						
05.08.22	244,0	177,2	489,9	100,2	54,7	242,5	1308,5	9,5	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ сульфатный	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ натрий-калий	II	
	4,0	5,0	10,2	5,0	4,5	9,7						

гидрокарбонатно-сульфатным, сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридным. Группа катионов также весьма разнообразна. Такая изменчивость классов и групп связана с увеличением и изменением минерализации и щелочности по течению реки Аракс в этом районе.

Минерализация проб воды, отобранных в Горадице, варьировала от 535,3 до 1025 мг/л, а жесткость – от 6 до 8,2 мг-экв/л.

Минерализация проб речной воды, отобранных из пунктов, расположенных в Бала-Бахманлы, Бахрамтепе, Бейлаганском, Имишлинском, Саатлинском и Сабирабадском районах, соответственно изменяется в пределах: 774,5...1099,3; 1034,5...1673,8; 959,4...1598,1; 1055,8...1748,6; 1125,5...2002 и 1055,6...1628,1 мг/л, а ее жесткость соответственно: 6,5...9,1; 6,5...11,5; 8,2...11,8; 9,5...13,5; 8,6...15,5 и 7,5...12,5 мг-экв/л.

Соотношение катионов в пункте Бала-Бахманлы составляет –  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ;  $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$  и  $\text{Ca}^{2+} = \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ , а соотношение анионов:  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ;  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ . Соотношение катионов в пункте Бейлаган  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ; соотношение анионов как  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$  и  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$  в пункте Бахрамтепе составляло  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} \gg \text{Mg}^{2+}$ , а соотношение анионов было в основном  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$  и  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ .

В пробах воды, взятых из пункта в Имишли, соотношение катионов составляло:  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ , а соотношение анионов:  $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ ;  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ . Здесь преобладают ионы  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Следует отметить, что в периоды низкой минерализации и жесткости воды по характеристике О.А. Алекина [11, 12] пробы воды, взятые из разных пунктов, относятся к II типу.

Из полученных результатов видно, что подземные воды оказывают сильное влияние на формирование и изменение гидрохимического режима воды реки Аракс. В то же время, стекающие в нее природные (дождевые, талые) и неочищенные сточные воды различного состава, играют достаточно большую роль в изменении его качества [13].

Результаты химических анализов показывают, что содержание аммония, нитритов, нитратов, алюминия, меди и железа в пробах воды, отобранных со всех пун-

ктов, в основном было практически в пределах нормы. Однако в некоторых местах превышение норм  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NO}_2^-$  ионов, связано со сбросом в разное время в реку неочищенных сточных, промышленных и сельскохозяйственных вод [14].

В жаркую погоду, т. е. весной и летом, количество нитрат ионов уменьшается за счет увеличения роста растений, присутствующих в воде, а осенью и зимой количество азота в воде увеличивается за счет уменьшения деятельности растений.

**Выводы.** Таким образом, результаты проведенных анализов по изучению гидрохимических свойств воды реки Аракс показывают, что по химическому составу вода реки на расстоянии до пункта в Бала-Бахманлы в основном относится к гидрокарбонатно-сульфатному, гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридному и гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатному типу. Во всех случаях гидрокарбонат ионы ( $\text{HCO}_3^-$ ) составляют преимущество. В осенний-зимний период в связи с маловодьем реки на этом пункте наблюдается преобладание сульфат-ионов.

После пункта Бала-Бахманлы большое влияние на изменение химического состава воды реки Аракс оказывают грунтовые воды Кура-Аракской низменности.

На некоторых пунктах в пробах воды реки Аракс в определенное время преобладают магниевые-хлоридные, магниевые-гидрокарбонатные и кальциевые-сульфатные соли. Количество этих солей в воде по направлению реки изменяется в зависимости от состава подземных, сточных вод и вод рек, впадающих в нее.

Исследование гидрохимических, биологических характеристик воды реки Аракс, выявление закономерностей ее формирования по направлению течения за годовой период, определение факторов, влияющих на нее и использование их результатов в разных отраслях экономики и в орошении имеет большое значение для бассейна реки Кура.

Также изучение физико-химических, гидрохимических свойств, биологического состава воды реки Аракс, установление их динамики по сезонам и прогнозирование может в дальнейшем способствовать рациональному использованию водных ресурсов реки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 442 с.
2. Асланов Г.Г. Экологические проблемы в низовьях реки Кура. Баку: Изд-во «Чашыюглу», 2013. 65 с.
3. Двуреченская С.Я., Булычева Т.М. Гидрохимический режим и качество воды Новосибирского водохранилища // Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 54–89.
4. Гумбатова Р.Б. Разработка рекомендаций для надежного управления водными ресурсами реки Аракс: отчет Азерб. НИИ водных проблем. Баку, 2011.
5. Влияние крупных притоков на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур / Л.М. Кондратьева, В.С. Канцыбер, В.Е. Зазулина и др. // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 6. С. 103–114.
6. Коралева А.И. Оценка загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами // Водные ресурсы. 1991. С. 93–97.
7. Курбанова Л.Г., Якубов А.И., Салимова Т.А. Изучение влияния донных отложений реки Аракс и вод каналов на окружающую

среду // Водные ресурсы, гидротехнические сооружения и окружающая среда: материалы Международной научно-практической конференции (г. Баку, 15–16 марта 2017 г.). Часть II. С. 533–537.

8. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. М.: Химия, 1973. 26 с.
9. Мамедов Г.Ш., Халилов М.Я. Экология, окружающая среда и люди. Баку: Изд-во «Элм», 2016. 400 с.
10. Сезонные изменения миграции содержания марганца в воде Новосибирского водохранилища / О.С. Огрызкова, А.Н. Эйрих, Т.Г. Серых и др. // Изв. АлтГУ. 2014. Т. 83. № 2-3. С. 176–180.
11. Разработка рекомендаций для надежного управления водными ресурсами, в связи со строительством новых водохозяйственных объектов на реке Аракс: отчет АзНИИВП. Баку, 2016.
12. Романов Р.Е., Ким Г.В. Состав и структура альгоценозов // Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 90–131.
13. Шекилиев Ф.И. Гидрохимические свойства воды реки Аракс на настоящий период: отчет Аз.НИИВП. Баку, 2018.
14. Широкова В.А. Классификации природных вод: прошлое, настоящее, будущее // Вестник ТГУ. 2013. Т. 18. Вып. 3. С. 1023–1027.

#### REFERENCES

1. Alekin O.A. Fundamentals of hydrochemistry. L: Gidrometeozdat, 1970. 442 p.
2. Aslanov G.G. Environmental issues in the lower reaches of the Kura River. Baku: Chashyoglu Publishing House, 2013. 65 p.
3. Dvurechenskaya S.Ya., Bulychева T.M. Hydrochemical regime and water quality of the Novosibirsk Reservoir // Long-term dynamics of the water-ecological regime of the Novosibirsk Reservoir. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2014. Pp. 54–89.
4. Humbatova R.B. Development of recommendations for reliable management of water resources of the Araks River: Report of the Azerbaijan Research Institute of Water Problems. Baku, 2011.
5. Kondratieva L.M., Kantsyber V.S., Zazulina V.E., et al. Influence of large tributaries on the content of heavy metals in water and bottom sediments of the Amur River // Pacific Geology. 2006. V. 25. No. 6. Pp. 103–114.
6. Koraleva A.I. Assessment of pollution of aquatic ecosystems with heavy metals // Water Resources. 1991. Pp. 93–97.
7. Kurbanova L.G., Yakubov A.I., Salimova T.A. Study of the influence of bottom sediments of the Araks River and canal waters on the environment // Water resources, hydraulic structures and the environment: Proceedings of the international scientific and practical conference. Baku, March 15–16, 2017. Part II. Pp. 533–537.
8. Lurye Y.Y. Unified methods of water analysis. M.: Chemistry Publishing House, 1973. 26 p.
9. Mamedov G.Sh., Khalilov M.Ya. Ecology, environment and people. Baku: Elm Publishing House, 2016. 400 p.
10. Ogrzykova O.S., Eirikh A.N., Serykh T.G. et al. Seasonal changes in the migration of manganese content in the water of the Novosibirsk Reservoir // Izv. AltGU. 2014. V. 83. No. 2-3. P. 176–180.
11. Development of recommendations for reliable water resources management in connection with the construction of new water management facilities on the Araks River. Report of the Az.NIWP. Baku, 2016.
12. Romanov R.E., Kim G.V. Composition and structure of algocenoses. // Long-term dynamics of the water-ecological regime of the Novosibirsk reservoir. Novosibirsk: Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2014. Pp. 90–131.
13. Shekiliev F.I. Hydrochemical properties of the Araks River water for the present period. Report of the AzNIWP, Baku, 2018.
14. Shirokova V.A. Classifications of natural waters: past, present, future // Bulletin of TSU. 2013. V. 18. Iss. 3. Pp. 1023–1027.

**Гурбанова Ламия Гюндюз кызы**, технолог-аналитик; **Алиева Фидан Зюлфугар кызы**, науч. сотрудник, f.aliyeva87@yandex, лаборатория анализа почвы и воды; **Шекилиев Фикрет Ибрагим оглы**, канд. хим. наук, доцент, вед. науч. сотрудник, Fikret46@mail.ru, отдел мелиорации (Научно-исследовательский институт воды и мелиорации, Г. Баку, Респ. Азербайджан).

## КЛАССИФИКАЦИЯ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ С УЧЕТОМ ЭРОЗИИ ПОЧВ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

И.С. МАЗУРОВА, М.С. ЗВЕРЬКОВ, С.С. СМЕЛОВА, Т.Г. СТЕПАНОВА

**Ключевые слова:** мелиорация, мелиоративное состояние, эрозия почв, геоинформационная система.

**Keywords:** reclamation, reclamation state, soil erosion, geo-information system.

**Аннотация.** В статье приводится пример классификации мелиоративного состояния орошаемых земель с учетом эрозии с использованием геоинформационной системы. Установлено, что 8,16% площади мелиорируемых земель в ЦФО находятся в «неудовлетворительном» состоянии, в «удовлетворительном» и «хорошем» – 91,57%. Приведенная классификация и результаты исследования могут послужить основой для совершенствования методики оценки степени пригодности орошаемых земель для сельскохозяйственного использования.

**Abstract.** An example of the classification of the reclamation state of irrigated lands using a geographic information system is given in the article. It is proposed to take into account erosion processes. It was established that the «unsatisfactory» state of land in the Central Federal District is noted on 8.16% of the territory of reclaimed land, «satisfactory» and «good» – 91.57%. The classification example and the results of the study can serve as a basis for improving the methodology for assessing the suitability of irrigated land for agricultural use.

**Введение.** В настоящее время перед сельскохозяйственной отраслью стоят серьезные вызовы. Очевидно, что постоянное наращивание объемов производства лимитируется ростом производительности труда, возрастающим риском отрицательных экологических последствий и рядом других факторов. В этой связи особенно актуальна оценка состояния орошаемых сельскохозяйственных земель, распределение которых на территории России неравномерно. Это обусловлено высокой степенью дифференциации природных условий: более 70% всех сельскохозяйственных угодий и около 80% пашни расположены в зонах недостаточного или неустойчивого атмосферного увлажнения, с деградационными процессами природного и антропогенного характера. Это резко снижает урожайность и валовые сборы сельскохозяйственной продукции.

Земледелие, как отмечают многие исследователи, в настоящее время находится в зоне повышенных рисков вследствие климатических изменений, экологических угроз и нерационального использования мелиоративных технологий [1, 2]. При этом мелиорация является одним из мероприятий повышения потребительской стоимости земель [3].

По данным Росреестра на 1 января 2024 г. в Российской Федерации учтено 225521,4 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в ЦФО (Центральный федеральный округ) – 33220,7 тыс. га (14,73%). В среднем за период 2015–2024 гг. в Российской Федерации было 222315,85 тыс. га, в ЦФО – 33256,5 тыс. га (14,96%). Итоги 2024 г. на момент написания настоящей статьи Росреестром еще не подведены. По оценке авторов данной работы, общие площади сельскохозяйственных угодий за этот период будут составлять 221000...226000 тыс. га, в ЦФО – 33200...33300 тыс. га (в рассматриваемом периоде до 2022 г. в целом по стране наблюдалось сокращение площади сельскохозяйственных угодий, в 2023 г. – рост на 1,61%, а в ЦФО – устойчивое сокращение площадей в 2015–2024 гг.).

В период 2015–2021 гг. в Российской Федерации площади пашни имели незначительные колебания в диапазоне 0,42...0,48% от среднего значения 123272,55 тыс. га. В ЦФО за период 2015–2023 гг. было несущественное сокращение площади пашни с 23854 тыс. га до 23821,7 тыс. га (–0,14%). По прогнозам авторов такая тенденция может сохраниться с незначительным ростом до 23831 тыс. га. В среднем в ЦФО в 2015–2024 гг. располагало 23843,99 тыс. га пашни.

Особую ценность представляют мелиорируемые угодья, так как урожайность сельскохозяйственных культур на этих землях выше. Совокупность свойств почв и гидрогеологических условий определяют мелиоративное состояние, а, следовательно, и возможность эффективной и безопасной эксплуатации мелиоративных систем. Поэтому мониторинг этих параметров является важной практической задачей. Его ежегодно организовано проводят специалисты разного уровня. В частности, такие наблюдения способствуют предупреждению рисков снижения технического состояния мелиоративных систем, а также предотвращают выбытие мелиорированных земель из сельскохозяйственного оборота.

Необходимо отметить, что в 2015–2024 гг. в среднем по стране насчитывалось 4934,87 тыс. га залежных земель, в ЦФО – 432,73 тыс. га (8,77%). По данным статистики Росреестра, отсутствуют залежные земли в Белгородской области, максимум сосредоточен в Брянской области (123,96 тыс. га), от 41,27 до 55,7 тыс. га – в Воронежской, Владимирской и Орловской областях. В целом для Российской Федерации в период 2015–2024 гг. характерен рост площади залежи (+0,99%), а для ЦФО – сокращение (–1,05%).

Показатели мелиоративного состояния характеризуют техническое состояние гидромелиоративных систем. Как отмечается в исследовании [4], эти системы являются сложными природно-техническими объектами, которые функционируют в условиях неопределенности динамического воздействия комплекса внешних и внутренних факторов, изменяющихся в пространстве и во времени. Низкий технический уровень и несоответствие технико-эксплуатационных параметров нормативным значениям приводят к риску возникновения чрезвычайных ситуаций, снижению степени безопасности и надежности. Низкий коэффициент полезного действия, обусловленный существенными потерями оросительной воды, приводит к снижению эффективности использования мелиорированных земель, а также к негативным последствиям для окружающей природной среды [4–6]. Мелиоративное состояние агроландшафтов находится в прямой зависимости от рационального управления водными ресурсами в условиях орошения [7]. Улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель имеет важное значение

ние в поливном земледелии. В [8] также отмечается, что в мелиоративной отрасли всегда актуальна задача по оценке состояния мелиорируемых угодий.

Наиболее распространенной является трехуровневая шкала оценки мелиоративного состояния земель: «хорошее», «удовлетворительное», «неудовлетворительное», в основу которой положены показатели степени засоления почвы и близости залегания грунтовых вод. В последнее время появилось много исследований мелиоративного состояния и отдельных его показателей [9–11]. В ГОСТ Р 70611–2022 в показатели мелиоративного состояния включены площади засоленных и эродированных почв, а также территорий с недопустимой глубиной залегания грунтовых вод [12]. В то же время наибольшее распространение получила практика оценки мелиоративного состояния без учета эрозионных процессов, что, по мнению авторов настоящего исследования, ее недостаток. Как отмечено в работах [13–15] показатели мелиоративного состояния позволяют оценить степень пригодности орошаемых земель для сельскохозяйственного использования. Эти показатели характеризуют состояние системы почва–породы зоны аэрации–подземные воды, формирующиеся и изменяющиеся под влиянием природных и антропогенных факторов. В работах [13, 15, 16] также отмечается, что основанием для выделения диагности-

ческих показателей оценки мелиоративного состояния является возможность измерения его изменения под влиянием мелиорации при наличии достоверной связи этого показателя с урожайностью сельскохозяйственных культур. Многочисленными исследованиями подтверждается влияние эрозионных процессов почвы на урожайность. Очевидно, что существующая практика, хотя и упрощает оценку мелиоративного состояния и делает ее унифицированной для разных условий, однако, не является полной. Используемые в обосновании теории мелиорации экосистемный и геосистемный подходы [17–19] также позволяют сделать вывод, что показателей оценки мелиоративного состояния земель может быть больше.

**Цель** настоящей работы заключалась в классификации мелиоративного состояния орошаемых земель в Центральном федеральном округе Российской Федерации (ЦФО) за период 2015–2024 гг. с учетом проявления эрозионных процессов в геоинформационной системе QGIS.

**Научно-практическая значимость** исследования заключается в том, что на основе фактических данных мониторинга выполнена оценка мелиоративного состояния земель, которая может служить основой для совершенствования методики оценки степени пригодности орошаемых земель для сельскохозяйственного использования.

**Материалы и методы исследования.** Исходными данными являются сведения о мелиоративных системах федеральной собственности в ЦФО, полученные из информационной мониторинговой системы ФГБУ ВНИИ «Радуга» – базы данных портала «Радуга-Информ» (далее – Портал) [20]. На основе данных паспортов и технико-эксплуатационных карт гидромелиоративных систем сформирован ретроспективный свод данных за период 2015–2024 гг. по распределению показателей мелиоративного состояния орошаемых угодий. Обработка данных и графическое оформление результатов исследования выполнены в электронных таблицах Microsoft Excel.

По данным Портала в Российской Федерации в 2024 г. находилось 8646,16 тыс. га мелиорируемых земель сельскохозяйственного назначения или 3,89 % от площади пашни (в среднем за период 2015–2024 гг. – 9021,55 тыс. га или 4,06 %). В ЦФО сосредоточено 1849,39 тыс. га мелиорируемых земель (20,49 %), из которых 490 тыс. га (26,49 %) – орошаемые земли (по Российской Федерации орошается 4402,42 тыс. га мелиорируемых земель или 48,79 % от общей площади).

Больше всего мелиорируемых земель в ЦФО (рис. 1) находится в Московской области – 394,55 тыс. га (21,33 %). Самые небольшие площади в Ивановской и Тульской областях – 33,28 тыс. га (1,79 %) и 23,10 тыс. га (1,25 %) соответственно. Максимум площадей орошаемых земель также находится в Московской области (135,09 тыс. га или 27,57 %), самые маленькие площади в Ярославской, Смоленской и Ивановской областях – 1,68 тыс. га (0,34 %), 1,94 тыс. га (0,40 %) и 2,42 тыс. га (0,49 %) соответственно. В Костромской области орошаемые земли по данным Портала отсутствуют.

Для пространственной классификации использовалась геоинформационная система QGIS (ver. 3.36.3 «Münster»). Исходная система координат – WGS 84

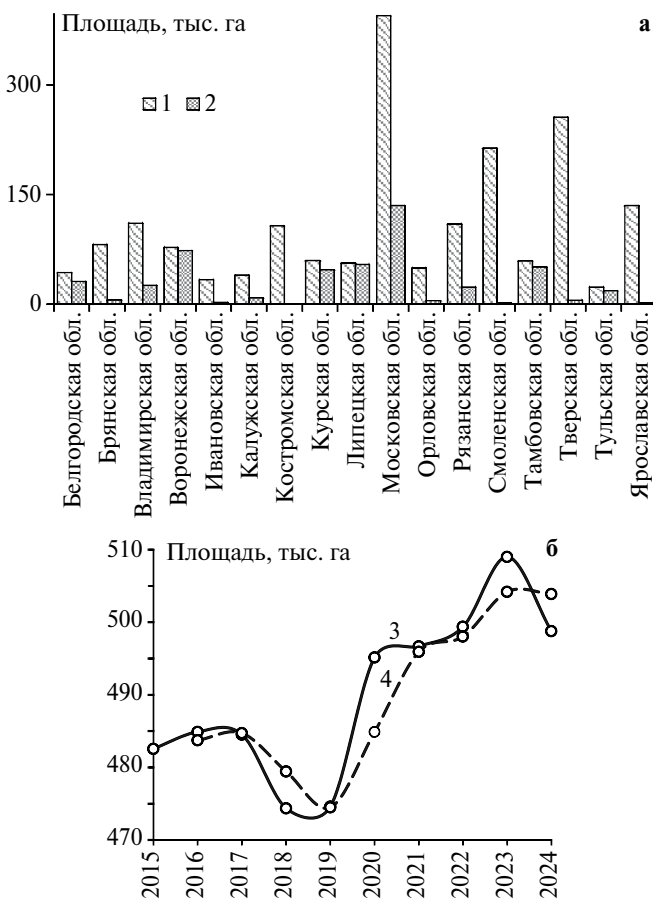


Рис. 1. Средневзвешенные площади мелиорируемых земель в субъектах ЦФО (а) и динамика орошаемых с.-х. угодий (б): 1 и 2 – соответственно общие мелиорируемые и орошаемые площади за 2015–2024 гг.; 3 и 4 – орошаемые площади и «скользящее среднее»

(Pseudo-Mercator, EPSG:3857). Границы регионов ЦФО представляют собой векторный слой с атрибутивным набором данных о мелиоративном состоянии земель.

Критерии мелиоративного состояния интерпретированы по ГОСТ Р 70611–2022 (см. [12], приложение А). Необходимо отметить, что в основу классификации по этому нормативному документу положен принцип дискретности при оценке негативного диагностического явления. Другими словами, дискретность оценки в данном случае заключается в дифференциации традиционного понимания «неудовлетворительного» мелиоративного состояния на три подгруппы. Результатом такой оценки является не площадь, дифференцированная по принципу от наиболее благоприятных к наиболее худшим условиям, а степень выраженности негативного диагностического явления на мелиорируемых землях. Поэтому во избежание путаницы в терминологии и для возможности сопоставления результатов исследования приняты названия подгрупп с оценками: III (наименьшая выраженность), II (средняя), I (наибольшая).

Недопустимая глубина залегания грунтовых вод (УГВ) принята в диапазонах  $УГВ < 1$  м и  $1 < УГВ < 1,5$  м. Группа III мелиоративного состояния присваивалась регионам с площадью недопустимого УГВ от 0 до 20 %, II – 20...30 %, I – более 30 %.

Влияние засоления почв учтено для регионов ЦФО, в которых встречается эта проблема. В данном исследовании не учитывался тип засоления. Группа мелиоративного состояния присваивалась в соответствии со следующей градацией: III – с площадью засоленных земель от 0 до 10 %, II – 10...30 %, I – более 30 %.

Сведения о распространении эрозии почв в регионах ЦФО встречаются в данных Росреестра в период с 2005 по 2012 г. (данные о более поздних наблюдениях отсутствуют). Динамика площади пашни, подверженной ветровой эрозии почв, отрицательная и составила –1,1 %, водной – +0,6 %. Экстраполяция этих данных до 2024 г. (рис. 2а) позволяет сделать предположение, что в ЦФО в период 2005–2024 гг. медианное значение площади пашни, подверженной ветровой эрозии почв, составляет 3,2 %, водной – 13,4 %. Допустимость такого вывода обосновывается тем, что в этот период увеличивались площади пашни, в том числе мелиорируемой. Следовательно, антропогенно ускоренная эрозия за этот период также могла иметь тенденцию к росту. Так как водная и ветровая эрозии могут действовать совместно, то в данном исследовании при оценке мелиоративного состояния принято допущение учитывать водную эрозию как ведущий и самый неблагоприятный фактор в оросительной мелиорации, имеющий наибольшее распространение в ЦФО. Медианное значение распределилось по регионам ЦФО в соответствии с долей орошаемой пашни (рис. 2б). Группа мелиоративного состояния присваивалась в соответствии со следующей градацией: «хорошее» – без эрозии, «удовлетворительное» – с эрозийными процессами на площади до 10 %, «неудовлетворительное» – более 10 %.

Для регионов ЦФО итоговая группа мелиоративного состояния по совокупности критериев (УГВ, засоление и эрозия почв) оценивалась как за весь, так

и за каждый год анализируемого периода 2015–2024 гг. как медианное значение. Расчеты выполнялись в калькуляторе полей таблицы атрибутов в программе QGIS (ver. 3.36.3 «Münster»). Для выявления тенденции изменения мелиоративного состояния применялся метод «скользящего среднего».

**Результаты исследования и их обсуждение.** На рис. 3 показаны карты распределения групп мелиоративного состояния по регионам ЦФО.

По глубине залегания грунтовых вод «хорошее» («III») (на 16,09 % земель с недопустимо близким УГВ) мелиоративное состояние земель в Белгородской (0,34 %), Брянской (12,08 %), Владимирской (0 %), Воронежской (1,68 %), Курской (0,52 %), Липецкой (0,73 %), Рязанской (10,08 %), Тамбовской (1,30 %) и Тверской (0 %) областях, оценка I – в Ивановской (39,20 %), Калужской (36,17 %), Московской (44,93 %), Орловской (25,27 %), Смоленской (59,61 %) и Ярославской (33 %) областях. В целом для Российской Федерации близкое залегание грунтовых вод характерно для 7,95 % площади всех орошаемых земель (по данным Портала – 8,42 % и 13,87 % соответственно для страны в целом и ЦФО). Скользящее среднее за 2015–2024 гг. показывает тенденцию к сокращению

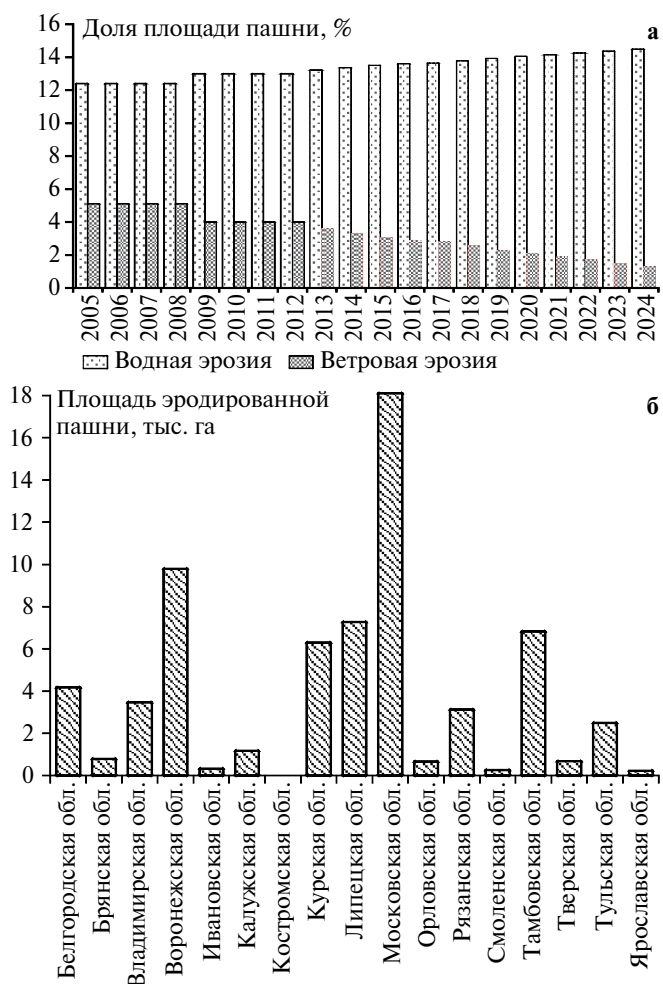


Рис. 2. Динамика (а) и распределение (б) площади эродированной пашни в регионах ЦФО (пунктиром выделена экстраполяция данных)

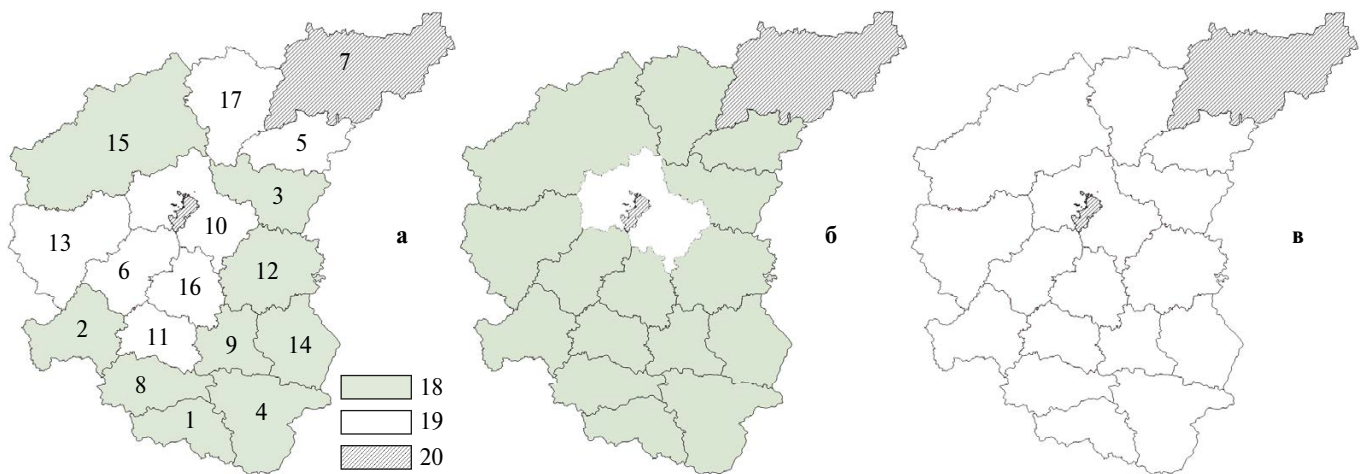


Рис. 3. Карты распределения групп мелиоративного состояния в зависимости от УГВ (а), засоления (б) и эрозии (в) почв по областям: 1 – Белгородская; 2 – Брянская; 3 – Владимирская; 4 – Воронежская; 5 – Ивановская; 6 – Калужская; 7 – Костромская; 8 – Курская; 9 – Липецкая; 10 – Московская; 11 – Орловская; 12 – Рязанская; 13 – Смоленская; 14 – Тамбовская; 15 – Тверская; 16 – Тульская; 17 – Ярославская; 18 и 19 – соответственно оценки III и I; 20 – орошаемые угодья отсутствуют

доли земель с «неудовлетворительным» мелиоративным состоянием по УГВ. В этот период площадь орошаемых угодий выросла на 4,23 %, а площади с недопустимым залеганием грунтовых вод сократились всего на 1,08 %. Это позволяет сделать вывод, что данная проблема за прошедший период практически не решалась, а сокращение преимущественно связано с вводом дополнительных площадей в оборот. Анализ данных также показывает, что во всех регионах с «неудовлетворительной» оценкой наблюдается рост площадей с недопустимо близким залеганием УГВ. Устойчивая тенденция к снижению этой площади имеет место только в Тульской области (–9,66 % за 2015–2024 гг.).

По засолению почв оценку I по расчетам авторов получила Московская область. По данным Портала, начиная с 2019 г., стабильно подведомственными Минсельхозу России учреждениями фиксируются сведения о наличии засоленных почв. Наметилась положительная динамика роста этих площадей на 3,38 % до 41,22 % в 2024 г. Также засоленные почвы на мелиорируемых землях отмечены в Воронежской (1,60%), Ивановской (11,25 %) и Тульской (16,24 %...19,98%) областях. В последней за 2023 и 2024 гг. сведения по засоленным почвам отсутствуют. По данным Портала «неудовлетворительная» оценка мелиоративного состояния присвоена землям Воронежской (0,24 %) и Ивановской (10,98 %) областям.

Эрозионные процессы на почве, как отмечено выше, на территории ЦФО проявляются на площади 13,4 %. По этому показателю все орошаемые земли получили «неудовлетворительную» (I) оценку мелиоративного состояния согласно принятому выше допущению. Использование данных дистанционного зондирования Земли по различным расчетным моделям с учетом геоморфологических особенностей территории и геометрических характеристик мелиорируемых земель, позволит получить дифференцированную оценку влияния этого фактора на мелиоративное состояние.

**Заключение.** В результате проведенного анализа установлено, что результирующая оценка мелиоративного состояния по степени проявления неблагоприят-

ных факторов в регионах ЦФО распределилась следующим образом: оценка III в Белгородской (в среднем 4,58 % орошаемых угодий с негативными диагностическими явлениями), Брянской (8,49 %), Владимирской (4,47 %), Воронежской (5,56 %), Курской

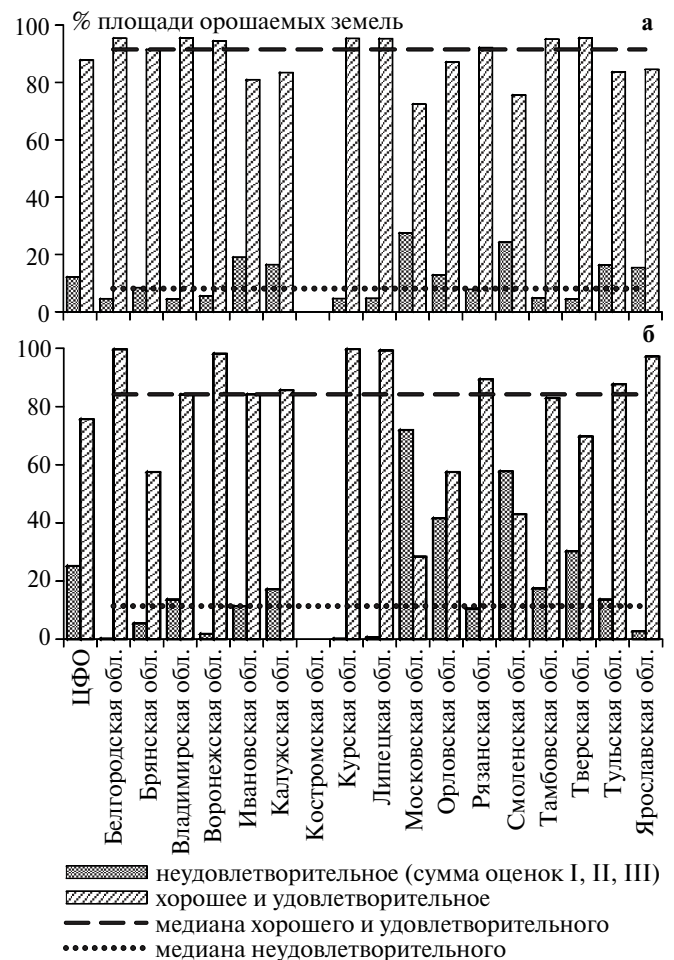


Рис. 4. Гистограмма оценки мелиоративного состояния в субъектах ЦФО по рассмотренной в статье методике (а) и по данным Портала (б)

(4,64%), Липецкой (4,71%), Рязанской (7,82%), Тамбовской (4,89%) и Тверской (4,47%) областях, оценка I – в Ивановской (19,03%), Калужской (16,53%), Московской (27,57%), Орловской (12,89%), Смоленской (24,34%), Тульской (16,36%), и Ярославской (15,47%) областях. В ЦФО негативные явления распространены на 12,21% территории орошаемых угодий. На рис. 4а приведена гистограмма оценки мелиоративного состояния орошаемых земель в субъектах ЦФО. Медианное значение «неудовлетворительного» состояния в субъектах – 8,16% территории, «удовлетворительно» и «хорошего» – 91,57%.

Как отмечено выше, оценка мелиоративного состояния и пространственная классификация выполнена в данном исследовании по степени выраженности негативного диагностического явления. Прямая классификация, используемая в практике мониторинга, обычно дифференцирует территорию по принципу площади, характеризующуюся определенными диапазонами референсных значений диагностического явления. Так, например, по данным ФГБНУ ВНИИ «Радуга» в ЦФО в 2019 г. «хорошее» мелиоративное состояние отмечается на 47% площади орошаемых угодий, «удовлетворительное» – 31%, «неудовлетворительное» – 22%. Такой подход, с одной стороны, позволяет оценить состояние сельскохозяйственных земель в целом, но, с другой стороны, лишен дискретности при анализе тенденции развития негативных процессов и эффективности мероприятий при их устранении. Пока решается проблема на одних территориях, на других – она возникает. В результате меняющееся соотношение площадей не может давать объективную характеристику состояния земель. Дискретная же оценка степени выраженности негативного диагностического явления позволяет сфокусировать внимание на тех угодьях, на которых требуются первоочередные мероприятия. Ухудшение оценки может служить триггером эффективности управления мелиоративным комплексом.

На рис. 4б показана оценка мелиоративного состояния по данным Портала (сведения подведомственных Департаменту мелиорации Минсельхоза России учреждений). Медианное значение «неудовлетворительного» состояния в субъектах – 11,42% территории, «удовлетворительного» и «хорошего» – 84,19% (разница в значениях соответственно 3,26 и 7,38% от рассматриваемого в статье подхода). Обращает внимание, что в обеих оценках (см. рис. 4) наиболее выраженная неудовлетворительная ситуация наблюдается в Московской и Смоленской областях. Такие результаты могут свидетельствовать о необходимости совершенствования существующих методов оценки мелиоративного состояния. Для Минсельхоза России это позволит оптимизировать затраты на улучшение состояния земель.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. High-technology agriculture system to enhance food security: A concept of smart irrigation system using Internet of Things and cloud computing / A. Mirchid [et. al.] // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2024. DOI: 10.1016/j.jssas.2024.02.001.
2. An overview of internet of things (IoT) and data analytics in agriculture: benefits and challenges / O. Elijah, T.A. Rahman, I. Orikumhi,

C.Y. Leow, M.N. Hindia // IEEE Internet Things J. 2018. Vol. 5. P. 3758–3773. DOI: 10.1109/JIOT. 2018. 2844296.

3. Гришаева О.Ю. Исследование динамики площадей мелиорированных земель с инженерной инфраструктурой в нормативном технико-эксплуатационном состоянии по федеральным округам Российской Федерации // Экология и строительство. 2024. № 3. С. 39–47. DOI 10.35688/2413-8452-2024-03-006.
4. Ольгаренко Г.В., Капустина Т.А. Анализ и интегральная оценка технико-экологического состояния мелиоративного комплекса Российской Федерации // Экология и строительство. 2024. № 4. С. 43–51. DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-006.
5. Solutions for a cultivated planet / Foley J. A. [et al.] // Nature. 2011. Vol. 478. P. 337–34. DOI: 10.1038/nature10452.
6. Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water-stressed regions / Mehta P., Siebert S., Kumm M. [et al.] // Nat Water. 2024. Vol. 2. P. 254–261. DOI: 10.1038/s44221-024-00206-9.
7. Шадских В.А., В Кижяева.Е., Пешкова В.О. Эффективное управление водными ресурсами при орошении соевых агроценозов в Поволжье // Экология и строительство. 2022. № 2. С. 4–11. DOI: 10.35688/2413-8452-2022-02-001. EDN HMWQRE.
8. Мазурова И.С. Ретроспективный анализ технического состояния мелиоративных систем федеральной собственности в Республике Дагестан по данным информационной мониторинговой системы // Экология и строительство. 2023. № 3. С. 21–29. DOI 10.35688/2413-8452-2023-03-003.
9. М Мустафаев.Г., Ф Мустафаев.М., Ахмедова А.Р. Исследование мелиоративного состояния почв Муганской степи // Экология и строительство. 2024. № 4. С. 38–42. DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-005.
10. А Качаев.Е., Турапин С.С. Моделирование условий формирования вымочек на мелиорируемых землях с учетом гидрофизических свойств почв // Экология и строительство. 2025. № 2. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-02-004.
11. Спектральная отражательная способность почв Мильской степи Азербайджана в зависимости от их химических и физических свойств / С.А. Кочарли, М.Г. Мустафаев, Э.М. Ахмедзаде [и др.] // Экология и строительство. 2025. № 1. С. 4–11. DOI 10.35688/2413-8452-2025-01-001.
12. ГОСТ Р 70611–2022. Мелиорация земель. Методика оценки дистанционными методами технического и экологического состояния. URL: <https://base.garant.ru/406681663/> (Дата обращения 10.04.2025.).
13. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель / Сост. Д.М. Кац, Н.И. Парфёнова. М.: ВНИИГиМ, 1978. Вып. 1. 71 с. Вып. 2. 108 с.
14. Инструкция по ведению кадастра мелиоративного состояния орошаемых и осушенных земель и технического состояния гидромелиоративных систем. М.: Минводхоз СССР, 1984. 18 с.
15. Совершенствование шкалы оценки мелиоративного состояния орошаемых земель / В.М. Янюк, П.В. Тарасенко, С.А. Забелин, С.А. Пестряков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 1(29). С. 15–30.
16. Парфенова Н.И., Рыбина П.И. Временные допустимые глубины залегающих грунтовых вод на орошаемых землях // Обоснование допустимых глубин грунтовых вод орошаемых земель: сб. науч. тр. М.: ВНИИГиМ, 1987. С. 46–52.
17. Смелова С.С. Геосистемный подход в мелиорации // Вестник мелиоративной науки. 2022. № 2. С. 11–15.
18. Чикалова Л.С. Эрозия почвы как фактор, оказывающий влияние на урожайность продукции сельского хозяйства // Экология и строительство. 2023. № 3. С. 13–20. DOI 10.35688/2413-8452-2023-03-002.
19. 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.
20. База данных портала «РадугаИнформ» URL: <https://inform-raduga.ru/> / С.С. Турапин, Г.В. Ольгаренко, Л.М. Тюрина, В.М. Кузнецов; свидетельство о регистрации базы данных № 2020622674 от 16.12.2020; заявка № 2020622595 от 07.12.2020.

#### REFERENCES

1. High-technology agriculture system to enhance food security: A concept of smart irrigation system using Internet of Things and cloud computing / A. Mirchid [et. al.] // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2024. DOI: 10.1016/j.jssas.2024.02.001.
2. An overview of internet of things (IoT) and data analytics in agriculture: benefits and challenges / O. Elijah, T.A. Rahman, I. Orikumhi,

C.Y. Leow, M.N. Hindia // IEEE Internet Things J. 2018. Vol. 5. P. 3758–3773. DOI: 10.1109/JIOT. 2018. 2844296.

3. Issledovanie dinamiki ploshchadei meliorirovannykh zemel' s inzhenernoi infrastrukturoi v normativnom tekhniko-ekspluatatsionnom sostoyanii po federal'nym okrugam Rossiiskoi Federatsii / O.Yu. Grishaeva // Ekologiya i stroitel'stvo. 2024. № 3. S. 39–47. DOI 10.35688/2413-8452-2024-03-006.

4. Analiz i integral'naya otsenka tekhniko-ekologicheskogo sostoyaniya meliorativnogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii / G.V. Ol'garenko, T.A. Kapustina // Ekologiya i stroitel'stvo. 2024. № 4. S. 43–51. DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-006.

5. Solutions for a cultivated planet / Foley J. A. [et al.] // Nature. 2011. Vol. 478. P. 337–34. DOI: 10.1038/nature10452.

6. Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water-stressed regions / Mehta P., Siebert S., Kumm M. [et al.] // Nat Water. 2024. Vol. 2. P. 254–261. DOI: 10.1038/s44221-024-00206-9.

7. Effektivnoe upravlenie vodnymi resursami pri oroshenii soevykh agrotsenzov v Povolzh'e / V.A. Shadskikh, V.E. Kizhaeva, V.O. Peshkova // Ekologiya i stroitel'stvo. 2022. № 2. S. 4–11. DOI: 10.35688/2413-8452-2022-02-001. EDN HMWQRE.

8. Retrospektivnyi analiz tekhnicheskogo sostoyaniya meliorativnykh sistem federal'noi sobstvennosti v Respublike Dagestan po dannym informatsionnoi monitoringovoi sistemy / I.S. Mazurova // Ekologiya i stroitel'stvo. 2023. № 3. S. 21–29. DOI 10.35688/2413-8452-2023-03-003.

9. Issledovanie meliorativnogo sostoyaniya pochv Muganskoj stepi / M.G. Mustafaev, F.M. Mustafaev, A.R. Akhmedova // Ekologiya i stroitel'stvo. 2024. № 4. S. 38–42. DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-005.

10. Modelirovanie uslovij formirovaniya vymochek na melioriruemyykh zemlyakh s uchetom gidrofizicheskikh svoystv pochv / A.E. Kachaev, S.S. Turapin // Ekologiya i stroitel'stvo. 2025. № 2. DOI: 10.35688/2413-8452-2025-02-004.

11. Spektral'naya otrazhatel'naya sposobnost' pochv Mil'skoi stepi Azerbaidzhana v zavisimosti ot ikh khimicheskikh i fizicheskikh svoystv / S.A. Kocharli, M.G. Mustafaev, E.M. Akhmedzade [i dr.] // Ekologiya i stroitel'stvo. 2025. № 1. S. 4–11. DOI 10.35688/2413-8452-2025-01-001.

12. GOST R 70611–2022. Melioratsiya zemel'. Metodika otsenki distantsionnymi metodami tekhnicheskogo i ekologicheskogo sostoyaniya. URL: <https://base.garant.ru/406681663/> (Data obrashcheniya 10.04.2025).

13. Metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu za meliorativnym sostoyaniem oroshaemykh zemel' / Sost. D.M. Kats, N.I. Parfenova. M.: VNIIGiM, 1978. Vyp. 1. 71 s. Vyp. 2. 108 s.

14. Instruktsiya po vedeniyu kadastra meliorativnogo sostoyaniya oroshaemykh i osushennykh zemel' i tekhnicheskogo sostoyaniya gidromeliorativnykh sistem. M.: Minvodkhoz SSSR, 1984. 18 s.

15. Sovershenstvovanie shkaly otsenki meliorativnogo sostoyaniya oroshaemykh zemel' / V.M. Yanyuk, P.V. Tarasenko, S.A. Zabelin, S.A. Pestryakov // Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii. 2018. № 1(29). S. 15–30.

16. Parfenova N.I. Vremennye dopustimye glubiny zaleganiya gruntovykh vod na oroshaemykh zemlyakh / N.I. Parfenova, P.I. Rybina // Obosnovanie dopustimyykh glubin gruntovykh vod oroshaemykh zemel': sb. nauch. tr. M.: VNIIGiM, 1987. S. 46–52.

17. Geosistemnyi podkhod v melioratsii / S.S. Smelova // Vestnik meliorativnoi nauki. 2022. № 2. S. 11–15.

18. Eroziya pochvy kak faktor, okazyvayushchii vliyaniye na urozhainost' produktsii sel'skogo khozyaistva / L.S. Chikalova // Ekologiya i stroitel'stvo. 2023. № 3. S. 13–20. DOI 10.35688/2413-8452-2023-03-002.

19. Algoritm geobotanicheskikh issledovaniy na meliorativnykh ob'ektakh s ispol'zovaniem dannykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov / S.S. Smelova // Ekologiya i stroitel'stvo. 2021. № 3. S. 9–16. DOI 10.35688/2413-8452-2021-03-004.

20. Baza dannykh portala «RadugaInform» URL: <https://inform-raduga.ru/> / S.S. Turapin, G.V. Ol'garenko, L.M. Tyurina, V.M. Kuznetsov; svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh № 2020622674 ot 16.12.2020; zayavka № 2020622595 ot 07.12.2020.

**Мазурова Ирина Сергеевна**, мл. науч. сотрудник, РИНЦ AuthorID: 1233759; **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; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник (Всероссийский НИИ систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», Московская обл., г. Коломна).

УДК 631.671.1

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-26-30

## НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА КРЫМА

С.А. МАКСИМОВ, В.И. МАСЛЯНИК

**Ключевые слова:** Северо-Крымский канал, структура посевов, режим орошения, дефицит влаги, фильтрационные потери, адаптивные водосберегающие технологии.

**Keywords:** the North Crimean Canal, the structure of crops, irrigation regime, estimated availability of moisture deficiency, filtration losses, adaptive water-saving technologies.

**Аннотация.** Развитие мелиоративно-водохозяйственного комплекса Республики Крым, зависит от эффективного осуществления целенаправленных мероприятий по ряду направлений: законодательного, экономического, технологического и научного характера. Для эффективного функционирования мелиоративных систем Крыма, необходимо обоснование оптимальных мелиоративных режимов орошаемых земель для различных агро-мелиоративных районов Республики Крым, обеспечивающих расширенное воспроизводство плодородия почв на мелиорируемых землях, экономии всех видов используемых ресурсов и не допускающих ущерба окружающей среде. Для снижения непроизводительных потерь оросительной воды, необходимо, переходя на ресурсосберегающие технологии в орошении, активно использовать программно-аппаратные комплексы управления водораспределением на всех уровнях мелиоративного водохозяйственного комплекса Крыма, а также для и оперативного управления поливами на орошаемых землях Республики Крым.

**Abstract.** The development of the reclamation and water management complex of the Republic of Crimea depends on the effective implementation of targeted measures in a number of areas: legislative, economic, technological and scientific. For the effective functioning of the reclamation systems of the Crimea, it is necessary to substantiate the optimal reclamation regimes of

irrigated lands for various agro-reclamation areas of the Republic of Crimea, providing expanded reproduction of soil fertility on reclaimed lands, saving all types of resources used and preventing environmental damage. In order to reduce unproductive losses of irrigation water, it is necessary, switching to resource-saving technologies in irrigation, to actively use software and hardware systems for water distribution management at all levels of the reclamation water management complex of the Crimea, as well as for operational irrigation management on irrigated lands of the Republic of Crimea.

Развитие Республики Крым как региона с современными курортными, промышленными, сельскохозяйственными кластерами возможно только на основе эффективно функционирующего мелиоративного водохозяйственного комплекса [1]. Центральным звеном мелиоративной водохозяйственной системы Крыма, несмотря на непростые современные обстоятельства, был и остается Северо-Крымский Канал (СКК), построенный в Советское время.

По замыслу своих создателей, СКК должен был обеспечивать водой оросительные системы Херсонской и Крымской областей общей площадью 299,5 тыс. га, табл. 1 (по данным из архива Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым).

Таблица 1

Поливные земли по оросительным системам (проектные данные)

Область, оросительная система	Севообороты		Всего, тыс. га
	Полевые + сады и виноградники	Рисовые	
Херсонская	109,85	21,33	131,18
Краснознаменская	29,62	10,39	40,01
Чаплинская	8,54	—	8,54
Каланчанская	9,57	7,59	17,16
Херсонская с Чулаковской	62,12	3,35	65,47
Крымская область	137,67	30,61	168,28
Красноперекопская	30,09	13,09	43,18
Раздольненская	12,9	6,20	19,10
Джанкойская	34,98	1,96	36,94
Красногвардейская	20,46	—	20,46
Сакская	9,78	—	9,78
Нижнегорская	16,09	9,36	25,45
Кировская	9,37	—	9,37
Ленинская	4,0	—	4,0
Итого	247,52	51,94	299,46

В настоящее время СКК имеет длину магистральной части 369,2 км, межхозяйственные ветки общей длиной 1500 км. В составе гидротехнических сооружений на СКК находится 363 насосные станции. По мере развития водохозяйственной и мелиоративной инфраструктуры Крыма общая площадь потенциально орошаемых земель с использованием Днепровской воды возросла до 401,5 тыс. га.

Природные условия, структура землепользования, развитость и особенности мелиоративной инфраструктуры определяют потребности в воде отдельных

Таблица 2

Проектная структура посевов на орошаемых землях, получающих воду из СКК

Культуры	Херсонская обл., тыс. га	Крымская обл., тыс. га	Итого, тыс. га
Озимая пшеница	34,54	27,30	61,84
Кукуруза на зерно	4,44	6,89	11,3
Яровые зерновые	5,94	8,91	15,30
Рис	12,13	16,02	25,15
Сахарная свекла	1,95	—	1,95
Подсолнечник	1,24	—	1,24
Овощи	3,85	12,65	16,50
Картофель	1,28	5,81	7,09
Бахча	1,30	—	1,30
Кормовые корнеплоды	3,08	3,91	6,99
Кукуруза на силос	19,66	19,62	39,28
Многолетние травы и культурные пастбища	30,95	33,95	64,9
Однолетние травы	1,22	2,16	3,33
Сады	2,98	11,60	14,58
Виноградники	4,99	17,51	22,50
Планировка	1,88	1,95	3,83
Всего	131,18	168,28	299,5
Повторные посевы	27,51	26,09	53,60

сельхозтоваропроизводителей, объемы воды, транспортируемые как непосредственно на поле, в пределах орошаемых участков, садах, виноградниках, рисовых чеках, так и в внутрихозяйственной и межхозяйственной оросительной сети. Объемы транспортируемой на поле определяются оросительными нормами, устанавливаемыми в соответствии со структурой севооборотов или водопотреблением многолетних культур, с учетом современных и перспективных потребностей в воде. Использование поливных земель Северо-Крымского канала по проекту приведено в табл. 2 (по данным из архива Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым).

В настоящее время режимы орошения для культур на конкретных участках полевых севооборотов, садов, виноградников или риса устанавливаются с учетом водопотребления сельскохозяйственных культур для средне-сухого года и расчетной обеспеченности 75% (по дефициту влаги), рис. 1. Метеоданные взяты ретроспективно для года аналога 1968 [2].

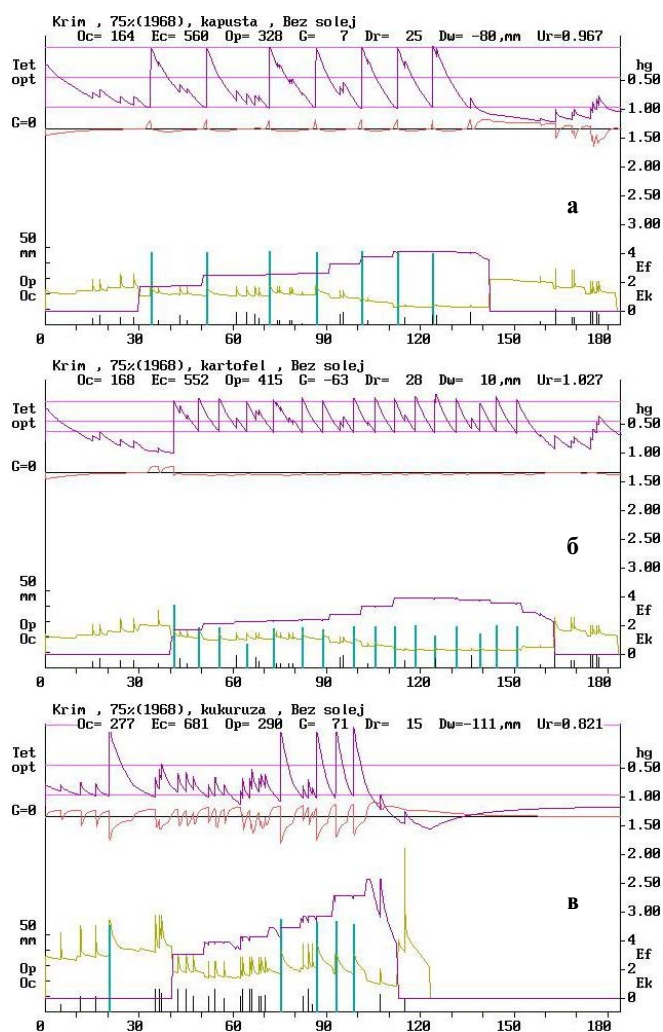


Рис. 1. Расчет режимов орошения для условий Салгирской оросительной системы (по Голованову): а – капусты; б – картофеля; в – кукурузы; Tet<sub>opt</sub> – оптимальная влажность расчетного слоя почвы; G – водообмен; P – поливы; Ef – испарение с поверхности почвы; Ek – отбор влаги корнями растений

Для установления расчетных значений поливных и оросительных норм, режимов орошения используются, как правило, декадные значения дефицита влаги.

Декадные значения дефицита влаги в корнеобитаемом слое почвы, водопотребление культур, поливные и оросительные нормы определяются на основе ретроспективного анализа метеоданных (по материалам метеостанций: Владиславовка, Нижнегорск, Джанкой, Ишунь, Воронки, Клепинино, расположенных в Крыму, и станций Каховка, Бехтеры, Аскания-Нова Херсонской области), а также с учетом гидрофизических свойств почв, прогноза динамики грунтовых вод на орошаемых участках, особенностей применяемой оросительной техники и технологии, наличия или отсутствия дренажа и других мелиоративных и водохозяйственных условий. Сроки и нормы поливов назначаются так, чтобы влажность

корнеобитаемого слоя почвы, находилась в пределах диапазона регулирования от значений предполивной влажности до предельно полевой влагоемкости.

Основные элементы режима орошения (ординаты гидромодуля (л/с/га), осредненные оросительные нормы ( $\text{м}^3/\text{га}$ ), продолжительность оросительного периода) по оросительным системам СКК приведены в табл. 3.

Средние оросительные нормы без осенней влагозарядки садов и виноградников по Крымской области составляют 2900...3360  $\text{м}^3/\text{га}$ , максимальные ординаты гидромодуля 0,32...0,38 л/с/га, по Херсонской области средняя оросительная норма несколько выше 3020...3860  $\text{м}^3/\text{га}$ , ординаты гидромодуля 0,31...0,41 л/с/га.

Проектные значения оросительных норм для риса в зоне СКК составляют 18,6...20,4 тыс.  $\text{м}^3/\text{га}$ , соответственно, ординаты гидромодуля в период затопления после обработки гербицидами от 2,218 до 3,067 л/с/га.

Таблица 3

Основные элементы режима орошения по оросительным системам СКК

Оросительная система	Метеостанция	Средняя оросительная норма, $\text{м}^3/\text{га}$	Максимальная ордината гидромодуля, л/с/га	Поливной период
<b>Крымская обл.</b>				
Ленинская	Владиславовка	2900 / 3130	0,342	22.IV–30.IX
Кировская	Владиславовка	2920 / 3170	0,324	26.IV–27.IX
Нижнегорская	Нижнегорск	3020 / 3270	0,340	22.IV–30.IX
Джанкойская	Джанкой	3350 / 3540	0,380	24.IV–30.IX
Красноперекопская	Ишунь	3360 / 3500	0,338	22.IV–30.IX
Раздольненская	Воронки	3160 / 3310	0,355	22.IV–05.X
Красногвардейская	Клепинино	3350 / 3620	0,360	22.IV–30.X
<b>Херсонская обл.</b>				
Каланчакская	Ишунь	3720 / 3750	0,380	22.IV–30.IX
Чаплинская	Аскания Нова	3600 / 3620	0,385	26.IV–30.IX
Краснознаменская	Бехтеры	3060 / 3070	0,320	27.IV–30.IX
Херсонская	Н-Каховка	3030 / 3110	0,330	16.IV–25.IX

Примечание. Средняя оросительная норма: числитель – вегетационные и предпосевные поливы; знаменатель – то же с учетом осенней влагозарядковых поливов садов и виноградников.

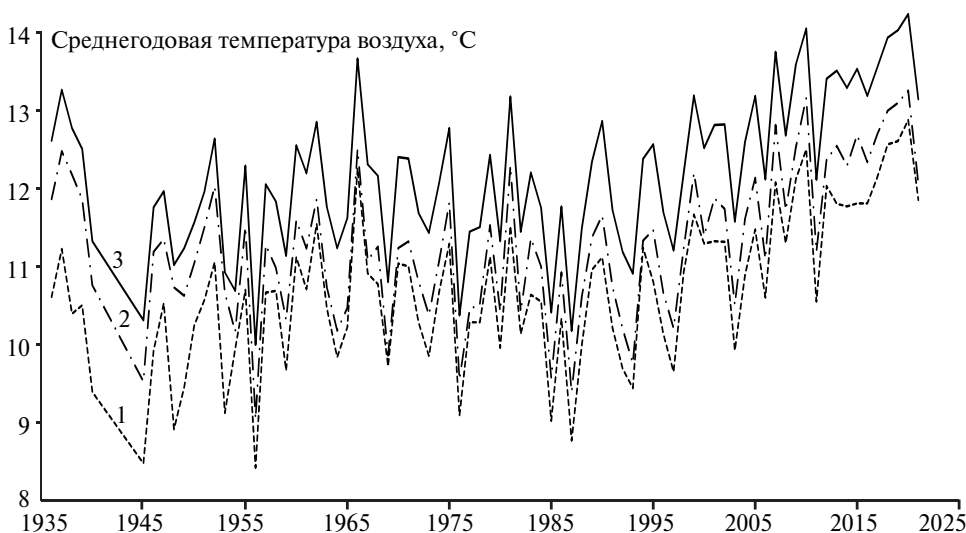


Рис. 2. Тенденции изменения среднегодовой температуры: 1 – Симферополь; 2 – Керчь; 3 – Феодосия

Следует отметить, что по данным метеостанций Крыма засушливость климата возрастает (растут потенциальные дефициты увлажнения и снижаются коэффициенты увлажнения), причем те годы, которые по архивным рядам определялись как имеющие низкую повторяемость, в ближайшие 30 лет будут встречаться с большей частотой, рис. 2 (по данным метеостанций Симферополь, Керчь, Феодосия, ВНИИГиМ, И.В. Корнеева) [3].

Выявленные тенденции изменений климата на полуострове свидетельствуют о том, что при обосновании проектных решений нельзя использовать традиционные подходы при определении расчетных обеспеченностей дефицита влаги, поскольку это может привести к неприемлемым экономическим издержкам. Дефициты влаги и режимы орошения необходимо устанавливать в ходе анализа результатов многолетних прогнозных расчетов, ориентированных на весь период жизни проекта или цикл смены технических укладов.

Другим важнейшим условием, определяющим эффективность функционирования водохозяйственной системы Крыма, является минимизация потерь воды на фильтрацию и испарение с водной поверхности, неизбежно возникающих при транспортировке воды на всех уровнях мелиоративной водохозяйственной инфраструктуры (от поля до магистральной ветки СКК).

Фильтрационные потери воды из канала установлены на основе расчетов и данных режимных наблюдений, на-

Таблица 4

## Фильтрационные потери из СКК

№ участка	Мероприятия	Пикетаж	Длина, км	Удельный расход, л/с/км	Общие потери, л/с
I–III	Без мероприятий	0...700	70	85	5950
		700...900	20	28	560
V	Без мероприятий	900...1240	34	28	952
	Суглинок. зуб	1240...1350	11	13	143
	Бетонный экран несплошной	1350...1356	0,6	4,5	28
	Бетонный экран	1356...1470	11,4	6	68
VI	Без мероприятий	1470...1570	10	22	220
VII	Бетон с пленкой	1967...1985 1655...1640	4,3	6	26
	Без мероприятий	1570...1967 1985...2075	48,7	20	974
VIII	Глиняный экран	2110...2120 2230...2240	2	3,5	7
		Без мероприятий	2075...2110 2120...2230 2240...2367	27,2	20
	Бетон	2367...2380	1,3	6	8
	IX	Глиняный экран	2520...2540	2	5,3
Бетон		2380...2420 2446...2460	4 1,4	45 5	180 7
		Без мероприятий	2420...2446 2460...2520 2540...2570	11,6	12
X	Глиняный экран	2693...2700	0,7	5,3	4
	Без мероприятий	2570...2693	12,3	18,0	221
XI	Глиняный экран	2700...2707	0,7	5,3	4
	Бетон	2735...2747 2770...2780	2,2	3,8	9
		Без мероприятий	2707...2735 2747...2770 2780...2800	7,1	6,5
XII	Бетон	2783...2853 2870...2880 2907...2945	6,4	4,0	26
		Без мероприятий	2800...2887 2853...2870 2880...2907	3,7 1,7 2,7	85 27 62
	Бетон	2997...3005	0,8	3,6	3
XIII	Без мероприятий	2945...2997 6005...3020	5,2 1,5	5,1 93	26 140
		Бетон	3020...3080	6,0	3,2
XIV	Бетон	3080...3265	18,5	3,6	67
		Без мероприятий	3265...3660	39,5	3,6
XIV–XX	Итого	0...3660	366	11,404	

турных и лабораторных исследований, а также определения потерь объемным и гидрометрическим способом. Фильтрационные потери воды по двадцати выделенным участкам СКК с учетом существующей и проектируемой противofильтрационной защиты приведены в табл. 4, а по эксплуатационным участкам в табл. 5.

Вопрос установления возможных фильтрационных потерь из оросительных каналов на фоне длительного отсутствия воды в них и определения оросительных норм брутто остается достаточно актуальным.

Так, в 2023 г. в Республике Крым планировалось выращивание риса на площади 2748 га, но в связи с техногенной катастрофой на Каховском водохранилище, водоподачу на участки систем рисовых севооборотов удалось сохранить только на 344 га, из них на территории землепользования ООО «Штурм Перекопа» (Красноперекопский район) – на 221 га.

Применение адаптивной водосберегающей технологии дифференцированного режима орошения риса в условиях дефицита водных ресурсов региона, при которой существенно снижаются потери воды на фильтрацию позволило обеспечить:

- возможность орошения риса в принципе и оптимизировать водоподачу на рисовых системах там, где это было возможно в сложных условиях водообеспечения северной части степного Крыма в 2023 г. При этом уменьшить объем водоподачи и, соответственно, оросительную норму брутто до 24,18 тыс. м<sup>3</sup>/га при плановых 38 тыс. м<sup>3</sup>/га;

- сохранение урожайности риса на уровне около 9 т/га.

Экономический эффект от внедрения данной технологии в 2023 г. составил порядка 1,1 млн руб. или около 4,8 тыс. руб./га.

Важной составляющей потерь оросительной воды являются потери на испарение с водной поверхности, как при ее транспортировке в межхозяйственной оросительной сети, так и при осуществлении поливов на полях.

Испарение с водной поверхности СКК на характерных участках канала от 0 до 135 км по месяцам использованы материалы учета непосредственных потерь с испарительных бассейнов гидрометеорологических станций Аскания-Нова и Новая Каховка. Испарение воды за сезон по выделенным характерным участкам Северо-Крымского канала приведено в табл. 6. Испарение увеличивается, начиная с апреля, достигает максимума в июле, затем постепенно снижается и в октябре становится таким же, как и в начале сезона.

Потери на испарение за сезон определены в объеме 14,5 млн м<sup>3</sup>. Расчетный расход на испарение, отнесенный к голове канала, составляет в среднем за сезон 0,784 м<sup>3</sup>/с. На канале от 136 до 366 км, где нет метеостанций, оборудованных испарителями, приняты месячные нормы, исчисленные по расчетным формулам.

### Выводы

1. Развитие мелиоративно-водохозяйственного комплекса Республики Крым зависит от эффективного осуществления целенаправленных мероприятий по ряду направлений: законодательного, экономического, технологического и научного характера.

2. В настоящее время для эффективного функционирования мелиоративных систем Крыма, необходимо обоснование оптимальных мелиоративных режимов орошаемых земель для различных агрометеорологических районов Республики Крым, обеспечивающих расширенное воспроизводство плодородия почв на мелиори-

Таблица 5

Потери воды из СКК по эксплуатационным участкам

№ участка	Пикеты	Длина участка, км	Осредненные потери на 1 км канала, л/с	Фильтрационные потери на 1 км канала		Потери на всем участке, млн м <sup>3</sup>	% к итогу
				За сутки	За весь период, тыс. м <sup>3</sup>		
I	0...522	52,2	85	7344	1395	72,8	38,4
II	522...1080	56,8	46	3980	752	42,1	22,2
III	1080...1680	60,0	19	1640	312	18,7	9,8
IV	1680...2422	74,0	22	1900	361	36,7	41,1
V	2422...3080	64,0	25	2160	410	26,2	13,7
VI	3080...3660	60,0	3,6	311	59	3,5	1,8
Итого		366	31,4	2732	519	190,0	100,0

Таблица 6

Потери воды из СКК на испарение

На участке				На 1 км канала	
Длина участка, км	Объем потерь на участке, тыс. м <sup>3</sup>	Потери, м <sup>3</sup> /с	% к итогу	Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Потери, м <sup>3</sup> /с
61	5481	0,296	37,8	89,8	0,005
147	6324	0,342	43,6	43,8	0,002
61	1011	0,054	6,9	16,6	0,001
97	1715	0,092	11,7	17,5	0,001
366	14531	0,784	100	—	—

руемых землях, экономия всех видов используемых ресурсов и не допускающих ущерба окружающей среде.

3. Для снижения непроизводительных потерь оросительной воды, необходимо, переходя на ресурсосберегающие технологии в орошении, активно использовать программно-аппаратные комплексы управления водораспределением на всех уровнях мелиоративного водохозяйственного комплекса Крыма, внедрять оперативное управление внутрихозяйственной сетью, по-

ливами на орошаемых землях Республики Крым (в степной части полуострова, при выращивании зерновых, овощей, садов, предгорной, на системах капельного орошения для виноградников, для водооборотных систем при выращивании риса).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Водообеспечение сельскохозяйственной отрасли Крыма: текущая ситуация и перспективы / В.И. Ляшевский, А.П. Тищенко, Н.Е. Волкова, Н.М. Иванютин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4(64). С. 120–125.

2. Голованов А.И. Мелиорация земель / Под ред. А.И. Голованова. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2015. 832 с.

3. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Разработка научно-методического обоснования и определение перспективы снижения дефицита водных ресурсов республики Крым для эффективного обеспечения водой орошаемых земель сельскохозяйственного назначения с учетом использования нормативно-очищенных сточных вод» Т. 1. М.: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2023.

## REFERENCES

1. Lyashevsky V.I., Tishchenko A. P., Volkova N.E., Ivanyutin N.M. Water supply in the agricultural sector of Crimea: current situation and prospects // Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2016. No. 4(64). Pp. 120–125.

2. Golovanov A.I. Land reclamation / Edited by A.I. Golovanov. 2nd ed., ispr. and add. St. Petersburg: Lan Publishing House, 2015. 832 p.

3. Report on research work on the topic: «Development of scientific and methodological justification and determination of prospects for reducing the shortage of water resources of the Republic of Crimea for effective provision of irrigated agricultural lands with water, taking into account the use of normatively treated wastewater» Volume 1. Federal State Budgetary Institution «FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov», 2023.

**Максимов Сергей Алексеевич**, доктор техн. наук, доцент, гл. науч. сотрудник, зав. отделом мелиорации земель (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Москва); **Масляник Владислав Иванович**, председатель Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым (г. Симферополь).

УДК 631.6

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-30-33

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РЕСПУБЛИКЕ ДАГЕСТАН

М.М. ЮСУПОВ, С.А. КУРБАНОВ

**Ключевые слова:** площади орошения, урожайность, основные отрасли, рисоводство, реконструкция ОС, проблемы развития, перспективы.

**Keywords:** irrigation areas, yields, main industries, rice growing, OS reconstruction, development problems, prospects.

**Аннотация.** В статье показана значимость мелиорации для Республики Дагестан, достижения в орошаемом земледелии за последние годы, обозначены проблемы мелиоративного комплекса, связанные со старением оросительных систем, обозначены проблемы перед мелиорацией, а также планы развития мелиоративного комплекса на ближайшую перспективу.

**Abstract.** The article shows the importance of land reclamation for the Republic of Dagestan, the achievements in irrigated agriculture in recent years, the problems of the reclamation complex associated with the aging of irrigation systems, the problems before land reclamation, as well as plans for the development of the reclamation complex in the near future.

**Введение.** Республика Дагестан является одним из крупных исторически сложившихся регионом

орошаемого земледелия. На его долю приходится около 9% всех орошаемых земель в Российской Федерации и более 40% на Северном Кавказе [4]. При этом 75% территории размещено в острозасушливых условиях, 16% — в условиях недостаточной обеспеченности осадками и лишь 9% в условиях более или менее достаточного увлажнения. Существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур оказывают климатические условия, сопровождаемые систематически повторяющимися засухами, 60% территории республики получает осадков менее 400 мм в год, а 25% — менее 300 мм [1].

В то же время Республика Дагестан обладает достаточными водными ресурсами и занимает первое место среди регионов СКФО по протяженности речной

сети и среднемноголетнему речному стоку. Основные источники орошения: реки Терек, Сулак, Самур.

Площадь орошаемых земель в республике составляет 395,6 тыс. га, в том числе пашня – 271 тыс. га, кормовые угодья – 60,4 тыс. га, многолетние насаждения – 43,6 тыс. га. Более 70 % растениеводческой продукции производимой в республике получают на орошаемых землях. Урожайность сельскохозяйственных культур при орошении, в среднем по республике, превышает урожайность на богаре в 2...3 раза [5]. В этой связи мелиоративный комплекс Республики Дагестан является определяющим фактором развития агропромышленного комплекса и оказывает существенное влияние на темпы роста продукции сельскохозяйственного производства.

Необходимо отметить, что большая часть оросительных каналов, выполненных в земляном русле и введенных в эксплуатацию в 50-е и 60-е годы прошлого века, приходят в упадок. Они заилены, местами разрушены, в результате чего их пропускная способность составляет 50...60 % от проектных параметров. Серьезной проблемой стало состояние коллекторно-дренажной системы, особенно остро это ощущается в северной зоне республики, где расположены рисовые системы [3].

С развалом крупных сельхозпредприятий, образования новых фермерских и личных подсобных хозяйств изменилась структура владельцев сельхозугодий и возделываемых культур и некогда стройная система внутрихозяйственных мелиоративных сетей стала видоизменяться, став межхозяйственной или бесхозной, не отвечающей современным требованиям. По разным причинам ежегодно не используются более 81 тыс. га орошаемых земель, не выдерживается технология и кратность поливов.

Учитывая, сложное положение мелиоративного комплекса республики Правительством Российской Федерации в 2020–2024 гг. выделено более 5,0 млрд руб. на реконструкцию оросительных систем. В частности, в 2024 г. общий объем водозабора составил 2098,27 млн м<sup>3</sup>, подано потребителям – 1435,35 млн м<sup>3</sup>, в том числе для нужд орошения 1201,7 млн м<sup>3</sup>, потери воды составляют 662,92 млн м<sup>3</sup>, отсюда КПД межхозяйственных оросительных систем – 0,68, при кратности полива – 2,84 (табл. 1).

В этом же году за счет субсидий на противопаводковые мероприятия при объеме финансирования 93,85 млн руб. выполнен комплекс мероприятий на 53 объектах, проведены земляные работы в объеме 893 тыс. м<sup>3</sup>, восстановлена пропускная способность межхозяйственных каналов протяженностью 338 км, что позволило обеспечить защиту земель от водной эрозии, затопления и подтопления на площади более 191 тыс. га. Также проведен капитальный ремонт на 8 объектах при объеме финансирования 121,8 млн рублей. Кроме этого в рамках выполнения государственного задания проведены земляные работы в объеме 569,1 тыс. м<sup>3</sup>, отремонтированы ГТС – 193 шт., трубопроводы 7,9 км.

В рамках Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса России в 2024 г. завершено проведение мероприятий по реконструкции 6 объектов. В частности, завершена

реконструкция ГТС Каргалинского гидроузла с устройством рыбоходного канала и сороудерживающего сооружения, реконструкция магистрального канала «Юзбаш», реконструкция магистрального канала «Сулу-Чубутла» и др. Ввод всех шести объектов в эксплуатацию планируется в 2025 г., что позволит достичь предотвращения выбытия из сельскохозяйственного оборота 131,4 тыс. га сельскохозяйственных угодий, обеспечить защиту от водной эрозии, затопления и подтопления 15 тыс. га, повысить водообеспеченность орошаемых земель на территории 7 районов Республики Дагестан и Шелковского района Чеченской Республики.

Стабилизация валовых сборов и дальнейшее повышение урожайности сельскохозяйственных культур в условиях меняющегося климата – сложная задача, решение которой недостижимо посредством реализации односторонних мер. Глобальное потепление, проявлением которого в том числе является аридизация климата, оказывает все более значительное влияние на земледелие в южных регионах страны. Последние 5 лет ежегодно температура воздуха стабильно превышает среднемноголетние значения на 1,6 °C [2].

Выполненные ВНИИГиМ исследования показали, что к 2035 г. проявления засушливых лет и засух будут встречаться чаще и потребность в орошении возрастет на 15 и более процентов. Основной проблемой уже сейчас становится дефицит водных ресурсов [6].

Расчеты, выполненные кафедрой земледелия, почвоведения и мелиорации Дагестанского государственного аграрного университета показали, что за последние 10 лет среднегодовая температура воздуха выросла на 0,9 °C и за вегетацию (апрель–октябрь) – на 1,8 °C, а количество осадков уменьшилось на 32 %.

Несмотря на все сложности и изменяющиеся климатические условия производство продукции растениеводства в республике за последние годы постоянно растет, а по рису и винограду собраны рекордные урожаи за всю историю Дагестана. Это показывает, что при проведении согласованной работы сельскохозяйственных товаропроизводителей и мелиораторов можно добиться реальных успехов (табл. 2).

Отдельно необходимо остановиться на развитии рисоводства, которое является одним из главных на-

Таблица 1

Показатели эксплуатации мелиоративных систем и ГТС

Показатели	2022	2023	2024
Общая площадь фактически политых земель, тыс. га	262,6	314,2	247,0
в т. ч. площадь орошаемых земель по договорам на безвозмездной основе, тыс. га	83,0	269,9	177,0
Общий объем водозабора, млн м <sup>3</sup>	2886,7	2525,8	2098,3
подано потребителям, млн м <sup>3</sup>	1956,6	1781,3	1435,4
для нужд орошения, млн м <sup>3</sup>	1665,8	1551,9	1201,7
на хозяйственные и хозяйственные нужды, млн м <sup>3</sup>	102,6	67,2	79,3
рыбохозяйственные нужды, млн м <sup>3</sup>	113,6	100,9	71,3
другим регионам, млн м <sup>3</sup>	53,7	40,4	21,1

Таблица 2

## Урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Республики Дагестан

Культуры	2013 г.			2018 г.			2024 г.		
	П	В	У	П	В	У	П	В	У
Рис	9,9	34,4	3,53	19,14	86,9	4,54	34,0	165	4,8
Виноград	16,3	125,7	78,0	19,25	171,1	8,9	23,9	301,5	12,6
Овощи	35,7	1081,5	30,3	42,0	1714,9	40,8	42,3	1470,0	34,7

Примечание. П – площадь, тыс. га; В – валовой сбор, тыс. т; У – урожайность, т/га.

правлений в отрасли растениеводства Республики Дагестан. Природно-климатические условия, географическое расположение, а также преобладающие наличие засоленных почв, требующих регулярной промывки привели к тому, что в 60–80-е годы прошлого столетия в республике построены рисовые системы на площади 46 тыс. га, которые расположены на северной части республики, в основном Кизлярском, Тарумовском и Бабаюртовском районах, где основными источниками поливной воды являются реки Терек и Сулак.

Лучший результат в рисоводстве достигнут в 1987 г., когда с площади 26,2 тыс. га было собрано 89,1 тыс. т риса при средней урожайности 3,4 т/га. Однако с распадом СССР и началом реформирования коллективных хозяйств, построенная мелиоративная система начала разрушаться, многие внутрихозяйственные каналы, коллекторы превратились в бесхозяйственные. В результате в начале 2000-х годов в республике ежегодно под рис отводилось не более 7 тыс. га, урожайность не доходила до 2,5 т/га, а валовой сбор – в пределах 16...18 тыс. т.

Производство риса можно увеличить двумя способами: путем расширения посевных площадей и повышением урожайности [7]. Реконструкция магистральных и межхозяйственных каналов в рамках Госпрограммы позволила в 2019–2022 гг. завершить работы по реконструкции и введению в эксплуатацию 7 магистральных и межхозяйственных каналов первого порядка, которые оказали существенное влияние на расширение площадей рисовых систем. К ним относятся:

- магистральный канал «Старый Терек»;
- канал «Бороздиновская Прорва»;
- магистральный канал «Таловка»;
- магистральный канал «Тальма» с сооружениями

Тальминской ОС;

- магистральный канал, коллектора канала им. Октябрьской революции;

- магистральный канал, головной водозабор и другие объекты, входящие в Держинскую оросительную систему;

- реконструкция Шамхал-Янгиюртовского канала.

На рост производства риса и повышения его урожайности положительное влияние оказал и тот факт, что параллельно с реконструкцией мелиоративных объектов федеральной собственности, в республике осуществлялись мероприятия по строительству, реконструкции и восстановлению внутрихозяйственных оросительных систем с субсидированием из федерального бюджета 50 % общего объема финансирования.

Проводимая работа по развитию рисоводства, позволила Республике Дагестан уверенно выйти на второе место по валовому сбору риса в стране. В то же время в республике имеется потенциальная возможность расширения площадей рисовых систем до 50 тыс. га, но существуют проблемы, которые оказывают негативное влияние на состояние мелиоративных систем и дальнейшее развитие рисоводства в республике.

**Проблема 1.** Более 80 % рисовых систем республики расположены в бассейне реки Терек. В период посева и затопления риса (май-июнь) в Кизлярском и Тарумовском районах наблюдается дефицит воды в р. Терек. Чрезмерная мутность р. Терек (более 4 кг/м<sup>3</sup> воды, а в период паводков – до 20 кг/м<sup>3</sup>), низкая скорость течения воды в каналах вызывает частое заиливание каналов рисовых систем и, как следствие, низкая урожайность, и даже гибель посевов риса. Это вынуждает к поддержанию высоких горизонтов воды в магистральных и межхозяйственных каналах, соответственно к перерасходу поливной воды.

Решение проблемы планировалось более 60 лет назад при строительстве Копайского гидроузла, где предусматривалось, кроме строительства вододелиителя между тремя системами, строительство водохранилищ емкостью около 120 млн м<sup>3</sup> для задержания наносов и создания регулирующих емкостей на период маловодья. Однако реализована только первая очередь строительства – введен в эксплуатацию Копайский гидроузел, а к строительству водохранилищ не приступили.

В последующем, из-за отсутствия земель для отвода под водохранилища и в целях гарантированной подачи оросительной воды, на межхозяйственных каналах и коллекторах в Кизлярском районе функционировали более 50 подкачивающих и перекачивающих насосных станций, в том числе 14 межхозяйственных. В настоящее время механическая подача оросительной воды в этой зоне практически отсутствует, что связано, в первую очередь, со значительными расходами на электроэнергию, потребляемую насосными станциями.

**Проблема 2.** Неудовлетворительное состояние коллекторно-дренажной сети. В целях решения вопроса необходимо увеличить долю расчистки коллекторов в общем объеме противопаводковых мероприятий и расчистке каналов. В целях решения названных проблем на оросительных системах, расположенных в бассейнах рек Терек, Сулак, должны быть продолжены мероприятия по приведению их в нормативное состояние и увеличению площадей, пригодных для выращивания риса, включая 2-й этап реконструкции каналов Таловской, Старо-Теречной, Коровской, Сулу-Чубутлинской, Держинской оросительных систем федеральной собственности на общую сумму 11,45 млрд руб. Частично эта проблема будет решена в ходе реконструкции объектов Таловской и Старо-Теречной оросительных систем до 2030 г., по которым проектно-изыскательские работы начаты в 2025 г.

**Проблема 3.** В рамках реконструкции и капитального ремонта для снижения объемов иловых отложений и мутности воды, подаваемой из р. Терек, считаем це-

лесообразным установку 4 земснарядов на Таловской и Дзержинской системах, применение 10 передвижных НС для перекачки воды из коллекторов в рисовые системы и подпитки межхозяйственных каналов, а также восстановление двух водохранилищ на Старо-Геречной системе со строительством 4 стационарных насосных станций для регулирования объемов воды и подпитки рисовых систем в период затопления и сезонного маловодья с ориентировочной стоимостью 1,54 млрд руб.

**Проблема 4.** Рациональное использование водных ресурсов, направленных на создание оптимального водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв на мелиорированных землях и налаживание правильного учета забора воды и распределение ее между системами, каналами и потребителями. Особенно это важно в бассейне реки Терек, в зоне действия Каргалинского гидроузла, где проектный дефицит воды в источнике в период посева и затопления риса (май-июнь) более 121 млн м<sup>3</sup>/с. Для решения этой проблемы надо ввести на системах водооборот, применить ресурсосберегающие способы орошения (периодическое, дождевание), использовать совершенные средства водоучета, содержать гидрометрические посты и водомерные устройства в нормальном рабочем состоянии и строго выполнять планы водопользования.

В целом, интенсивное сельскохозяйственное производство на базе орошаемого земледелия, создание прочной кормовой базы для животноводства, обеспечение высоких урожаев зерновых культур, защита и сохранение сельскохозяйственных угодий от ветровой эрозии и опустынивания за счет проведения мелиоративных мероприятий должно стать основными направлениями развития АПК в Республике Дагестан.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айдамиров Д.С. Совершенствование эксплуатации оросительных систем. Махачкала: Изд-во «Юпитер», 2007. 521 с.
2. Гаркуша С.В. Адаптивная стратегия рисоводства в условиях меняющегося климата // Современное состояние и инновационные пути

развития мелиорации и орошаемого земледелия: материалы Межд. науч.-практ. конф. 22–23 ноября 2024 г. Махачкала, 2024. С. 19–24.

3. Курбанов З.М. Мелиорация земель в Дагестане – основа развития сельского хозяйства // Мелиорация и водное хозяйство. 2016. № 3. С. 4–7.

4. Курбанов С.А. Проблемы орошаемого земледелия Республики Дагестан // Орошаемое земледелие. 2021. № 1. С. 29–32.

5. Шарипов Ш.И. Мелиорация земель и развитие земледелия в Республике Дагестан // Современное состояние и инновационные пути развития мелиорации и орошаемого земледелия: материалы Межд. науч.-практ. конф. 22–23 ноября 2024 г. Махачкала, 2024. С. 12–19.

6. Шевченко В.А. Мелиорация земель – стратегический фактор устойчивости развития сельского хозяйства в решении продовольственной безопасности России // Орошаемое земледелие. 2025. № 2. С. 5–6.

7. Custodio M.C., Demont M., Laborte A., Ynion J. Improving food security in Asia through consumer-focused rice breeding (Review) // Global Food Security. Vol. 9, 1 June 2016, P. 19–28. DOI: 10.1016/j.gfs.2016.05.005.

#### REFERENCES

1. Aydamirov D.S. Improvement of Irrigation Systems Operation. Makhachkala: Jupiter Publishing House, 2007. 521 p.

2. Garkusha S.V. Adaptive Rice Production Strategy in a Changing Climate // Current State and Innovative Ways of Land Reclamation and Irrigated Agriculture Development. Materials of the International Scientific and Practical Conference, November 22–23, 2024. Makhachkala, 2024. Pp. 19–24.

3. Kurbanov Z.M. Land Reclamation in Dagestan: The Basis for Agricultural Development // Land Reclamation and Water Management. 2016. No. 3. Pp. 4–7.

4. Kurbanov, S.A. Problems of Irrigated Agriculture in the Republic of Dagestan // Irrigated Agriculture. 2021. No. 1. Pp. 29–32.

5. Sharipov Sh.I. Land reclamation and development of agriculture in the Republic of Dagestan // Modern state and innovative ways of development of reclamation and irrigated agriculture. Materials of the international scientific and practical conference on November 22–23, 2024. Makhachkala, 2024. Pp. 12–19.

6. Shevchenko V.A. Land Reclamation as a Strategic Factor in Sustainable Agricultural Development and Russia's Food Security // Irrigated Agriculture. 2025. No. 2. Pp. 5–6.

7. Custodio M.C., Demont M., Laborte A., Ynion J. Improving food security in Asia through consumer-focused rice breeding (Review) // Global Food Security. Vol. 9, 1 June 2016, P. 19–28. DOI: 10.1016/j.gfs.2016.05.005.

**Юсупов Магомед Маирбекович**, директор, minmeleord@mail.ru (ФГБУ «Управление «Дагмелиоводхоз», Российская Федерация, г. Махачкала); **Курбанов Серажутдин Аминович**, доктор с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой земледелия, почвоведения и мелиорации, kurbanovsa@mail.ru (ФГБОУ ВО Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, Российская Федерация, г. Махачкала).

УДК 631.6:528/8

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-33-36

## АНАЛИЗ ИНДЕКСА NDMI ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

М.С. ЗВЕРЬКОВ, С.С. СМЕЛОВА, С.В. БРЫЛЬ, Т.Г. СТЕПАНОВА, Т.Г. БУЛГАКОВА

**Ключевые слова:** мелиорация, орошение, влажность почвы, дистанционное зондирование Земли, NDMI, эрозия почв.

**Keywords:** land reclamation, irrigation, soil moisture, remote sensing, NDMI, soil erosion.

**Аннотация.** В статье рассматривается опыт использования нормализованного разностного индекса влажности (NDMI) при дешифрировании спутниковых снимков орошаемых земель. Отмечается, что функция распределения NDMI имеет куполообразную форму графика, идентичную функции распределения вегетационного индекса NDVI. Показано, что на ранних стадиях развития культур, различия в значениях NDMI не имеют статистической значимости. Почва без растительности, в том числе орошаемая, имеет отрицательные значения NDMI ( $-0,05 \pm 0,01$ ), в то время как орошаемые культуры могут иметь NDMI около 0,4. Это позволяет сделать предположение, что NDMI предпочтительнее использовать для анализа не влажности почвы, а уровня водного стресса культуры с целью оценки потребности в орошении.

**Abstract.** The experience of using the normalized difference humidity index (NDMI) when deciphering satellite images of irrigated land is covered in this article. It is noted that the NDMI distribution function has a domed graph shape similar to the NDVI vegetation index distribution function. It has been shown that in the early stages of culture development, differences in NDMI values do not have statistical significance. Soil without vegetation, including irrigated, has negative NDMI values ( $-0.05 \pm 0.01$ ), while irrigated crops can have an NDMI of about 0.4. This makes it possible to make the assumption that NDVI is more preferable to use crops for the analysis of soil moisture, but the level of water stress in order to assess the need for irrigation.

**Введение.** Сельское хозяйство является самым крупным потребителем воды, на долю которого по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (FAO) приходится 70 % от всего мирового водозабора [1, 2]. Несмотря на то, что

орошаемые угодья составляют не более 24% от всех пахотных земель, на них выращивают около 40% продовольствия [3, 4]. Поэтому развитие технологий оперативной оценки качества орошения, уровня влажности почвы для повышения рационального расхода воды является приоритетной задачей мелиоративного земледелия. Все чаще исследователи в своей работе активно используют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе для оценки водного стресса растений, прогноза водопотребления сельскохозяйственных культур и др. [5–7]. Так, например, недавние исследования показывают возможность использования данных ДЗЗ для прогноза влажности почвы [8, 9]. Однако, несмотря на растущую доступность данных ДЗЗ с высоким разрешением, оценка влажности почвы с высокой точностью остается сложной задачей из-за пространственно-временной изменчивости и сложных взаимодействий между свойствами почвы, растительностью и климатическими факторами [10, 11].

Одним из способов оценки уровня влажности является расчет спектральных индексов. Нормализованный разностный индекс влажности (NDMI) – это спутниковый индекс, рассчитанный на основе микширования данных ближнего (NIR) и коротковолнового (SWIR) инфракрасных каналов. По данным Европейского космического агентства, отражательная способность канала SWIR характеризует изменения содержания воды в растительности, а канал NIR также характеризует состояние рас-

тительности, но в большей степени зависит от состояния листьев и содержания сухого вещества в них [15, 16]. Сочетание NIR и SWIR повышает точность измерения уровня водного стресса в растениях. Количество воды, содержащейся в зеленой массе листьев, в значительной степени регулирует спектральную отражательную способность в SWIR-интервале электромагнитного спектра. Поэтому отражательная способность SWIR отрицательно связана с содержанием воды в листьях. NDMI рассчитывается:

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR).$$

Как и другие индексы имеет диапазон [–1; +1]. Отрицательные и низкие значения NDMI указывают на недостаток влаги. Положительные и высокие значения NDMI указывают на значительное содержание влаги. Визуализация карты NDMI позволяет проанализировать пространственное распределение влаги в растительности и выявить участки водного стресса или избыточной влажности.

В то же время исследователи [11, 17] отмечают, что NDMI является одним из наименее изученных индексов для оценки влажности почвы. В [18, 19] отмечаются положительные результаты использования индекса для прогнозирования влажности почвы при орошении таких культур как пшеница, картофель и виноград.

**Цель** работы заключалась в использовании индекса NDMI для идентификации орошаемых участков.

**Материалы и методы исследования.** Опытные участки расположены на землях АО «Северка» в Коломенском городском округе Московской области в с. Шкинь. В соответствии со схемой севооборота, в 2024 г. на опытных участках 1 и 2 площадью 6,34 га и 18,15 га соответственно выращивали картофель (*Solanum tuberosum* L. сорта Прайм и Ньютон), на участке 3 – свеклу (*Beta vulgaris* L. сорт Кестрел F1) на площади 34,3 га. Полив осуществляли дождевальными машинами кругового действия Т-Л. Схема опытных участков приведена на рис. 1а.

Расчет NDMI выполнен по методу микширования исходных геопривязанных растровых изображений ближнего (NIR, B08) и коротковолнового (SWIR, B11) инфракрасных областей спектра снимков Sentinel-2 с использованием программы QGIS (ver. 3.36.3 «Münster»). Исходные растры имеют метаданные драйвера GDAL – GeoTIFF, тип данных – Byte (8-битное беззнаковое целое), система координат EPSG:4326 – WGS 84. Векторизация итогового растра NDVI выполнена в среде геоинформационной системы SAGA GIS 9.7.1. Оценка площадей выполнена с помощью функции геометрии полигонального объекта \$area.

Зональная статистика NDMI (медиана *median*, минимальные *min* и максимальные *max* значения) рассчитывалась в среде программы QGIS (ver. 3.36.3 «Münster»). Обработка данных по методу группировки интервалов, расчета частот (с графиком накопления частот – интегральным %), и графическое оформление результатов исследования выполнены в электронных таблицах Microsoft Office Excel (ver. 16.10 Build 180124 (2018)). Уровень статистической значимости принят 0,05, рассчитывалось стандартное отклонение *s*, доверительный интервал медианы и коэффициент вариации *C<sub>v</sub>*.

Посев свеклы произведен в период с 20.05.2024 по 27.05.2024. Первые всходы появились 01.06.2024,

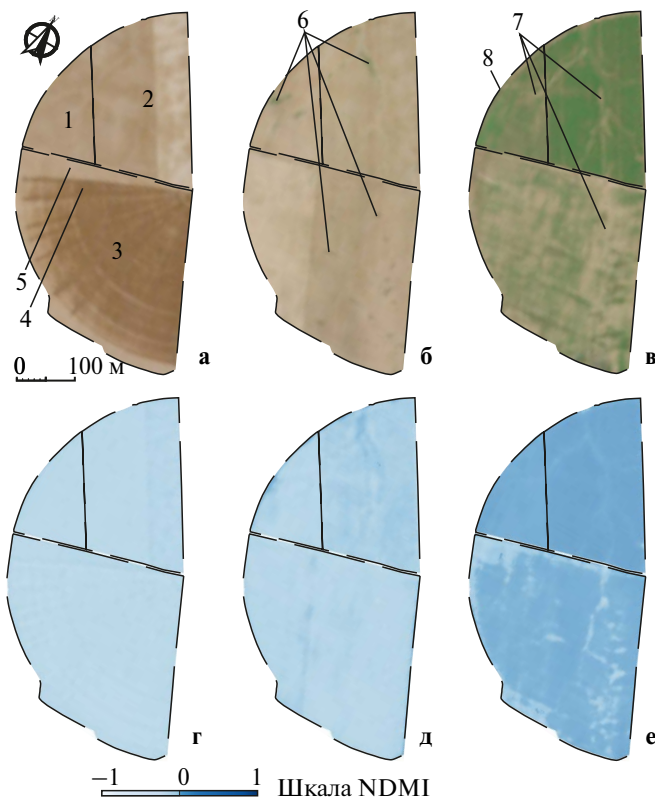


Рис. 1. Схема опытных участков 1–3:

а–в – снимки Sentinel-2 в естественных цветах); г–е – соответствующие им спектральные индексы NDMI за 30.05.2024 (б), 12.06.2024 (в), 19.06.2024 (г); 4 и 5 – политые и неполитые зоны; 6 – сорная растительность; 7 – эрозия; 8 – границы участков

массовые – 05.06.2024. Посадка картофеля на 1-м участке произведена 18.05.2024 и 19.05.2024, массовые всходы появились 08.06.2024. Посадка картофеля на 2-м участке произведена 06.05.2024 и 16.05.2024, массовые всходы наблюдались 02.06.2024.

Для анализа выбраны наборы спектральных данных в даты, когда проводили поливы (30.05.2024 и 19.06.2024) и в промежуточную дату (12.06.2024). Условие выбора – безоблачные снимки. Также выбирались снимки в естественных цветах «true color», на которых текстура соотносится с поливом (матовая (одно-рядная) или волокнистая (радиальные или лучистые полосы)). Дополнительно для участков 1 и 2 анализировались даты в период от начала вегетации до уборки (соответственно до 01.10.2024 и 18.08.2024).

**Результаты исследования и их обсуждение.** На рис. 2 приведены графики изменения значений спектрального индекса NDMI на рассматриваемых участках. В связи с тем, что до середины второй декады мая среднесуточная температура была в среднем +6 °С при нижней границе амплитуды колебаний в сторону отрицательных значений в ночные часы, этот период характеризовался как экстремальный для посевов. Такие метеорологические условия вызвали задержку всходов картофеля на участке 2, в связи с чем всходы на участках 1 и 2 появились практически одновременно. Поэтому расчет индекса NDMI для участков 1 и 2 в данном исследовании выполнен совместно.

При анализе графиков на рис. 2 выявлены следующие закономерности. В первую дату наблюдений (30.05.2024) для пашни без растительного покрова статистические различия отсутствовали, медианные значения median для свеклы составили  $-0,05 \pm 0,01$  (min =  $-0,24$ ; max =  $0$ ;  $s = 0,04$ ; распределение NDMI неравномерное –  $C_v = -0,59$ ) и для картофеля  $-0,05 \pm 0,01$  (min =  $-0,17$ ; max =  $0$ ;  $s = 0,03$ ; распределение неравномерное –  $C_v = -0,59$ ). В этот день проводили полив посевов свеклы, что видно на спутниковом снимке true color по более темному тону почвы. В целом такие значения индекса NDMI характерны для оголенной почвы.

На 12.06.2024 растения свеклы и картофеля еще не были достаточно развитыми. Для посевов *Beta vulgaris* L. индекс влажности составил median =  $-0,04 \pm 0,01$  (min =  $-0,18$ ; max =  $0,12$ ;  $s = 0,03$ ; распределение неравномерное –  $C_v = -0,63$ ) и для *Solanum tuberosum* L. значения median =  $-0,02 \pm 0,01$  (min =  $-0,15$ ; max =  $0,13$ ;  $s = 0,02$ ; распределение неравномерное –  $C_v = -0,85$ ). Отметим, что на ранних стадиях развития культур практически отсутствуют различия. Изменения на снимке true color также не существенные, однако сорная растительность (см. рис. 1б, поз. б) в виде зеленых пятен в зонах появления эрозионных процессов визуализируются достаточно отчетливо.

19.06.2024 полив проводили на поле картофеля, NDMI которого составил median =  $0,08 \pm 0,02$  (min =  $-0,04$ ; max =  $0,35$ ;  $s = 0,06$ , распределение неравномерное –  $C_v = 0,66$ ). На посевах свеклы полив не проводился, индекс влажности составил median =  $0,02 \pm 0,02$  (min =  $-0,04$ ; max =  $0,35$ ;  $s = 0,06$ ; распределение крайне неравномерное –  $C_v = 1,14$ , вероятно связано с пятнистой текстурой спутникового снимка (см. рис. 1в). На полнотой культуре индекс влажности больше на  $0,06$ ,

что, в типичных условиях указывает на водный стресс или ранние фенологические фазы. На снимке true color визуализируется характерный для эродированной почвы дендритный рисунок. Эта особенность начала проявляется уже в соседнюю дату (12.06.2024): на рис. 1д более влажные эродированные участки имеют наиболее выраженный цвет индекса. На рис. 1е эродированные участки имеют более бледную окраску, что связано с отсутствием на них растительности, что свойственно для значений NDMI оголенной почвы.

На рис. 3 приведены графики хронологических изменений NDMI для *Solanum tuberosum* L. Обращает на себя внимание форма функции распределения NDMI, совпадающая по характеру с функцией распре-

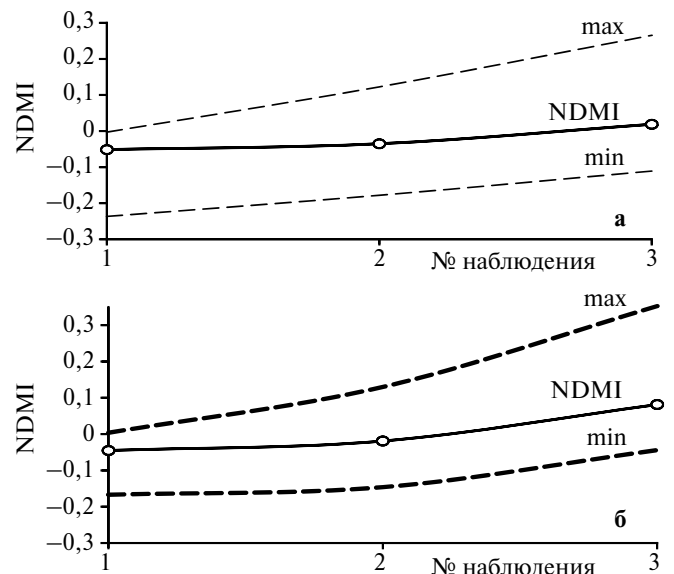


Рис. 2. Изменения индекса NDMI для участков картофеля (а) и свеклы (б): 1 – 30.05.2024; 2 – 12.06.2024; 3 – 19.06.2024

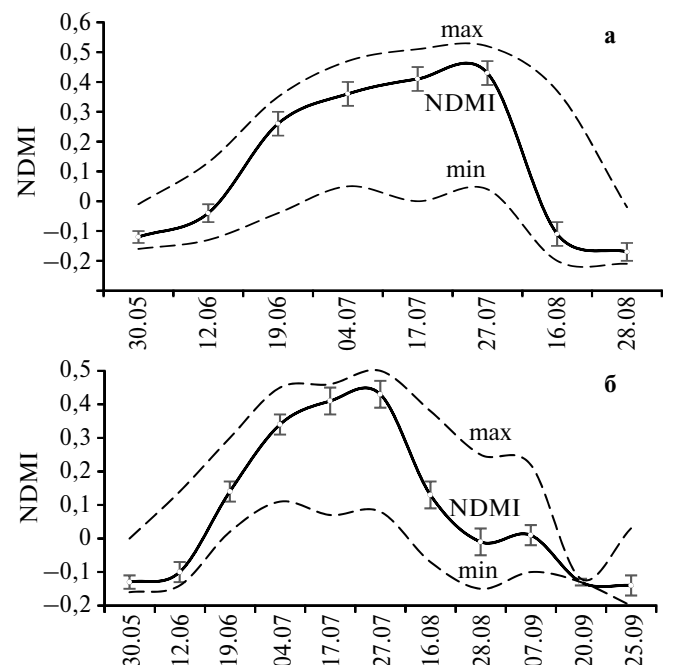


Рис. 3. Хронологические изменения NDMI для *Solanum tuberosum* L. на участках 1 (а) и 2 (б)

деления вегетационного индекса NDVI (куполообразная форма графика). В то же время отрицательные и низкие положительные значения NDMI фиксируются не только в начале вегетационного периода, как это характерно для NDVI, но и в период активной вегетации культуры. В ходе исследования обнаружена следующая закономерность в визуализации NDMI. Голая почва имеет низкие значения индекса (-0,08), а необработанная культура 16.08.2024 имеет характерный плотный цвет и более высокие значения индекса влажности (0,2...0,22).

**Заключение.** В рассмотренном примере видно, что на ранних стадиях развития культур различия в значениях NDMI не имеют статистической значимости. Орошаемая почва без растительности, имеет отрицательные значения NDMI (-0,05 ± 0,01), в то время как орошаемые культуры могут иметь NDMI около 0,4. Это позволяет сделать предположение о том, что NDMI более предпочтительнее использовать для анализа не влажности почвы, а уровня водного стресса культуры с целью оценки потребности в орошении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решение проблем с водой с сельском хозяйстве // Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). URL: <http://www.fao.org/3/cb1447ru/online/cb1447ru.html#> (Дата обращения: 11.07.2023).
2. Аналитический обзор проблемы взимания платы за воду в орошаемом земледелии / С.В. Брыль // Экология и строительство. 2023. № 4. С. 16–21. DOI: 10.35688/2413-8452-2023-04-003.
3. Portmann F.T., Siebert S., Döll P. MIRCA2000 – global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: a new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling // Global Biogeochem. Cycles. 2010. Vol. 24, GB1011. DOI: 10.1029/2008GB003435.
4. Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water-stressed regions // Mehta P., Siebert S., Kumm M. [et al.] // Nat Water. 2024. Vol. 2. P. 254–261. DOI: 10.1038/s44221-024-00206-9.
5. UAV-based remote sensing in plant stress imagine using high-resolution thermal sensor for digital agriculture practices: A meta-review / Awais M. [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2022. DOI: 10.1007/s13762-021-03801-5.
6. Remote sensing for agriculture and resource management / Kumar S. [et al.] // In Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability. 2022. P. 91–135. DOI: 10.1016/B978-0-12-822976-7.00012-0.
7. Бубер А.А., Брыль С.В. Анализ методических подходов к обоснованию режимов орошения сельскохозяйственных культур // Экология и строительство. 2024. № 4. С. 52–58. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-007.
8. Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review / Rasheed M.W., Tang J., Sarwar A. [et al.] // Sustainability. 2022. Vol. 14. 11538. DOI: 10.3390/su141811538.
9. Celik M.F., Isik M.S., Yuzugullu O., Fajraoui N., Erten E. Soil moisture prediction from remote sensing images coupled with climate, soil texture and topography via deep learning // Remote Sens. 2022. Vol. 14. 5584. DOI: 10.3390/rs14215584.
10. Bwambale E., Abagale F.K., Anornu G.K. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review // Agric. Water Manag. 2022. Vol. 260, 107324. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107324.
11. Koohikeradeh E., Jose Gumiere S., Bonakdari H. NDMI-Derived Field-Scale Soil Moisture Prediction Using ERA5 and LSTM for Precision Agriculture // Sustainability. 2025. Vol. 17. 2399. DOI: 10.3390/su17062399.
15. Wang L., Qu J.J., Hao X., Hunt J.E.R. Estimating dry matter content from spectral reflectance for green leaves of different species // Int. J. Remote Sen. 2011. Vol. 32. P. 7097–7109. DOI: 10.1080/01431161.2010.494641.
16. Strashok O., Ziemiańska M., Strashok V. Evaluation and Correlation of Normalized Vegetation Index and Moisture Index in Kyiv (2017–2021) // Journal of Ecological Engineering. 2022. Vol. 23(9). P. 212–218. DOI: 10.12911/22998993/151884.
17. Lykhovyd P.V., Sharii V.O. Normalised difference moisture index in water stress assessment of maize crops // Agrology. 2024. Vol. 7. P. 21–26. DOI: 10.32819/202403.

18. Hosseini Chamani F., AFirouzi F., Amerykhan H. Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil moisture using NDVI, land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices // J. Water Soil Conserv. 2019. Vol. 26. P. 239–254. DOI: 10.22069/jwsc.2019.15306.3053.
19. Safi A.R., Karimi P., Mul M., Chukalla A., de Fraiture C. Translating open-source remote sensing data to crop water productivity improvement actions // Agric. Water Manag. 2022. Vol. 261. 107373. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107373.

REFERENCES

1. Reshenie problem s vodoi s sel'skom khozyaistve // Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). URL: <http://www.fao.org/3/cb1447ru/online/cb1447ru.html#> (Data obrashcheniya: 11.07.2023).
2. Analiticheskii obzor problemy vzimaniya platy za vodu v oroshaemom zemledelii / S.V. Bryl' // Ekologiya i stroitel'stvo. 2023. № 4. S. 16–21. DOI: 10.35688/2413-8452-2023-04-003.
3. Portmann F.T., Siebert S., Döll P. MIRCA2000 – global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: a new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling // Global Biogeochem. Cycles. 2010. Vol. 24, GB1011. DOI: 10.1029/2008GB003435.
4. Half of twenty-first century global irrigation expansion has been in water-stressed regions // Mehta P., Siebert S., Kumm M. [et al.] // Nat Water. 2024. Vol. 2. P. 254–261. DOI: 10.1038/s44221-024-00206-9.
5. UAV-based remote sensing in plant stress imagine using high-resolution thermal sensor for digital agriculture practices: A meta-review / Awais M. [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2022. DOI: 10.1007/s13762-021-03801-5.
6. Remote sensing for agriculture and resource management / Kumar S. [et al.] // In Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability. 2022. P. 91–135. DOI: 10.1016/B978-0-12-822976-7.00012-0.
7. Buber A.A., Bryl' S.V. Analiz metodicheskikh podkhodov k obosnovaniyu rezhimov orosheniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur // Ekologiya i stroitel'stvo. 2024. № 4. S. 52–58. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-04-007.
8. Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review / Rasheed M.W., Tang J., Sarwar A. [et al.] // Sustainability. 2022. Vol. 14. 11538. DOI: 10.3390/su141811538.
9. Celik M.F., Isik M.S., Yuzugullu O., Fajraoui N., Erten E. Soil moisture prediction from remote sensing images coupled with climate, soil texture and topography via deep learning // Remote Sens. 2022. Vol. 14. 5584. DOI: 10.3390/rs14215584.
10. Bwambale E., Abagale F.K., Anornu G.K. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review // Agric. Water Manag. 2022. Vol. 260, 107324. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107324.
11. Koohikeradeh E., Jose Gumiere S., Bonakdari H. NDMI-Derived Field-Scale Soil Moisture Prediction Using ERA5 and LSTM for Precision Agriculture // Sustainability. 2025. Vol. 17. 2399. DOI: 10.3390/su17062399.
15. Wang L., Qu J.J., Hao X., Hunt J.E.R. Estimating dry matter content from spectral reflectance for green leaves of different species // Int. J. Remote Sen. 2011. Vol. 32. P. 7097–7109. DOI: 10.1080/01431161.2010.494641.
16. Strashok O., Ziemiańska M., Strashok V. Evaluation and Correlation of Normalized Vegetation Index and Moisture Index in Kyiv (2017–2021) // Journal of Ecological Engineering. 2022. Vol. 23(9). P. 212–218. DOI: 10.12911/22998993/151884.
17. Lykhovyd P.V., Sharii V.O. Normalised difference moisture index in water stress assessment of maize crops // Agrology. 2024. Vol. 7. P. 21–26. DOI: 10.32819/202403.
18. Hosseini Chamani F., AFirouzi F., Amerykhan H. Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil moisture using NDVI, land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices // J. Water Soil Conserv. 2019. Vol. 26. P. 239–254. DOI: 10.22069/jwsc.2019.15306.3053.
19. Safi A.R., Karimi P., Mul M., Chukalla A., de Fraiture C. Translating open-source remote sensing data to crop water productivity improvement actions // Agric. Water Manag. 2022. Vol. 261. 107373. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107373.

**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; **Брыль Сергей Валерьевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, РИНЦ AuthorID: 649079; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник; **Булгакова Татьяна Геннадьевна**, мл. науч. сотрудник, РИНЦ AuthorID: 1254680 (Всероссийский НИИ систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», Московская обл., г. Коломна).

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИВНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

А.В. ГРУШИН, А.В. КОЛОМЕЕЦ

**Ключевые слова:** капельное орошение, поливной трубопровод, капельница, оросительная вода, водоисточник.

**Keywords:** drip irrigation, irrigation pipeline, dropper, irrigation water, water source.

**Аннотация.** В исследовании отражены основные вопросы, которые решаются при рассмотрении качества и подготовки поливной воды. В результате научно-аналитических исследований установлены основные показатели влияния оросительной воды на поливные трубопроводы. Предложены к обязательному использованию различные конструкции фильтров в зависимости от химических свойств поливной воды и способов ее подготовки. Рекомендованы к обязательному использованию гидроциклонные аппараты для очистки оросительной воды от крупных песчаных и илистых твердых частиц. Определена необходимость проведения купоросования воды на водоемах комплексного назначения в регулирующих или водопропускных сооружениях. Рекомендовано применять от биозагрязнений промывку сети поливных трубопроводов сернокислой медью 5 г/м<sup>3</sup> (по чистой меди) в течение 30 мин с последующей промывкой чистой водой. Рекомендованы способы и режимы хлорирования оросительной воды, которые должны быть увязаны с показателями анализа воды и устранением именно той проблемы, которую выявляет анализ. Рекомендовано к использованию механизированная раскладка и уборка трубопроводов наземного исполнения.

**Abstract.** This study reflects the main issues that are addressed when considering the quality and preparation of irrigation water. As a result, scientific and analytical studies have been conducted and the main indicators of the effect of irrigation water on irrigation pipelines have been established. Various filter designs are proposed for mandatory use, depending on the chemical properties of irrigation water and methods of its preparation. Hydrocyclone devices for cleaning irrigation water from large sandy and silty solid particles are recommended for mandatory use. The necessity of carrying out vitriolization of water in reservoirs of complex purpose in regulating or culverts has been determined. It is recommended to use flushing of the irrigation pipeline network with copper sulfate 5 g/m<sup>3</sup> (pure copper) for 30 minutes, followed by flushing with clean water. The methods and modes of chlorination of irrigation water are recommended, which should be linked to the indicators of water analysis and eliminate exactly the problem that the analysis reveals. It is recommended to use a mechanized layout and cleaning of pipelines of ground-based design.

**Введение.** Широкое использование капельного орошения позволяет повышать продуктивность сельскохозяйственных культур и улучшить качество получаемой продукции. В системах капельного орошения доминирующую роль играют поливные трубопроводы одноразового применения с толщиной стенки от 0,15 до 0,2 мм. В последнее время возрастает тенденция применения поливных трубопроводов капельного орошения многолетнего использования на многолетних насаждениях, особенно шпалерного типа, широко внедряемых в южных регионах страны. Поддержание работоспособности и продление срока службы поливных трубопроводов капельного орошения диктует важность правильного обслуживания каплевых систем. Существует множество методов подготовки оросительной воды

и рекомендаций борьбы с загрязнением внутренних полостей системы.

Рядом отечественных и зарубежных ученых, таких как Ю.А. Юнчик, В.В. Носников, В.П. Максименко, С.А. Зайцев и др. [1–3], проведены комплексные научные исследования, затрагивающие качество поливной воды в системах трубопроводов капельного орошения. Однако отсутствуют исследования о влиянии качества воды на срок эксплуатации поливных трубопроводов.

**Целью исследования** является проведение научно-аналитического обзора для обоснования необходимости подготовки оросительной воды, в том числе в водоисточнике, и профилактики от засорения капельниц во время эксплуатации, которые оказывают влияние на качество водораспределения и срок эксплуатации поливных трубопроводов капельного орошения [4, 5].

**Методы и объект исследования.** При проведении исследований используются аналитические методы оценки качества воды и ее влияния на эксплуатационные характеристики трубопроводов для капельного орошения. Имеющаяся информация в доступных научных источниках о качестве поливной воды и ее физико-механических характеристиках позволяет оценить возможные сроки эксплуатации поливных трубопроводов для капельного орошения.

Объектом аналитического исследования является оросительная вода. В настоящем исследовании выполнено обобщение требований к оросительной воде для капельного орошения позволяет понять причины и методы борьбы с проблемами, вызывающими засорение капельниц.

**Основная часть.** Вода – это жидкая среда, которая, в зависимости от водоисточника, содержит определенное количество механических, химических и биологических примесей. Пригодность воды по степени ее воздействия на элементы системы капельного орошения

Таблица 1

Пригодность воды по степени воздействия на элементы системы капельного орошения

Показатель	Уровень опасности		
	Низкий	Умеренный	Высокий
Общая минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	<500	500...2000	>2000
Взвешенные твердые примеси, мг/л	<50	50...100	>100
НСО <sub>3</sub> , мг-экв/л	<2,0	>2,0	>2,5
pH	6...7	7...8	>8
Содержание марганца, мг/л	<0,1	0,1...1,5	>1,5
Содержание железа, мг/л	<0,2	0,2...1,5	>1,5
Содержание сероводорода, мг/л	0,2	0,2...2,0	>2,0
Количество популяций бактерий	<10·10 <sup>6</sup>	10·10 <sup>6</sup> ...50·10 <sup>6</sup>	>50·10 <sup>6</sup>
Границы индекса стабильности воды I <sub>c</sub>	-0,5 < I <sub>c</sub> < +0,5	-0,5 < I <sub>c</sub> > +0,5	-0,5 < I <sub>c</sub> > +0,5

Таблица 2

## Допустимое содержание взвешенных частиц минерального и органического происхождения в оросительной воде

Размеры проходных отверстий, мм	Взвешенные частицы		Гидробионты	
	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Размер частиц, мкм	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Размер частиц, мкм
<1	30...50	<50	5	<50
1...2	50...100	<70	10	<100
>2	100...300	<100	15	<150

Примечание. Для каждой модели капельницы сведения требуют уточнения.

и допустимое содержание взвешенных частиц минерального и органического происхождения в оросительной воде приведены в табл. 1 [6] и табл. 2 [7].

Качество оросительной воды по индексу стабильности  $I_c$  характеризует коррозионные свойства воды и возможность выпадения в осадок труднорастворимых карбонатов кальция. При показателе  $I_c < -0,5$  возможна коррозия металлических частей оросительной системы, при  $I_c > +0,5$  возможно выпадение в осадок карбоната кальция и соответственно засорение трубопроводов и капельниц.

Оптимальная температура оросительной воды для сельскохозяйственных культур 10...25 °С (допустимая 10...35 °С). рН оросительной воды после фильтрации не должен быть менее 6 и более 7, кроме случаев внесения удобрений или химикатов. Исполнительным элементом водораспределения в капельных системах является эмиттер, который интегрирован с внутренней стенкой трубопровода и образует с ней единую конструкцию капельницы. Эмиттер имеет отверстия входного фильтра, канал лабиринта для компенсации давления, полость бассейна с водовыпускным отверстием над ним в стенке трубопровода. Отверстия входного фильтра имеют проходные сечения от 0,25 мм, а канал лабиринта ширину и высоту от 0,5 до 1,2 мм, поэтому подготовка воды для полива и последующая профилактика засоров капельниц должна быть очень тщательной, особенно на системах многолетнего использования.

**Результаты и обсуждение.** Для обеспечения работоспособности системы капельного орошения, прежде всего, необходимо провести анализ воды в водосточнике с целью определения правильного подбора фильтрационного оборудования (табл. 3) и планирования мероприятий по ее улучшению и профилактическим промывкам системы от загрязнения.

Фильтростанция является ключевым элементом системы, от которого зависит ее эффективность и долговечность. Часто фермеры пренебрегают принципами подбора фильтрационного оборудования с целью экономии. Для очистки воды применяют фильтры различных конструкций, которые разделяют на засыпные песчано-гравийные, дисковые, сетчатые и вихревые. Выбор фильтра зависит от качества воды, степени его загрязнения и пропускаемого расхода. При наличии большого количества песка в воде первой ступенью очистки

воды должен быть гидроциклон в качестве предварительной фильтрации. В целях надлежащего его функционирования необходимо, чтобы перепад давления между входным и выходным, составлял более 6...7 м. При применении гидроциклона по мере накопления песка необходимо очищать нижний бак (но не менее 2 раз в сутки), открывая дренажный кран. Во время работы гидроциклона для промывания необходимо давление воды 2...3 атм.

При использовании воды из открытого водоема необходимо использовать песчано-гравийные фильтры. Эти фильтры предназначены для удаления органических и неорганических частиц и представляют собой закрытые емкости, в которых в качестве фильтрующего элемента используется колотый гранитный песок фракции 1,2...2,4 мм. Фильтры с кварцевым песком, используют частицы с размерами от 0,3 до 1,2 мм и гарантируют, фильтрацию всех частиц с размером, выше 80 мкм. Давление воды, рекомендуемое на входе в фильтростанцию, составляет не менее 3 атм. (при более низком давлении снижается эффективность промывания гравийного наполнителя обратным потоком воды). Периодичность промывания фильтров зависит от степени загрязнения воды и интенсивности водопотока. При «грязной» воде необходимо промывать фильтры не реже 1 раза в час. Минимальное количество промываний (при «чистой» воде) — не менее 2 раз в сутки. Средний срок службы гравия составляет 3...5 лет и зависит от интенсивности работы фильтра, после чего подлежит полной замене.

В качестве контрольных после песчано-гравийного фильтра, при заборе воды из открытых водосточников обязательно устанавливаются сетчатые или дисковые фильтры тонкой очистки. Дисковые фильтры по сравнению с сетчатыми более надежные и имеют более продолжительный срок эксплуатации фильтрующего элемента (картриджа). Картриджи (сетчатые, дисковые) подвержены износу и сохраняют свои свойства 2...3 года, после чего необходима их замена.

Фильтрация воды защитит систему от мелких частиц песка, органики, не растворившихся компонентов удобрений, крупного ила, части водорослей, но всегда надо помнить, что полного очищения путем фильтрации добиться нельзя. Качество очистки воды зависит от параметров фильтрующего элемента, выраженное в количестве отверстий на один дюйм и обозначает-

Таблица 3

## Зависимость типа фильтров от источника воды

Тип водосточника	Источник воды	Загрязняющие элементы	Тип фильтрации
Подземные воды	Скважина	Песок, карбонаты кальция	Сетчатый или дисковый фильтры
	Глубинная скважина	Песок, карбонаты кальция, железо	Сетчатый фильтр и сепаратор песка (по необходимости)
Поверхностные воды	Река	Органическое вещество, водоросли	Песчано-гравийный и контрольные фильтры
	Канал		
	Водоохранилище		

ся в mesh (меш). Для большинства капельных трубопроводов этот параметр не должен быть ниже, чем 120 mesh или 0,125 мм.

Конструктивное исполнение фильтров зависит от расхода системы капельного орошения, орошаемой площади и степени очистки. В зависимости от величины расхода системы капельного орошения из отдельных фильтров собирается необходимое количество блоков, модулей, объединяемых в фильтрационные станции. В зависимости от количества комплектов модулей, обеспечивают соответствующий пропуск воды.

Но через фильтры все равно проходят частицы мельчайшего ила, растворенные в воде соли, микроорганизмы, осаждающиеся во внутренних полостях трубопроводов. Осаждение взвешенных частиц связано со скоростью воды в трубопроводе: чем она ниже, тем осаждение происходит эффективнее и способствует накоплению отложений и закупорки капельниц. Поэтому оросительная сеть нуждается в периодическом уходе. Система капельного орошения нуждается в периодических промывках чистой водой со скоростями течения воды не менее 0,5 м/с и давлением с коэффициентом 1,3...1,5 от рабочего, открывая поочередно концевые заглушки на 5...8 капельных линиях. Время промывки не должно быть менее 5 мин или до чистой воды.

При использовании воды из открытых водоисточников, возникает угроза засорения системы гидробионтами в виде сине-зеленых водорослей, железистых и сернокислых бактерий и других микроорганизмов. Гидробионты, попадая в поливную сеть, на фоне теплой воды и достаточного количества питательных веществ, начинают бурно развиваться, образуя конгломераты, забивающие капельницы. Для предотвращения попадания гидробионтов в систему с оросительной водой применяют прием купоросования воды на водоемах комплексного назначения в регулирующих или водопропускных сооружениях (бассейнах, аквакамерах, трубопроводах) при менее 25...30 млн кл/л сине-зеленых водорослей путем равномерного распределения медного купороса на поверхности воды с концентрацией не более 0,1 г/м<sup>3</sup> (по чистой меди 1 мг/л), при температуре воды не ниже +17 °С и штилевом состоянии водоема до 12 ч дня, когда основная масса водорослей находится на поверхности. Такая процедура безвредна для скота, рыбы и орошаемых культур. На водоисточниках технического назначения при содержании в воде более 10 млн кл/л медный купорос вносится по поверхности из расчета 0,3...0,7 г/м<sup>3</sup> по чистой меди. Необходимое время контакта не менее 5 ч.

Уменьшению попадания гидробионтов в систему капельного орошения способствуют:

- ночные и ранние утренние поливы (с 18 до 24 ч и с 0 до 8 ч), когда концентрация гидробионтов на уровне водозаборного устройства наименьшая;
- забор оросительной воды с глубины более 2,5 м;
- сооружение легких навесов для защиты регулирующих бассейнов и аванкамер от проникновения солнечной радиации;

- периодическая обработка воды в регулирующих бассейнах повышенными дозами медного купороса (1...5 г/м<sup>3</sup>) с последующей обязательной их очисткой;
- регулярная очистка ила при слое в 2 см, но не менее 3 раз за ротационный период в промежуточных регулирующих бассейнах.

Биозагрязнение системы предотвращают промывкой сети сернокислой медью 5 г/м<sup>3</sup> (по чистой меди) в течение 30 мин с последующей промывкой чистой водой.

От биозагрязнения системы проводятся промывки сети хлорной известью 20 г/м<sup>3</sup> или 20 мг/л. Частота — 1 раз в месяц и в конце сезона. Время промывки 10...60 мин. С последующей промывкой чистой водой. Рекомендуемые способы и режимы хлорирования оросительной воды должны быть увязаны с показателями анализа воды и устранением именно той проблемы, которую выявляет анализ. При хлорировании надо помнить, что применение высоких концентраций хлора недопустимо из-за высокой разъедающей способности хлора к молекулам полиэтилена, особенно при высоком давлении и высоких температурах (происходит химическая деградация с образованием трещин в стенках труб), а также надо следовать требованиям п. 17 ГОСТ 17.1.3.13—86 [8], чтобы не допускать загрязнения поверхностных вод при сельскохозяйственном орошении. Безопасная для растений и полиэтилена доза хлора до 10 мг/л при постоянном применении или 50 мг/л при периодическом применении.

Другой проблемой оросительной воды является ее минерализация, то есть количественное содержание растворенных в ней солей. Жесткая вода с высоким содержанием солей кальция, магния, железа и т. п. способствует засорению капельниц в поливных трубопроводах. Считается, что содержание растворимых солей в воде в пределах до 3 г/л пригодно для капельного орошения. Особенно важно определение минерализации воды для регионов с повышенным содержанием минералов в воде. Допустимые уровни минерализации воды приведены в табл. 4 [9].

По мнению Л.А. Воеводиной, степень пригодности воды для капельного орошения с различным содержанием физических, биологических, химических загрязнителей и токсичных ионов можно разделить на три категории: вызывающие проблемы незначительной, средней или высокой сложности (табл. 5) [10, 11].

Определить степень пригодности оросительной воды в водоисточнике можно методом расчета коэф-

Таблица 4

## Допустимые уровни минерализации поливной воды

Класс качества оросительной воды	Допустимые уровни минерализации оросительной воды с гранулометрическим составом		
	Тяжелый и(или) ППК >30	Средний и(или) ППК = 30...15	Легкий и(или) с ППК <15
I неопасный	0,2...0,5	0,2...0,6	0,2...0,7
II малоопасный	0,5...0,8	0,6...1,0	0,7...1,2
III умеренно опасный	0,8...1,2	1,0...1,5	1,2...2,0
IV опасный	Более 1,2	Более 1,5	Более 2

фициента Стеблера или ирригационному коэффициенту. Для расчета коэффициента Стеблера  $K_a$  применяют формулы [12]:

$$K_a = \frac{288}{5rCl^-}$$

Соотношение концентрации содержания иона  $Na^+$  меньше, чем содержание иона  $Cl^-$ , т. е.  $rNa^+ < rCl^-$ . Присутствует хлорид натрия.

$$K_a = \frac{288}{rNa^+ + 4rCl^-}$$

Соотношение концентрации мг-экв/л содержания иона  $Na^+$  больше содержание иона  $Cl^-$ , но меньше суммарного содержания ионов сильных кислот, т. е.  $rCl^- + rSO_4^{2-} > rNa^+ < rCl^-$ . Присутствует хлорид натрия и карбонат натрия.

$$K_a = \frac{288}{10rNa^+ - 5rCl^- - 9rSO_4^{2-}}$$

Соотношение концентрации мг-экв/л содержания иона  $Na^+$  больше суммарного содержания ионов сильных кислот  $rNa^+ > rCl^- + rSO_4^{2-}$ . Присутствует хлорид, сульфат и карбонат натрия. Содержание данного иона в мг-экв/л обозначают  $r$ .

Степень пригодности воды в водоисточнике по оценке значений коэффициента Стеблера  $K_a$  приведена в табл. 6. Минеральные соли, при определенных условиях выпадают в осадок, накапливающийся в полостях трубопроводов и капельниц, что приводит к их закупорке. Полив водой с показателем рН выше 5,8 способствует образованию минеральных отложений.

При высоком содержании в водоисточнике солей железа (10 мг/л и более) эффективным методом считается барботаж, которая способствует окислению железа и выпадению его в осадок. Аэрацию воды в водоеме лучше проводить до полива. Для аэрации пригодны водоемы без течения, аванкамеры и подобные водоприемники.

Для предотвращения закупорки капельниц поливные трубопроводы необходимо промывать слабыми растворами (0,6 %) ортофосфорной (85 %  $H_3PO_4$ ), сернистой ( $H_2SO_4$ ), азотной (60 %  $HNO_3$ ) или соляной кислоты (33 %  $HCl$ ). Заглушки при этом должны быть закрыты. Прием применяется в основном на лентах и трубках многолетнего использования. После кислотной обработки систему промывают чистой водой в течение не менее 10 мин, открывая концевые заглуш-

Таблица 6

Качество оросительной воды по  $K_a$ 

$K_a$	Пригодность воды для орошения
Более 18	Хорошая, успешно применяется для орошения
6...18	Удовлетворительная, в почве могут накапливаться щелочи
1,2...5,9	Неудовлетворительная, при поливе необходим искусственный дренаж
Менее 1,2	Плохая, непригодная для орошения

## Показатели оценки пригодности воды для систем капельного орошения

Компонент, содержащийся в воде	Степень сложности проблемы		
	Незначительная	Средняя	Высокая
<b>Физическое засорение капельниц</b>			
Взвешенные вещества, мг/л	<50	50...100	>100
<b>Химическое засорение капельниц</b>			
рН	<7	7...8	>8
Железо Fe, мг/л	<0,1	0,1...1,5	>1,5
Марганец Mn, мг/л	<0,1	0,1...1,5	>1,5
Сероводород $H_2S$ , мг/л	<0,2	0,2...2,0	>2,0
Минерализация, мг/л	<500	500...2000	>2000
<b>Биологическое засорение капельниц</b>			
Количество бактерий, шт./л	<10000	10000...50000	>50000
<b>Влияние на урожайность культуры</b>			
Электропроводность EC, мСм/см	<0,75	0,75...3,0	>3,0
Нитраты, мг/л	<5	5...30	>30
<b>Токсичность отдельных ионов</b>			
Бор, мг/л	<0,7	0,7...3,0	>3,0
Хлорид, мг/л	<4	4...10	>10,0
Хлорид, мг-экв/л	<142	142...355	>355
Натрий (SAR)*	<3,0	3...9	>9

\* – оценка воды по опасности осолонцевания (SAR).

ки поливных трубопроводов. Затем закрыв заглушки – промывают до 30 мин через капельницы. При необходимости промывают повторно. Надо помнить, что кислота всегда добавляется в воду, а не наоборот! Частота таких промывок – один раз в месяц и обязательная в конце сезона перед уборкой на хранение.

Работоспособность капельниц возрастает при частых поливах малыми поливными нормами, что предотвращает отложение солей на стенках лабиринта при высыхании.

На срок службы многолетних поливных трубопроводов большое влияние оказывают методы их раскладки, уборки после эксплуатации и хранения. Раскладывая и убирая трубопроводы наземного применения лучше всего специальными механизированными средствами. При их ручном волочении происходит трение о грунт, которое приводит к образованию на трубках царапин и потертостей, понижающих прочность трубок, особенно тонкостенных. Перед уборкой трубопроводы должны быть подготовлены. Обязательно должна быть проведена промывка системы слабым раствором кислоты. После чего, необходимо удалить воду из внутренних полостей с помощью воздушного компрессора путем подачи достаточного количества воздуха в трубки с открытыми заглушками. Давление продувки не должно превышать максимально допустимое. Качество продувки зависит не от давления, а от объема воздуха, подаваемого в систему. Затем трубопроводы надлежит сматывать в бухты, используя специальные средства механизации. При этом внутренний диаметр бухт должен соответствовать

оптимальному, чтобы трубопроводы не деформировались, это около 500 мм для всех диаметров капельных трубок. Хранить бухты поливных трубопроводов капельного орошения надо в сухих складских помещениях с ровным чистым полом, лучше на картоне, при положительных температурах в горизонтальном положении и штабелем, не превышающим 2 м. Места хранения должны быть защищены от проникновения грызунов. Соблюдение регламента обслуживания и хранения поливных трубопроводов капельного орошения увеличивает эффективность их применения и продляет срок службы.

**Выводы и рекомендации.** Установлены основные показатели влияния оросительной воды на поливные трубопроводы (на основании показателей табл. 1). Предложены к обязательному использованию различные конструкции фильтров в зависимости от химических свойств поливной воды и способов ее подготовки. Рекомендованы к обязательному использованию гидроциклонные аппараты для очистки оросительной воды от крупных песчаных и илистых твердых частиц. Определена необходимость проведения купоросования воды на водоемах комплексного назначения в регулирующих или водопропускных сооружениях. Рекомендовано применять от биозагрязнений промывку сети поливных трубопроводов сернокислой медью  $5 \text{ г/м}^3$  (по чистой меди) в течение 30 мин с последующей промывкой чистой водой. Рекомендованы способы и режимы хлорирования оросительной воды, которые должны быть увязаны с показателями анализа воды и устранением именно той проблемы, которую выявляет анализ. Рекомендовано к использованию механизированная раскладка и уборка трубопроводов наземного исполнения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юнчик Ю.А., Умерова Л.Р., Терлеев В.В. О качестве воды для целей полива на территории Республики Крым // Неделя науки ИСИ: материалы Всероссийской конференции (Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 г.) Ч. 1. СПб.: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2021. С. 259–262.
2. Носников В.В., Селищева О.А. Качественные характеристики поливной воды и их влияние на технологические аспекты выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2021. № 2(246). С. 81–87. DOI 10.52065/2519-402X-2021-246-10-81-87.
3. Максименко В.П., Зайцев С. . Регулирование качества поливной воды на оросительных системах // Природообустройство. 2011. № 5. С. 15–20.
4. ГОСТ 17.1.2.03–90 (СТ СЭВ 6457–88). Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения. М.: Изд-во стандартов, 1991. 10 с.
5. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: [https://55.rospotrebнадзор.ru/Files/СанПиН\\_1.2.3685.pdf](https://55.rospotrebнадзор.ru/Files/СанПиН_1.2.3685.pdf)
6. Рубинштейн Ф. Обслуживание системы капельного орошения. AgroSheriff.Ltd URL: <https://kuban.farmgarden.ru/obsluživanie-sistemy-kapel'nogo-oroshenija.html>.
7. Требования к качеству оросительной воды. Технологии капельного орошения. URL: [http://vsego-nechego.ucoz.ru/publ/trebovanija\\_k\\_kachestvu\\_orositelnoj\\_vody/1-1-0-3](http://vsego-nechego.ucoz.ru/publ/trebovanija_k_kachestvu_orositelnoj_vody/1-1-0-3).
8. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения. М.: Изд-во стандартов, 1986. 2 с.
9. Бабаева К.С. Оценка качества оросительной воды. Агроконсультант. ООО «Агроплем», 2024. С. 4. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1743409075&tld=ru&lang=ru&name=2575d1f6d94d4a2cbce53b774b1c75531041898.pdf>.
10. Воеводина Л.А. Оценка качества воды для систем капельного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2009. Вып. 42. С. 174–179.
11. Мелиоративное земледелие: метод. указания к лабораторным и практическим занятиям для бакалавров по направлениям «Агрономия» и «Садоводство» / В.П. Василько [и др.]. Краснодар: КубГАУ, 2014. 95 с.
12. Ковшов Ю.А., Комиссаров А.В. Классификация оросительных вод Республики Башкортостан // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013 Т. 15, № 3(4). С. 1311–1314.

#### REFERENCES

1. Yunchik Yu.A., Umerova L.R., Terleev V.V. On the quality of water for irrigation purposes in the territory of the Republic of Crimea // ISI Science Week : Proceedings of the All-Russian Conference in 3 parts, St. Petersburg, April 26–30, 2021. Part 1. St. Petersburg: FSAEI of Higher Education «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University», 2021. Pp. 259–262.
2. Nosnikov V.V., Selishcheva O.A. Qualitative characteristics of irrigation water and their influence on the technological aspects of growing coniferous planting material with a closed root system // Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, environmental management and processing of renewable resources. 2021. № 2(246). Pp. 81–87. DOI 10.52065/2519-402X-2021-246-10-81-87.
3. Maksimenko V.P., Zaitsev S.A. Regulation of irrigation water quality in irrigation systems // Environmental management. 2011. No. 5. Pp. 15–20.
4. GOST 17.1.2.03–90. Nature protection. Hydrosphere. Criteria and indicators of water quality for irrigation. Introduced 1991–07-01. Moscow: Publ. of standards, 2001. 8 p.
5. Resolution of January 28, 2021 № 2 «On approval of sanitary rules and numbers SanPiN 1.2.3685–21 «Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans.»
6. <https://kuban.farmgarden.ru/obsluživanie-sistemy-kapel'nogo-oroshenija.html>
7. [http://vsego-nechego.ucoz.ru/publ/trebovanija\\_k\\_kachestvu\\_orositelnoj\\_vody/1-1-0-3](http://vsego-nechego.ucoz.ru/publ/trebovanija_k_kachestvu_orositelnoj_vody/1-1-0-3)
8. 3. GOST 17.1.3.13–86. Nature protection. Hydrosphere. General requirements for the protection of surface waters from pollution.
9. Babaeva K.S. Assessment of the quality of irrigation water. Agroconsultant. ООО «Агроплем», 2024. P. 4. <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1743409075&tld=ru&lang=ru&name=2575d1f6d94d4a2cbce53b774b1c75531041898.pdf>.
10. Voevodina L.A. Water quality assessment for drip irrigation systems // Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture: collection of scientific papers FGBNU «RosNIIPM». Novocherkassk, 2009. Issue. 42. Pp. 174–179.
11. Melioration agriculture: method. Guidelines for laboratory and practical classes for bachelors in the areas of «Agronomy» and «Gardening» / V.P. Vasilko [et al.] Krasnodar: KubSAU, 2014. 95 p.
12. Kovshov Yu.A., Komissarov A.V. Classification of irrigation waters of the Republic of Bashkortostan, 2013.

**Грушин Алексей Владимирович**, науч. сотрудник отдела техники и технологии микроорошения, [gav.vniiraduga@yandex.ru](mailto:gav.vniiraduga@yandex.ru);  
**Коломеец Анастасия Валерьевна**, мл. науч. сотрудник отдела техники и технологии микроорошения, [kolomeec.n@bk.ru](mailto:kolomeec.n@bk.ru)  
 (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация).

## ПРОЦЕССЫ ЭНЗИМОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АЗОТА В МЕЛИОРИРУЕМЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Л.И. ИНИШЕВА, Е.В. ПОРОХИНА

**Ключевые слова:** энзимы, активность, Томская область, торфяной профиль, валовой азот, подвижный азот, денитрификация.

**Keywords:** enzymes, activity, Tomsk region, peat profile, gross nitrogen, mobile nitrogen, denitrification.

**Аннотация.** В торфяных мелиорируемых почвах определены экстремальные значения активности энзимов: уреазы — от 0,03 до 0,64 мг  $\text{NH}_3^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$ , нитрат- и нитритредуктазы, соответственно от 0,18 до 1,95 мг восстановленного  $\text{NO}_3^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$ , от 0,61 до 1,03 мг восстановленного  $\text{NO}_2^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$ . Установлено, что образование нитратов в торфяных почвах происходит на границе раздела двух фаз: почва — поровый раствор. При осушении в почвах активизируются процессы энзимологической трансформации азота, и происходит вынос их подвижных соединений с дренажным стоком.

**Abstract.** In reclaimed peat soils, extreme values of the activity of enzymes were determined: urease — from 0,03 to 0,64 mg  $\text{NH}_3^-/(\text{g}\cdot 24 \text{ h})$ , nitrate- and nitrite reductase, respectively, from 0,18 to 1,95 mg of reduced  $\text{NO}_3^-/(\text{g}\cdot 24 \text{ h})$  and from 0,61 to 1,03 mg of reduced  $\text{NO}_2^-/(\text{g}\cdot 24 \text{ h})$ . It has been established that the formation of nitrates in peat soils occurs at the interface between two phases: soil — pore solution. During drainage, the processes of enzymological transformation of nitrogen are activated in soils, and their mobile compounds are removed with drainage runoff.

Почвенный покров является биоэнергетической и биогеохимической системой, обладающей способностью саморазвития, самоуправления и создания режима, обеспечивающего существование в нем биоты, что должно учитываться при проведении мелиорации. Установлено, что при осуществлении эффективных приемов химизации и мелиорации, обеспечивающих получение наиболее высоких урожаев сельскохозяйственных растений, в почве происходит активизация биологических процессов, выражающаяся в нарастании численности микроорганизмов, усилении активности почвенных ферментов, интенсивности дыхания и других показателей. Известно, что активность ферментов является устойчивым и чувствительным показателем биологической активности почв [1–3]. Исследования энзимологической активности более широко представлены по минеральным почвам [4]. Публикации по энзимологической активности торфяных почв практически единичны [5–7].

Цель работы: исследование биохимического состояния мелиорируемых торфяных почв и выявление изменений, происходящих в них под влиянием осушения на примере процесса трансформации азотсодержащих веществ.

Важность содержания подвижных соединений азота в почвах для урожая сельскохозяйственных культур — часто обсуждаемая тема [8–11]. Вопрос о превращении азотных соединений в почве до сих пор остается до конца не выясненным. В большей степени изучена микробиологическая сторона превращений азота. Известно, что почвенные денитрификаторы восстанавливают нитраты до газообразных форм азота и до аммиака. Одновременно азотсодержащие соединения почвы, прежде чем перейти в доступные растениям вещества, претерпевают и сложные биохимические превращения. Зная условия их протекания, можно

контролировать активность биологических и энзимологической процессов трансформации азота в почвах. Особенно это важно в условиях активного антропогенного воздействия, к которому относится мелиорация. В Западной Сибири для сельскохозяйственного освоения перспективна зона эвтрофных и мезотрофных болот, среди которых наиболее ценными в сельскохозяйственном отношении являются пойменные болота, площадь которых в основной сельскохозяйственной зоне Томской области составляет 740 тыс. га.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводили на объекте «Верхний луг» Зырянского района Томской области, площадью 472 га, расположенном на торфяных почвах низкой поймы р. Кии, осушаемых закрытым дренажем с вариантами 0,8×25 м и 1,3×25 м. Мощность торфяной залежи 0,8...3 м. Современные аллювиальные отложения представлены суглинками и глинами. Торфяные почвы сложены торфом осоковым и древесно-осоковым торфом. Исследованиями охвачены влажный и засушливый годы (ГТК по Селянину соответственно 1,4 и 0,96).

На протяжении вегетационных периодов велись наблюдения за дренажным стоком на оборудованных гидрометрических пунктах [12]. Фракционный состав азота в торфяных почвах исследовали по Э.И. Шконде и И.Е. Королевой [13]. Уреазу определяли методом А.Ш. Галстяна в модификации А.И. Чундеровой, нитрат- и нитритредуктазную активность — по методу А.Ш. Галстяна и Л.В. Маркосяна, модифицированному Л.А. Мурдам. Все методики изложены в монографии Ф.Х. Хазиева [14]. Болотную воду на анализ отбирали в колодцах на болоте. Макрокомпоненты в дренажных водах анализировались по общепринятым методикам [15].

**Обсуждение.** В торфяных почвах УГВ весной поднимается близко к поверхности и в течение вегетационного периода постепенно снижается до 1...1,5 м. Порозность аэрации за вегетационный период в среднем изменяется на варианте дренажа 0,8×25 м от 11,1 % в мае и до 24 % в сентябре, на варианте 1,3×25 м — от 24 % до 41 %. Важно отметить, что в торфяных почвах даже при полном затоплении одновременно поддерживаются анаэробные и аэробные условия и связано это с агрегатным строением торфяного профиля. Так, согласно И.И. Лиштвану и Н.Т. Королю [16], основу торфа составляют высокомолекулярные продукты разложения и растительные остатки высокополимеров целлюлозной природы. Остатки растений-торфообразователей формируют структуры переплетения, а продукты разложения создают надмолекулярные комплексы, заполняющие ячейки структур переплетения. Эти соединения объединены в агрегаты, при этом выделяются внутриагрегатные и межагрегатные структуры

Таблица 1

## Фракционный состав азота торфяных почв

Глубина, см	Валовой	Легкодоступный	Подвижный	Легкодоступный	Подвижный
	мг/100 г почвы			% от валового	
<b>Дренаж 1,25×25 м</b>					
0...20	1970	394,8	62,2	20,0	3,1
20...40	1900	464,8	58,9	24,4	3,1
40...60	1780	156,8	48,0	18,8	2,6
60...80	1770	201,6	29,9	11,3	1,3
80...100	1840	207,2	37,2	11,2	2,0
<b>Целинный участок</b>					
0...20	1100	126,0	23,9	11,4	2,1
20...40	1650	238,0	18,3	14,4	1,1
40...60	1340	172,8	12,3	12,8	0,9
60...80	1300	145,6	21,7	11,2	1,6
80...100	1220	296,8	22,3	16,1	1,8

разной компактности. Основные закономерности формирования таких структур зависят от ботанического состава торфа, степени разложения и химического состава среды. Таким образом, структура торфа в торфяном профиле определяется соотношением продуктов распада и неразложившейся части, а также характером внутриагрегатных и межагрегатных взаимодействий. Эти свойства способствуют формированию порозности аэрации и контрастных анаэробно-аэробных условий в торфяном профиле.

Осушение торфяных почв изменяет окислительно-восстановительные условия почв в сторону увеличения их аэробности. Но и зону окисления в осушаемых торфяных почвах следует рассматривать как область сочетания анаэробно-аэробных условий. В торфяных почвах в процессе осушения резко окислительные условия (400...600 мВ) создаются в верхнем 0...40 см (вариант дренажа 0,8×25 м) и 0...60 см (вариант дренажа 1,3×25 м), глубже в зоне непосредственного контакта с грунтовыми водами ОВП принимает отрицательные значения. В результате в профиле торфяных почв в слое с аэробными условиями могут формироваться микрзоны с анаэробными зонами и наоборот. Это определяет динамику подвижных соединений азота на протяжении вегетационного периода. В целом, торфяные почвы характеризуются высоким содержанием валового азота (табл. 1).

В торфяных почвах основная часть азота (98%) сосредоточена в недоступных для растений соединениях. Подвижный азот составляет от 0,9 до 3,1% от валового азота и гидролизуемый азот от 11,2 до 24,4%. Доступные для растений соединения азота преобладают в слое 0...60 см.

Начальный процесс мобилизации органического азота начинается с действия гидролитических ферментов типа протеаз и нуклеаз. В исследуемых почвах содержание протеаз в торфяном профиле изменяется в пределах 0,04...22 мг тирозина/(г·18 ч). В результате происходит образование более простых азотсодержащих органических соединений, которые с помощью дезамирирующих гидролитических ферментов преобразуются до аммиака (стадия аммонификации). Из гидролитических дезаминаз наиболее изучена уреазы. Рассмотрим динамику активности уреазы в мелиорируемых торфяных почвах во влажный (ГТК 1,4) и сухой (ГТК 0,96) годы на примере варианта дренажа 0,8×25 м (табл. 2). Во влажный год активность уреазы

выше по сравнению с сухим годом. В июле как наиболее теплом месяце высокие значения активности уреазы отмечены в слое 0...40 см, а во влажный год ее активность достигает глубины 60 см. В августе и сентябре такая же закономерность активности уреазы сохраняется в сухой год, но во влажный год активность наоборот увеличивается вниз по торфяному профилю.

Сезонная динамика уреазы в торфяных почвах, как и других гидролитических ферментов, отличается от выделенных по климатическим условиям типов энзимологической активности в минеральных почвах [17]. Согласно данному делению, в зоне континентального климата в сезонной динамике уреазной активности почв выделяется летний максимум при пониженной активности весной и осенью. В исследуемых торфяных почвах отмечается иная закономерность, что, по всей вероятности, прежде всего, объясняется высоким содержанием в данных почвах органических веществ, и их гидрологических условий. Весной в торфяных почвах в результате подъема УГВ и выхода полых вод на пойму отмечается переувлажнение. Но ограничивающим фактором избыточная влага в данный период не является.

В сухие и близкие к сухим периодам вегетационные периоды градиент температуры корнеобитаемого слоя очень высок. Интенсивность испарения в отдельные месяцы также вызывает подсушивание поверхностного слоя. Все это определяет проявление активности гидролитических ферментов в нижних горизонтах. И только осенью, при благоприятном сочетании тепла и влаги (невысокие значения температурного градиента и увеличение влажности почв за счет осенних атмосферных осадков) уреазная активность в торфяном профиле вновь возрастает.

Далее в процессе мобилизации органического азота, аммонийный азот окисляется до нитратов. Процесс восстановления нитратов составляет только часть общего цикла метаболизма азота в почве. В услови-

Таблица 2

Динамика уреазной активности в торфяной почве, мг NH<sub>3</sub><sup>-</sup>/(г·24 ч)

Глубина, см	ГТК 1,4			ГТК 0,96				
	Июль	Август	Сентябрь	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
0...20	0,53	Нет	Нет	0,26	0,33	0,26	0,35	0,30
20...40	0,61	0,22	0,52	0,18	0,24	0,18	0,28	0,18
40...60	0,40	0,43	0,22	0,10	0,22	0,08	0,18	0,12
60...80	0,11	0,64	0,41	0,05	0,22	—	0,05	0,03
80...100	0,21	0,60	0,33	Мерзлота	0,10	—	0,03	Нет

Примечание. ГТК — гидротермический коэффициент.

Таблица 3

Активность нитрат- и нитритредуктаз в торфяных почвах

Глубина, см	ГТК	Нитратредуктаза			Нитритредуктаза		
		мг восстановленного NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(г·24 ч)			мг восстановленного NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /(г·24 ч)		
		Пределы изменения	Среднее за май–сентябрь	V, %	Пределы изменения	Среднее за май–сентябрь	V, %
0...20	1,40	1,25...3,19	1,95 ± 0,37	34,0	0,78...1,36	1,03 ± 0,05	19,6
	0,96	0,10...1,75	0,57 ± 0,12	120,0	0,05...2,08	0,92 ± 0,11	79,8
20...40	1,40	0,93...1,50	1,11 ± 0,11	16,9	0,68...1,02	0,82 ± 0,12	15,5
	0,96	0,05...0,40	0,25 ± 0,09	48,0	0,05...1,75	0,77 ± 0,10	87,5
40...60	1,40	1,88...1,63	1,46 ± 0,12	8,1	0,45...1,29	0,84 ± 0,21	36,6
	0,96	0,00...3,13	0,69 ± 0,12	177,0	0,05...2,03	0,68 ± 0,16	119,5
60...80	1,40	1,03...2,47	1,56 ± 0,24	2,3	0,89...1,15	1,04 ± 0,02	8,6
	0,96	0,00...0,63	0,18 ± 0,06	145,0	0,05...2,28	0,95 ± 0,11	88,8
80...100	1,40	0,73...1,38	0,94 ± 0,09	22,3	0,38...0,75	0,61 ± 0,02	19,9
	0,96	0,30...1,40	0,68 ± 0,08	74,0	0,00...1,83	1,10 ± 0,08	66,9

Примечание. V – коэффициент вариации; «±» – доверительный интервал.

ях анаэробнозиса в дальнейшем происходит его восстановление до аммиака (ассимиляторная денитрификация) или газообразных окислов и молекулярного азота (диссимиляторная денитрификация). Процессы восстановления нитратного азота в почве до аммонийного катализируют ферменты нитрат- и нитритредуктазы. Нитратредуктаза, представляющая собой металлоэнзим, содержит Мо в качестве активатора, переносит атом водорода к кислороду нитратов. В результате нитраты восстанавливаются до нитритов. Нитритредуктазы, активность которых стимулируется ионами Fe<sup>3+</sup> и Cu<sup>2+</sup> [18] осуществляют восстановление нитратов через гидроксилламин в гидрат окиси аммония и до газообразных окислов азота.

Рассмотрим динамику нитрат- и нитритредуктаз в торфяных почвах по варианту дренажа 0,8×25 м, с помощью которых в анаэробных условиях денитрифицирующие микроорганизмы используют кислород нитратов в качестве акцептора водорода в процессе дыхания (табл. 3). Активность нитратредуктазы изменяется в широких пределах от нуля до 3,19 мг восстановленного NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/(г·24 ч), нитритредуктазы – от нуля до 2,28 мг восстановленного NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/(г·24 ч). Согласно средним значениям за вегетационный период нитратредуктаза во влажный год колеблется в пределах 1,11...1,95 мг восстановленного NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/(г·24 ч), в сухой год в пределах 0,18...0,69 мг восстановленного NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/(г·24 ч).

Во влажный год средние значения нитритредуктазы за вегетационный период по торфяному профилю изменяются в пределах 0,61...1,04 мг восстановленного NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/(г·24 ч), в сухой – в пределах 0,68...0,5 мг восстановленного NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/(г·24 ч). Таким образом, активность нитритредуктазы практически одинакова и во влажный и в сухой год с равномерным распределением по профилю торфяной почвы. Следовательно, степень увлажнения и температурные условия вегетацион-

ного периода не являются признаком развития диссимиляционной нитратредукции в торфяных почвах, характеризующихся высокой воздухоносной порозностью. Однако, высокое содержание аммонийного азота в исследуемых почвах и равномерное распределение активности нитрат- и нитритредуктазы по торфяному профилю предполагает активное протекание ассимиляционной нитратредукции, о чем свидетельствуют значения этих энзимов.

Вместе с тем, проведенные нами исследования показывают, что в торфяных почвах минеральный азот представлен, в основном, аммонийными соединениями азота, нитратный азот практически отсутствует по всему торфяному профилю на вариантах дренажа 0,8×25 м и 1,3×25 м. Нитраты в небольших количествах (1...4 мг/100 г) обнаруживаются только в сентябре на варианте дренажа 0,8×25 м по всему торфяному профилю и на целинном участке в слое 0...40 см (3...8 мг/100 г). В то же время в дренажных водах из торфяных почв отмечается значительно присутствие нитратного азота на протяжении всего вегетационного периода (3,4...16 мг/л) (табл. 4).

Надо полагать, что величина выноса отдельных химических элементов с дренажным стоком зависит от объема стока и вариантов дренажа. Следует заметить, что максимальный из замеренных на участке осушения модуль дренажного стока составляет 0,12 л/(с·га). Летом при выпадении дождей модули дренажного стока достигают значений 0,12...0,19 л/(с·га). При отсутствии дождей модуль стока уменьшается до 0,000026 л/(с·га). В третьей декаде октября дренажный сток заканчивается. Общий слой стока за годы наблюдений составил 24...29 мм, а с учетом стока весеннего снеготаяния – приблизительно 54...94 мм. В результате вынос нитратов с дренажными водами с мелиорируемых торфяных почв в разные годы колеблется от 2,1 до 18 кг/га за вегетационный период, аммонийных соединений – от нуля до 3 кг/га.

Характеристика химического состава дренажных вод торфяных почв (среднее за 2-летний период), мг/л

Таблица 4

Период	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe <sub>общ</sub>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH
I	0,2 0,6	90 150	14,5 30,4	4,3 12,7	21,2 40,4	Нет	41,7 201,0	108,0 182,0	1,8 9,3	7,0
II	0,1 0,4	90 153	18,1 30,4	4,1 27,0	20,9 75,6	0,4 3,6	32,1 126	162,4 270,0	1,0 3,4	7,1
III	0,5 0,7	91 180	14,7 29,2	5,2 30,0	43,5 115,4	0,3 2,5	32,3 159,3	186,9 266,0	4,9 6,0	7,3

Примечание. I – весеннее половодье, II – летняя межень, III – осенние дожди; в числителе – средние значения по периоду, в знаменателе – максимальные.

Следовательно, нитраты образуются в почвах в процессе нитрификации, но быстро подвергаются восстановлению (ассимиляционная и диссимиляционная денитрификация), а также вымываются мигрирующим потоком дренажных вод, так как нитраты практически не адсорбируются торфяной почвой, что определяет отсутствие нитратного азота в торфяных почвах. Концентрация аммонийного азота в дренажных водах почти в 10 раз меньше концентрации нитрат-иона, что также подтверждает тот факт, что в торфяных почвах процесс аммонификации преобладает над процессом нитрификации, а образующийся аммонийный азот закрепляется торфяной почвой. Одновременно выносятся и другие компоненты. Отсюда следует, что зона влияния биологической активности распространяется за пределы торфяного профиля, а система взаимодействия усложняется.

В этом случае представляет интерес рассмотреть: в какой системе (естественный торф – поровый раствор – дренажные воды – отжатый торф) происходит процесс энзимологической трансформации азота. Для этого проведен опыт: свежие образцы торфа отбирались со стенок вскрываемых шурфов. Поровые растворы выделяли на центрифуге в течение 5 мин с ускорением 3000g. В свежем образце, поровом растворе и отжатом торфе определяли ряд элементов, в том числе нитратный и аммонийный азот. Одновременно проводили анализ дренажных вод. Подробно опыт описан в [19]. В этой статье мы обсуждаем только полученные результаты. Выявлено, что процесс образования нитратов происходит на границе раздела двух фаз: почва – поровый раствор и нитраты определены в поровом растворе. В этой фазе протекают энзимологические процессы трансформации азота.

Проведенные исследования показывают, что осушение торфяных почв приводит к увеличению биологической активности, что с свою очередь способствует выносу химических элементов дренажными водами в условиях промывного водного режима. В свою очередь, особенность протекания микробиологических и биохимических процессов трансформации азота в мелиорируемых торфяных почвах не позволяет фиксировать в них содержание подвижных форм нитратного азота. Эти же процессы определяют увеличение содержания в поверхностных и подземных водах элементов питания на объектах мелиорации, что предполагает на объектах мелиорации повторное использование дренажного стока в оборотных системах с целью возвращения элементов питания на мелиорируемые почвы.

### Заключение

1. Регулирование биологической системы в мелиорируемых торфяных почвах в условиях контрастного окислительно-восстановительного режима имеет большое значение для сезонной перестройки процессов высвобождения питательных элементов и для поддержания гомеостаза этой биосистемы при резком изменении экологических условий, к которым относится мелиоративное воздействие. Причем в условиях мелиоративного воздействия необходимо не только под-

держивать почвенные факторы, в том числе энзимологические процессы трансформации азота, на уровне, благоприятном для сельскохозяйственных культур, но и обеспечить их изменение по оптимальной траектории. Контролирующими же параметрами состояния торфяной почвы могут быть диагностические показатели, реализованные в виде оценочной шкалы. Результаты исследований энзимологической активности имеют большое значение для сельскохозяйственной энзимологии.

2. В торфяных мелиорируемых почвах получены следующие экстремальные значения активности энзимов: уреазы – от 0,03 до 0,64 мг  $\text{NH}_3^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$ , нитратредуктазы – от 0,18 до 1,95 мг восстановленного  $\text{NO}_3^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$ , нитритредуктазы от 0,61 до 1,03 мг восстановленного  $\text{NO}_2^-/(\text{г}\cdot 24 \text{ ч})$ .

3. В условиях мелиоративного воздействия активизируется энзимологическая активность, происходит изменение солевого баланса торфяных почв, и вынос подвижных химических соединений за пределы почвенного профиля в поверхностные и грунтовые воды, что предполагают создание оборотных систем водоснабжения, о чем впервые упомянуто в [20].

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 24-26-00161, <https://rscf.ru/project/24-26-00161/>.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Купревич В.Ф. Научные труды: в 4 т. Минск: Наука и техника, 1974. Т. 4: Почвенная энзимология. 402 с.
2. Makoi J.H., Ndakidemi P.A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem // *African Journal of Biotechnology*. 2008. Vol. 7, № 3. P. 181–193.
3. Burns R.G., De Forest J.L., Marken J. Soil enzymes in changing environment: current knowledge and future directions // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. Vol. 58, № 2. P. 216–247.
4. Матюгин В.А., Безуглова О.С. Влияние гуминовых препаратов на азотное питание озимой пшеницы и уреазную активность чернозема обыкновенного карбонатного // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2023. № 3. С. 106–116. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-3-106-116.
5. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. Минск, 1983. 222 с.
6. Энзиматическая активность торфа естественной и разрабатываемой торфяной залежи / Г.В. Наумова, Н.А. Жмакова, Н.Л. Макарова, Н.Ф. Рассоха, Т.Ф. Овчинникова // *Природопользование*. 2018. № 1. С. 208–216.
7. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф. Сезонная активность почвенной пероксидазы в осушенных болотных сосняках Западной Сибири: системно-экологический анализ // *Почвоведение*. 2023. № 10. С. 1244–1258. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600774>.
8. Кудеяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 3–15.
9. The nitrogen balancing act: tracking the environmental performance of food production / E.L. McLellan, K.G. Cassman, A.J. Eagle, P.B. Woodbury, S. Sela, C. Tonitto // *Bioscience*. 2018. Vol. 68. P. 194–203. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix164>.
10. Башкин В.Н. Повышение эффективности использования азота: проблемы и пути решения. Сообщение 1. Агрогеохимические подходы // *Агрохимия*. 2022. № 7. С. 82–96. DOI: 10.31857/S0002188122070031.
11. Белоусов Е.Н., Белоусов А.А. Влияние технологий основной обработки почвы на трансформацию азотсодержащих органических соединений в агрочерноземе и активность ферментов азотного цикла. *Агрохимия*. 2023. № 5. С. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188123020047. EDN: MRZGIQ.

12. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеоздат, 1978. Вып. 6, ч. 1. 384 с.
13. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 63–105.
14. Хазиев Х.Ф. Ферментативная активность почв. М., 1976. 180 с.
15. Унифицированные методы исследования качества вод. М., 1983. Т. 2, ч. 1. 195 с.
16. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 320 с.
17. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 204 с.
18. Ильина Т.К., Негру-Водэ В.В. Василенко Е.С. Активность диссимиляционных внеклеточных нитрат- и нитритредуктаз в почве // Почвоведение. 1977. № 9. С. 92–103.
19. Инишева Л.И., Васильева А.Н. Химический и микробиологический состав дренажных вод в осушаемых почвах // Водные ресурсы. 1982. № 1. С. 147–153.
20. Инишева Л.И. Режимы пойменных мелиорируемых почв южно-таежной подзоны Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 1992. 32 с.

## REFERENCES

1. Kuprevich V.F. Nauchnye trudy: v 4 t. Minsk: Nauka i tehnika, 1974. T. 4: Pochvennaja jenzimologija. 402 s.
2. Makoi J.H., Ndakidemi P.A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem // African Journal of Biotechnology. 2008. Vol. 7, № 3. P. 181–193.
3. Burns R.G., De Forest J.L., Marken J. Soil enzymes in changing environment: current knowledge and future directions // Soil Biology and Biochemistry. 2013. Vol. 58, № 2. P. 216–247.
4. Matjugin V.A., Bezuglova O.S. Vlijanie guminovykh preparatov na azotnoe pitanie ozimoy pshenicy i ureaznuju aktivnost' chernozema obyknovennogo karbonatnogo // Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki. 2023. № 3. S. 106–116. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-3-106-116.
5. Shherbakova T.A. Fermentativnaja aktivnost' pochv i transformacija organicheskogo veshhestva. Minsk, 1983. 222 s.
6. Jenzimaticeskaja aktivnost' torfa estestvennoj i razrabatyvaemoj torfjanoj zalezhi / G.V. Naumova, N.A. Zhmakova, N.L. Makarova, N.F. Rassoha, T.F. Ovchinnikova // Prirodopol'zovanie. 2018. № 1. S. 208–216.
7. Efremova T.T., Efremov S.P., Avrova A.F. Sezonnaja aktivnost' pochvennoj peroksidazy v osushennykh bolotnykh sosnjakakh Zapadnoj

- Sibiri: sistemno-jekologicheskij analiz // Pochvovedenie. 2023. № 10. S. 1244–1258. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600774>.
8. Kudejarov V.N. Agrogeohimicheskie cikly ugljeroda i azota v sovremennom zemledelii Rossii // Agrohimiya. 2019. № 12. S. 3–15.
9. The nitrogen balancing act: tracking the environmental performance of food production / E.L. McLellan, K.G. Cassman, A.J. Eagle, P.B. Woodbury, S. Sela, C. Tonitto // Bioscience. 2018. Vol. 68. P. 194–203. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix164>.
10. Bashkin V.N. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija azota: problemy i puti reshenija. Soobshhenie 1. Agrogeohimicheskie podhody // Agrohimiya. 2022. № 7. S. 82–96. DOI: 10.31857/S0002188122070031.
11. Belousov E.N., Belousov A.A. Vlijanie tehnologij osnovnoj obrabotki pochvy na transformaciju azotsoderzhashhix organicheskix soedinenij v agrochernozone i aktivnost' fermentov azotnogo cikla. Agrohimiya. 2023. № 5. S. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188123020047. EDN: MRZGIQ.
12. Nastavlenija gidrometeorologicheskimi stancijami i postami. L.: Gidrometeozdat, 1978. Vyp. 6, ch. 1. 384 s.
13. Agrokhimicheskiye metody issledovaniya pochv. M.: Nauka, 1975. S.63–105.
14. Haziev H.F. Fermentativnaja aktivnost' pochv. M., 1976. 180 s.
15. Unificirovannye metody issledovaniya kachestva vod. M., 1983. T. 2, ch. 1. 195 s.
16. Lishtvan I.I., Korol' N.T. Osnovnye svojstva torfa i metody ih opredelenija. Minsk: Nauka i tehnika, 1975. 320 s.
17. Haziev F.H. Sistemno-jekologicheskij analiz fermentativnoj aktivnosti pochv. M.: Nauka, 1982. 204 s.
18. P'ina T.K., Negru-Vodje V.V. Vasilenko E.S. Aktivnost' dissimiljacionnykh vnekletochnykh nitrat- i nitritreduktaz v pochve // Pochvovedenie. 1977. № 9. S. 92–103.
19. Inisheva L.I., Vasil'eva A.N. Himicheskij i mikrobiologicheskij sostav drenaznykh vod v osushaemykh pochvah // Vodnye resursy. 1982. № 1. C. 147–153.
20. Inisheva L.I. Rezhimy pojmnnykh melioriruemnykh pochv juzhno-taehznoj podzony Zapadnoj Sibiri: avtoref. dis. ... d-ra s.-h. nauk. SPb., 1992. 32 s.

**Инишева Лидия Ивановна**, доктор с.-х. наук, профессор, член-корр. РАН, гл. науч. сотрудник, учебно-исследовательская лаборатория, [inisheva@mail.ru](mailto:inisheva@mail.ru); **Порохина Екатерина Владимировна**, канд. биол. наук, доцент, кафедра биологии, [porohkatrin@yandex.ru](mailto:porohkatrin@yandex.ru) (ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет», г. Томск, Российская Федерация).

УДК 631.6.006.036

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-3-46-53

## МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

**Е.В. КУЗНЕЦОВ, В.С. МАЦИЙ**

**Ключевые слова:** стандартизация, нормативные акты, проектно-изыскательская документация, оценка качества, анализ риска.

**Keywords:** standardization, regulations, design and survey documentation, quality assessment, risk analysis

**Аннотация.** Цель: анализ нормативных документов, регулирующих процессы обеспечения качества в мелиорации. Материалы и методы: Использовались действующие нормативно-правовые акты в строительстве и мелиорации, а также проанализированы статьи по нормативной базе мелиоративного комплекса России. Результаты: Определены основные проблемы в нормировании проектно-изыскательских работ в области мелиорации. Предложена методология комплексного обеспечения безопасности и качества продукции. Выявлены основные направления работ по проведению анализа и менеджмента риска. Выводы: На текущий момент необходима опережающая подготовка национальных стандартов в области мелиорации. Имеет место фактор влияния существующей конкурсной системы по закупке услуг в отрасли, негативно сказывающийся на качестве проектной и изыскательской документации, особенно для строительства сооружений инженерной за-

щиты. Для формирования полноценной и работоспособной нормативно-технической базы необходимо провести идентификацию, анализ и последующую классификацию несоответствий проектной и изыскательской документации.

**Abstract.** Purpose: analysis of regulatory documents governing quality assurance processes in land reclamation. Materials and methods: The current regulatory legal acts in construction and land reclamation, as well as program articles on the regulatory framework of the reclamation complex of Russia were used. Results: The main problems in the regulation of design and survey work in the field of land reclamation have been identified. A methodology for comprehensive safety and quality assurance of products is proposed. The main directions of work on risk analysis and management were identified. Conclusions: At the moment, advanced preparation of national standards in the field of land reclamation is needed. There is a factor of influence of the existing competitive system for the procurement of services in the industry, which negatively affects the quality of design and survey documentation, especially for the construction of engineering protection structures. Identification, analysis and subsequent classification of non-conformities of design and survey

*documentation shall be carried out in order to form a complete and efficient regulatory and technical base.*

**В**ведение. Во всем мире государство, бизнес-среда и социум применяют различные нормативно-технические документы для обеспечения связей, возникающих на всех стадиях строительного процесса: от инвестирования до сноса сооружения. В связи с этим стандартизация является ключевым фактором поддержки государственной социально-экономической политики, являющейся плодородной почвой для добросовестной конкуренции, инноваций и дальнейшего технического прогресса.

До второй половины XX в. процессы стандартизации, на первый взгляд, были крайне незаметны широкому кругу общественности и не воспринимались людьми как нечто витальное. Сегодня же стандарты предстают в обществе не только в части функционального результата, но и как переоцененный гарант высокого качества используемой в повседневной деятельности продукции.

Стандартизация – это экономический инструмент, применяемый для формирования логичной и структурной номенклатуры, определения основных характеристик и параметров конечного продукта. В рамках строительных процессов стандартизации направлена на повышение качества и снижение затрат на проектно-изыскательские и строительные-монтажные работы, а также дальнейшую эксплуатацию зданий и сооружений. Стандартизация – это отрасль знаний, включающая достижения всех наук с целью создания комплексных построений, где каждое техническое решение является результатом тщательного изучения и отбора всего наилучшего, оптимального, всесторонне взвешенного [2].

Понимая, что стандартизация – это квинтэссенция опыта прошлого, вобравшая в себя основы многообразных дисциплин, нетрудно прийти к умозаключению, в котором раскрывается основная ее задача. Она заключается в передаче теоретически достоверных и практически реализуемых знаний. Поставленная тысячелетия назад задача улучшения социального и экономического благосостояния общества не просто находит отражение, а является прикладным аспектом научного знания – его когнитивной и социальной функций.

В истории стандартизации нельзя не отметить одну из первых книг об архитектуре – трактат «Десять книг об архитектуре» под авторством римского архитектора Витрувия [3]. Произведение античности содержит описание шести основополагающих принципов архитектуры как науки. В части стандартизации трактат устанавливал общие термины, принципы и способы использовать объект строительства экономически. Дальнейшее развитие стандартизации не явно отражено в истории, и аналогично трудам мастеров античности, таких как Витрувий, предстает отдельными содержательными источниками, нежели полноценной взаимосвязанной системой, обладающей признаками систематичности – наличием единства главной цели для всех структурных еди-

ниц, их единства и взаимосвязанности в рамках иерархичной структуры, а также возможности контроля над данными элементами, конкретно в случае стандартизации – возможности их актуализации и пополняемости.

Изучение исторических аспектов отечественной стандартизации, сертификации и метрологии призвано оказать помощь в деле совершенствования современной Национальной системы стандартизации и Национальной системы обеспечения единства измерений, в том числе в области разработки и практического внедрения новых законодательных документов [2]. С недавнего времени департаментом мелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации ведутся работы по определению основополагающих проблем действующей нормативной документации, а также по анализу вопросов применения нормативных документов. На сегодняшний день наиболее активную деятельность в стандартизации предмета исследования осуществляют Технический комитет 151 «Мелиорация», компетенцией которого является переподготовка национальных стандартов для проблем мелиорации.

Так, в ГОСТ Р 58330.2–2018 «Мелиорация. Виды мелиоративных мероприятий и работ. Классификация» в п. 2.38 имеется определение, что инженерные изыскания и проектирование это – стадия жизненного цикла мелиоративного мероприятия, включающая совокупность процессов обследования условий, создания проектной (рабочей) документации, необходимых для реализации (производства) мелиоративного мероприятия. Также в этом документе отражены важные мероприятия инженерной защиты объектов, такие как: осушение земель (п. 2.67), отвод избытка поверхностных вод (п. 2.69), понижение уровня грунтовых вод (п. 2.81), предотвращение притока избыточных вод (п. 2.82), регулирование наземного стока (п. 2.91), террасирование склоновых земель (п. 2.101), укрепление грунта (п. 2.107), устройство почвозащитных фитопогодок (п. 2.109), фитозащита земель (п. 2.110) и др.

Мероприятия инженерной защиты мелиоративных объектов отражены в СП 421.1325800.2018 Мелиоративные системы и сооружения. Правила эксплуатации. В п. 8.2.3 описаны агролесомелиоративные мероприятия, а в п. 8.7.6 – защита от селевых потоков, оползней и снежных лавин. В части противооползневой защиты предлагается строительство перехватывающих дрен и скважин вертикального дренажа, уположивание склонов.

В «Инструкции о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство объектов мелиорации земель» в составе проектируемых мероприятий по рациональному использованию и защите земельных ресурсов (п. 7.2.2) определены защита мелиоративных земель от ливневых и паводковых вод, селевых потоков, оползней и т. д. В ГОСТ Р 58330.1–2018 Мелиорация. Мелиоративные системы и сооружения. Классификация в п. 3.2.1.1 отражены противоэрозионные соору-

жения, защитные лесные насаждения, дороги, осушенные земли.

Противоэрозионные мероприятия также важны в части инженерной защиты земель. Это нашло отражение в п. 12.10 СП 100.13330.2016 Мелиоративные системы и сооружения. Более подробно они описаны в СТО 4.2-1–2015 Мелиорация земель. Правила проведения противоэрозионных мероприятий на различных типах агроландшафтов. Мелиоративная роль лесных насаждений также отражена в научных статьях [5, 6, 8].

Аспекты формирования нормативной базы мелиоративного комплекса России отражены в программных статьях В.Н. Щедрина и др. [11–15]. Проектирование (изыскания) мелиоративных объектов и изделий определены как отдельный элемент направления нормирования, мелиоративные мероприятия как элемент комплексов, а агролесомелиорация как подсистема.

Проблеме применения и совершенствования нормативной базы посвящаются многочисленные международные конференции и форумы. В числе организаторов таких мероприятий выступают ведомственные структуры Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Участниками конференций уже не раз было упомянуто, что «существующая в России нормативная техническая база, сформированная еще в XX в., устарела и требует коренной модернизации — приведения в соответствие с требованиями нынешнего времени» [1]. На заседаниях научно-технических советов министерства регулярно проводятся работы компетентных коллегий, направленные на совершен-

ствование стандартов, как в сфере мелиорации, так и деятельности профильных институтов, задействованных в отраслях инженерных изысканий и проектирования.

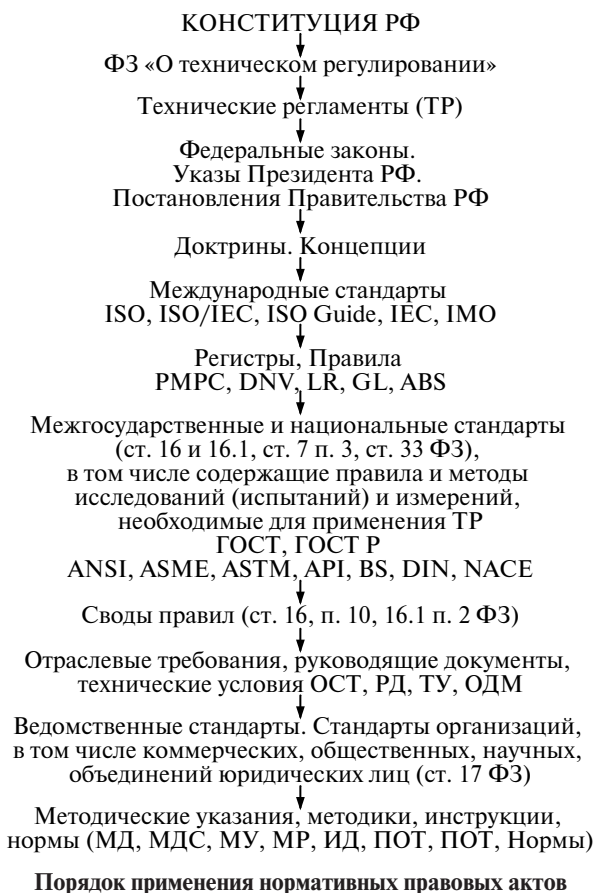
Большое количество нормативных документов стало применяться абсолютно бессистемно. Это, в свою очередь, привело к появлению взаимоисключающих требований.

**Нормативные документы, регулирующие процессы обеспечения качества в мелиорации.** Главным отличием и бесспорным преимуществом закона «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ является принцип разделения требований безопасности и других требований к продукции с соответствующим разделением нормативных документов. Это преимущество может быть реализовано в том случае, если при разработке любой продукции будут идентифицированы опасности и оценены риски с учетом возможных ущербов. Даже если опасности будут только названы, это будет являться предостережением и тем дополнительным ресурсом обеспечения безопасности, который предоставляет закон при проектировании, производстве и эксплуатации продукции. В то же время формулировка закона о включении в технические регламенты требований безопасности «с учетом степени риска причинения вреда» представляется неточной с технической точки зрения. Для обеспечения требований безопасности необходимо обоснованно доказывать, что недопустимый риск отсутствует и гарантировать его отсутствие при передаче продукции для эксплуатации.

Департамент мелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации обеспечивает разработку, регистрацию, утверждение, ввод в действие, пересмотр и отмену документов по стандартизации для Национального объединения строителей (НОСТРОЙ). В соответствии с законодательством Российской Федерации нормативно-правовые акты применяются в порядке убывания их юридической силы (рисунок).

Особую роль в поддержании требуемого минимального уровня качества проектных работ играет процесс типизации. Типовое проектирование — комплекс технических решений, направленный на достижение оптимального технико-экономического соотношения и рационализации дальнейших процессов. В актуальной нормативно-технической базе отсутствуют документы, определяющие требования по применению типовых проектных решений.

Попытка утвердить в рамках стандартизации типовое проектирование произошла в 2002 г. СНиП 11–03–2001 «Типовая проектная документация» устанавливал порядок разработки, утверждения, применения типовых решений (изделий) в проектах. Предполагалось, что применение свода правил будет направлено на обеспечение качества как проектной документации, так и строительно-монтажных работ. Предложение по организации системы типового проектирования мелиоративных объектов изложены в работе О.В. Воєводина и др. [4].



Принятие Федерального закона «О конкурсах на размещение заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных нужд» от 6 мая 1999 г. № 97-ФЗ ознаменовало возникновение в нормативно-правовом поле системы государственных закупок. В текст документа включены общие положения, что наделило организаторов открытых конкурсов широкими полномочиями. Впоследствии 21 июля 2005 г. принят Федеральный закон № 94-ФЗ «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд». Этот законодательный процесс направлен на минимизацию возросшего человеческого фактора при определении поставщиков.

Благодаря принятому нормативно-правовому акту в сфере закупок, касающихся строительной отрасли, достигнуты такие задачи, как внедрение в процесс государственных закупок принципа открытости и переход на электронные аукционы. В рамках закона исключение делалось для особо опасных, технически сложных объектов.

Возросшую необходимость заказчика в формировании полноценной системы государственного прокьюрмента, а также гибкости в зависимости от особенностей закупаемых товаров и услуг частично разрешил вступивший в силу 1 января 2014 г. Федеральный закон 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». Работа сложившегося на текущий момент механизма государственного заказа в мелиорации оценивается учеными и экспертами в умеренно позитивном ключе. Но основной неразрешенной проблемой остается значительный и экономически необоснованный уровень снижения цен (демпинг) со стороны мелких организаций, которые в результате этого одерживают победу над крупными авторитетными организациями, имеющими большой опыт выполнения работ, высококвалифицированный инженерно-технический персонал и развитую материально-техническую базу.

Система ценообразования и сметного нормирования в строительстве мелиоративных сооружений является регулируемой. Сметная стоимость объектов, служащая основой для формирования начальной (максимальной) цены торгов, контролируется уполномоченными органами в соответствии с Положением о проведении проверки достоверности определения сметной стоимости объектов, строительство которых финансируется с привлечением средств федерального бюджета. Цена обеспечивает подрядчику возврат затрат в процессе производства в полном объеме и прибыль в объеме нормы [10, 11].

Снижение начальной цены на десятки процентов, регулярно наблюдаемое при проведении электронных аукционов, приводит к тому, что подрядные организации вынуждены экономить буквально на всем, в том числе и на безопасности, используя менее качественные или не соответствующие проектной документации материалы, привлекая рабочую силу низкой квалификации и нарушая технологию строительного

производства. В части функционирования проектно-изыскательских организаций наблюдаются регулярные нарушения законодательства в РФ в отношении привлечения некомпетентных низкооплачиваемых кадровых ресурсов и использования нелегализованного программного обеспечения (ПО), что ведет к регулярным перебоям в работе и срыву сроков подготовки документации. Таким образом, победа на электронных аукционах за счет значительного снижения цены создает для заказчика повышенные риски снижения качества строительства объектов мелиорации и в итоге неисполнения или ненадлежащего исполнения государственного контракта.

Исторически обеспечение качества изыскательской и проектной документации включает требования, перечисленные в Международном стандарте ГОСТ ISO 9001:

- планирование процесса проектирования, включающее установление стадий проектирования, учитывающих проведение анализа, валидации и верификации на соответствующих стадиях;
- распределение ответственности и полномочий разработчиков проектов по каждой стадии;
- определение исходных данных для проектирования и их анализ на полноту и достоверность;
- анализ проектной документации на запланированных стадиях ее разработки с целью выявления возможных проблем внесения предложений по их устранению;
- верификация проектной документации в форме нормоконтроля;
- валидация проектной документации в форме государственной экспертизы проектной документации;
- управление изменениями, вносимыми в проектную и изыскательскую документацию на всех стадиях ее разработки.

Для определения способности достигать поставленные цели при выполнении проектно-изыскательских работ необходимо учитывать требования к мониторингу и измерению процессов, изложенные в части пункта 8.2.3 ГОСТ ISO 9001. В ходе анализа этих требований по обеспечению качества изыскательской и проектной документации выявлен ряд недостатков данного нормативно-технического документа. К примеру, при планировании проектно-изыскательских процессов, установление ответственности за разработку проектных решений в настоящее время не регламентировано. Это, в свою очередь, вызывает снижение степени качества работ, ввиду возложения ответственности на основного исполнителя проекта.

Основным документом, включающим исходные данные и определяющим функциональные и эксплуатационные требования к проектируемому объекту, является задание на проектирование/изыскание, которое предоставляет заказчик. Как показывает практика, от качества разработки задания на проектирование полностью зависит качество и сроки подготовки проектно-изыскательской документации. Общие положения и отсутствие уточнений в части специфичности проводимых работ по техническому заданию также могут приводить к снижению качества конечной

продукции. В настоящее время существует необходимость в установлении ответственности за контроль качества проектных решений по иерархической лестнице принятия решений в проектно-изыскательских организациях.

Особой актуальностью обладает фактор перехода от системы общего нормоконтроля к ответственному исполнению и рациональной работе на каждом этапе проектно-изыскательских работ при разделении работ в рамках крупномасштабных объектов, количество субподрядчиков в которых исчисляется десятками. Так называемое переключивание ответственности снизу вверх влечет не только увеличение трудозатрат по оценке качества представленной документации, но и резкое падение безопасности конечного объекта.

Для подтверждения результативности процессов инженерных изысканий и проектирования, а также обеспечения качества могут быть применены количественные методы оценки показателей. Таким образом, актуальность приобретают задачи разработки методик оценки качества процессов.

**Нормативные документы по оценке качества и риск-менеджменту проектно-изыскательских процессов.** Обеспечение качества и его оценка – процессы, которые часто рассматриваются не как синтез неотъемлемых и последовательных процессов, а как взаимозаменяющие понятия. Принципиальные различия определены основными целями этих процессов.

Цели оценки качества определены 6 июня 1985 г. в рамках «Положения об оценке качества проектно-сметной документации для строительства» № 28-Д:

- анализ технико-экономического уровня проектируемых объектов;
- оценка деятельности проектных и изыскательских организаций;
- решение вопросов о возможности выделения средств для премирования работников.

Номенклатура представлена следующими показателями качества:

- мощность объекта (годовой выпуск основной номенклатуры продукции, пропускная способность, объем оказываемых услуг и др.);
- стоимость строительства;

- себестоимость основных видов продукции;
- производительность труда в год;
- срок окупаемости капитальных вложений;
- годовая потребность предприятия (сырье и материалы, электроэнергия, теплоэнергия, вода);
- трудоемкость строительства;
- расход основных строительных материалов (сталь, цемент, полимеры);
- степень и уровень автоматизации производства;
- процент ручного труда.

Анализ риска включает разработку и понимание каждого риска, его причин, условий и способов реализации и обеспечивает входную информацию для определения его оценок и принятия решений относительно необходимости и наиболее подходящих стратегий, и методов обработки. Такой анализ предоставляет входную информацию для принятия решений при необходимости выбора, при наличии альтернативных вариантов, включая различные виды и уровни риска. Оценка и управление риском являются неотъемлемыми составляющими методологии менеджмента качества продукции (таблица).

Анализ риска включает рассмотрение причин и источников риска, их положительных и отрицательных последствий для достижения целей проекта и вероятности появления этих последствий. Факторы, влияющие на последствия их появления и вероятность, должны быть идентифицированы.

Необходимо также учитывать существующие средства контроля и методы управления проектом, их результативность. Риск может иметь множественные последствия, которые связаны с несколькими целями проекта. Способы представления последствий и вероятности, их использования для определения уровня риска должны отражать вид риска, имеющуюся информацию и цель, для которой должны быть использованы результаты его оценки. Все это должно быть согласовано с критериями риска. Важно установить взаимозависимость различных видов риска и их источников.

При анализе необходимо рассматривать достоверность определения уровня риска и его чувствительность к предварительным условиям и предположениям, эффективно обмениваться информацией с ответственными за принятие решений и при необходимости с другими заинтересованными сторонами. Такие факторы, как разброс мнений экспертов, неопределенность, доступность, качество, количество и релевантность информации или ограничения, используемые при моделировании, должны быть установлены и выделены. Анализ риска допускает различную степень детализации в зависимости от цели анализа и доступности информации, данных и имеющихся ресурсов. В процессе анализа риска может потребоваться повторить процесс его идентификации для уточнения риска проекта. Анализ может быть качественным или количественным, или комбинироваться в зависимости от обстоятельств.

Такие факторы, как разброс мнений экспертов, неопределенность, доступность, качество, количество и релевантность информации или ограничения, используемые при моделировании, должны быть установлены и выделены. Анализ риска допускает различную степень детализации в зависимости от цели анализа и доступности информации, данных и имеющихся ресурсов. В процессе анализа риска может потребоваться повторить процесс его идентификации для уточнения риска проекта. Анализ может быть качественным или количественным, или комбинироваться в зависимости от обстоятельств.

**Методология комплексного обеспечения безопасности и качества продукции**

Этап	Составляющие
1. Анализ федеральных законов и нормативной документации. Патентные исследования	Характеристики продукции. Законодательные требования безопасности
2. Анализ риска	Менеджмент риска
3. Подтверждение соответствия требованиям безопасности	Дополнительные требования безопасности
4. Анализ процессов. Выбор показателей качества. Оценка показателей качества	Менеджмент качества
5. Выбор и оптимизация методов достижения качества	Установление плановых показателей

Качественный и количественный анализ может быть использован во всех стадиях строительного процесса. Качественный анализ риска применяют на ранних стадиях выполнения проектно-изыскательских работ для обеспечения стратегических решений, а количественный анализ — на более поздних стадиях для детальной разработки затрат и бюджета времени. Анализ неопределенности в области надежности и стоимости жизненного цикла выполняют при отборе вариантов проекта и детального проектирования на соответствующих стадиях проекта.

Менеджмент риска представляет скоординированную деятельность по управлению организацией в области риска. В ИСО 31000 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» установлены основные позиции эффективного менеджмента риска, его структура, которая обеспечивает основы и организационные методы разработки, внедрения, мониторинга, анализа и постоянного улучшения менеджмента риска в организации, и процесс менеджмента риска, примененный ко всем видам риска в любой организации.

В 2004 г. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ) провело исследовательскую работу в области применения методов оценки рисков. Выделен превалирующий по количеству качественных и логико-вероятностных методов оценки риска. На основании этого поставлена задача формализации и обоснования количественной методики, в которой предлагается формула оценки риска как произведения вероятности появления опасного события и его последствий, а также предложена структура ранжирования показателей вероятности и последствий.

Менеджменту рисков посвящено издание Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии «Менеджмент рисков» [9], охватывающее такие аспекты, как методология и нормативное обеспечение менеджмента рисков, использование методологии и процедур оценки рисков в сфере технического регулирования и другие. В издании подчеркивается, что менеджмент рисков должен стать неотъемлемой частью процессов организации и является основой надежного корпоративного управления [9].

При оценке рисков проектной документации может быть использован стандарт ГОСТ Р 51901.4–2005. Под проектом в этом стандарте понимается уникальный процесс, состоящий из набора скоординированных и управляемых действий с указанием дат начала и окончания, предпринятых для достижения соответствия определенным требованиям, включая ограничения по времени, стоимости и ресурсам. Процесс разработки проектной документации попадает под данное определение. Стандарт устанавливает общие положения по оценке рисков в проектном управлении. Причем управление проектами может быть применено не только при разработке проектной документации, но и при осуществлении любой другой

деятельности, выполнении договора или контракта в различных отраслях.

В стандарте определен общий подход:

- к определению ситуации менеджмента риска;
- к идентификации риска на основе правовых, технических, человеческих, экономических, политических, маркетинговых, социальных, финансовых факторов и факторов окружающей среды и надежности;
- к оценке и обработке риска.

Общий подход к менеджменту риска при проектировании, регламентированный стандартом, заключается в предложениях по его адаптации под собственные требования организаций. Стандарт не предлагает математической оценки рисков.

Приказом Росстандарта от 20.11.2015 № 1910-ст ГОСТ Р 51901.4–2005 заменен на национальный стандарт ГОСТ Р МЭК 62198–2015 «Проектный менеджмент. Руководство по применению менеджмента риска при проектировании». Каждый проект включает неопределенность и риск. Риск может соответствовать целям проекта или целям активов, продукции или услуги, создаваемым в результате выполнения проекта. Настоящий стандарт устанавливает принципы систематического и последовательного менеджмента риска проекта. Стандарт может быть использован как частными лицами, так и организациями, заинтересованными в выполнении какой-либо части проекта или проекта в целом. В нем показано, как применять эти принципы и рекомендации к управлению неопределенностью проекта.

Использование стандарта должно быть адаптировано к каждому конкретному проекту. Нецелесообразно вводить систему сертификации для специалистов в области менеджмента риска. Однако важно понимать, насколько с виду кажущееся экономичным и эффективным в плане строительно-монтажных работ решение может быть опасным и влекущим за собой несоизмеримые с проектной стоимостью риски. Поэтому стоит изыскивать индивидуальный подход к каждому проекту, и в оценку его экономической эффективности не столько рекомендуется, сколько требуется включать оценку риска.

Нередко риск подменяется понятием опасности, которое подразумевает вероятность происшествия события. С точки зрения примитивной математической модели риск является произведением опасности на потенциальный ущерб, и численно риск выражается не безразмерной величиной, не в процентах, а в денежных единицах. В строительстве риски исчисляются миллионами рублей.

Действующий ГОСТ Р 56275–2014 «Менеджмент рисков. Руководство по надлежащей практике менеджмента рисков проектов» имеет точки приложения только на фазу инвестиционных проектов, но никак не соотносится с проектированием, строительством или эксплуатацией транспортной инфраструктуры. В свою очередь, Федеральное управление автомобильных дорог США (FHWA) с 2006 г. имеет на вооружении целый свод правил по оценке риска при строительстве автодорог (FHWA-PL-06–032). Этот документ включает

ет опыт канадских и европейских ведомств по оценке рисков, а также различных подходов по их снижению.

Оценка риска подразумевает и дальнейший мониторинг различных факторов, которые могут привести к возникновению опасных ситуаций. Также нельзя не отметить скудную нормативную базу по мониторингу в мелиорации и тот факт, что она слабо увязана с теорией риска. По средствам мониторинга можно выполнять планирование и формировать программы по устранению потенциальных чрезвычайных ситуаций [7].

Отечественная нормативная база предлагает ряд отраслевых методических документов по определению оползневой опасности, таких как ОДМ 218.2.030–2013 «Методические рекомендации по оценке оползневой опасности на автомобильных дорогах». У компании Российских железных дорог есть свой методический документ, по оценке риска СТО РЖД «Риск-менеджмент в организации обеспечения безопасности движения». Как показывает практика, этого явно недостаточно, чтобы достичь высокого и всеми желаемого уровня безопасности объектов в связи с опасными геологическими процессами.

**Выводы.** На текущий момент необходима опережающая подготовка национальных стандартов в области мелиорации. Имеет место фактор влияния существующей конкурсной системы по закупке услуг в отрасли, негативно сказывающийся на качестве проектной и изыскательской документации, особенно для строительства сооружений инженерной защиты. Для формирования полноценной и работоспособной нормативно-технической базы необходимо провести идентификацию, анализ и последующую классификацию несоответствий проектной и изыскательской документации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аналитическая справка, посвященная основным проблемам реформы технического регулирования в строительном комплексе Российской Федерации, подготовленная экспертами Ассоциации строителей России / Сост. А.С. Самойлов [Электронный ресурс]. URL: <http://asninfo.ru/asn/55/26703>.
2. Аубакирова И.У., Староверов В.Д. История развития стандартизации, метрологии и подтверждения соответствия: учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2012. 103 с.
3. Витрувий М. Десять книг об архитектуре / Пер. Ф.А. Петровского. 3-е изд. М.: КомКнига, 2005. 320 с. ISBN 5-484-00192-7.
4. Воеводин О.В., Слабунов В.В., Кириленко А.А. Организационная структура системы типового проектирования мелиоративных объектов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 1. С. 1–13.
5. Ивонин В.М. Исследование противоэрозионной роли лесных полос на склонах / В.М. Ивонин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 1(37). С. 52–73. DOI 10.31774/2222-1816-2020-1-52-73.
6. Ивонин В.М. Эрозия почв при талом стоке на склонах с лесными полосами // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11, № 2. С. 126–143. DOI 10.31774/2222-1816-2021-11-2-126-143.
7. Кацко А.И., Маций С.И. Анализ и оценка оползневой опасности с использованием показателя Хёрста по результатам геотехнического мониторинга // Мелиорация. 2023. № 3(105). С. 56–65.
8. Макарова Н.М., Балакай Г.Т., Макаров А.В. Повышение мелиоративной роли защитных лесных насаждений на сельскохозяйственных землях юга России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 1(37). С. 122–139. DOI 10.31774/2222-1816-2020-1-122-139.

9. Петросян Е.Р. Менеджмент рисков. М.: Росиспытания, 2009. 540 с.
10. Цапко К.А. Особенности и проблемы государственных закупок в инвестиционно-строительном комплексе // Вестник евразийской науки. 2015. № 4(29) [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-problemy-gosudarstvennyh-zakupok-v-investitsionno-stroitelnom-komplekse>.
11. Аспекты формирования нормативной базы мелиоративного комплекса России / В.Н. Щедрин, Г.А. Сенчуков, В.В. Слабунов, А.А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 3(07). С. 1–27.
12. Щедрин В.Н., Воеводин О.В., Кожанов А.Л. Классификация стандартов мелиоративного комплекса: вопросы интеграции с общероссийским и межгосударственным классификаторами стандартов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 3(39). С. 23–37. DOI 10.31774/2222-1816-2020-3-23-37.
13. Щедрин В.Н., Манжина С.А., Ванеева П.Д. Международный опыт определения экономической эффективности регламентирующей документации в отраслях национальной экономики // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 1(37). С. 169–182. DOI 10.31774/2222-1816-2020-1-169-182.
14. Щедрин В.Н., Коржов В.И., Белоусов А.А. Подходы к формированию принципов создания современных мелиоративных систем и объектов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 3(39). С. 170–188. DOI 10.31774/2222-1816-2020-3-170-188.
15. Щедрин В.Н., Слабунов В.В. Принципы и подходы к формированию нормативной базы мелиоративного комплекса России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. № 3(03). С. 1–15.

#### REFERENCES

1. Analytical reference on the main problems of reform of technical regulation in the building complex of the Russian Federation, prepared by experts of the Association of Builders of Russia / Sess. A.S. Samoylov [Electronic resource]. URL: <http://asninfo.ru/asn/55/26703>.
2. Aubakirova I.Y., Staroverov V.D. History of development of standardization, metrology and conformity confirmation : study. manual. SPb.: SPbGASU, 2012. 103 p.
3. Vitruvius M. Ten books on architecture / Per. F.A. Petrovsky. 3rd edition. M.: KomKniga, 2005. 320 p. ISBN 5-484-00192-7.
4. Voevodina O.V. Organizational structure of the system of typical design of meliorative objects / O.V. Voevodina, V.V. Slabunov, A.A. Kirilenko // Scientific journal of the Russian Research Institute problems of melioration. 2021. T. 11. 1. P. 1–13.
5. Ivonin V.M. Study of anti-erosion role of forest strips on slopes // Scientific journal of the Russian Research Institute for problems of melioration. 2020. № 1(37). С. 52–73. DOI 10.31774/2222-1816-2020-1-52-73.
6. Ivonin V.M. Erosion of soils with talus runoff on slopes with forest strips // Scientific journal of the Russian Research Institute for problems of melioration. 2021. T. 11, 2. P. 126–143. DOI 10.31774/2222-1816-2021-11-2-126-143.
7. Katsko A.I. Analysis and assessment of the risk of landslides using the hurst indicator from the results of geotechnical monitoring / A.I. Katsko, S.I. Matsiy // Melioration. 2023. 3(105). P. 56–65.
8. Makarova N.M. Enhancement of the meliorative role of protective forest plantations on agricultural lands in southern Russia / N.M. Makarova, G.T. Balakai, A.V. Makarov // Scientific journal of the Russian Research Institute for Remediation Problems. 2020. 1(37). P. 122–139. DOI 10.31774/2222-1816-2020-1-122-139.
9. Petrosyan E.R. Risk management. M.: Review, 2009. 540 p.
10. Tsapko K.A. Features and problems of public procurement in the investment and construction complex // Journal of Eurasian science. 2015. 4(29) [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-problemy-gosudarstvennyh-zakupok-v-investitsionno-stroitelnom-komplekse>.
11. Aspects of the formation of the regulatory framework of the reclamation complex of Russia / V.N. Shchedrin, G.A. Senchukov, V.V. Slabunov, A.A. Churaev // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems, No. 3 (07), 2012. P. 1–27.
12. Shchedrin V.N. Classification of standards of the reclamation complex: issues of integration with the all-Russian and interstate classifiers of standards / V.N. Shchedrin, O.V. Voevodina, A.L. Kozhanov // Scientific

Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems. 2020. № 3(39). S. 23–37. DOI 10.31774/2222-1816-2020-3-23-37.

13. Shchedrin V.N. International experience in determining the economic efficiency of regulatory documentation in the sectors of the national economy / V.N. Shchedrin, S.A. Manzhina, P.D. Vaneeva // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. № 1(37). S. 169–182. DOI 10.31774/2222-1816-2020-1-169-182.

14. Shchedrin V.N. Approaches to the formation of principles for creating modern land reclamation systems and objects / V.N. Shchedrin, V.I. Korzhov, A.A. Belousov // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2020. № 3(39). S. 170–188. DOI 10.31774/2222-1816-2020-3-170-188.

15. Shchedrin V.N. Principles and Approaches to the Formation of the Regulatory Framework for the Reclamation Complex of Russia / V.N. Shchedrin, V.V. Slabunov // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Reclamation Problems, No. 3(03), 2011. P. 1–15.

**Кузнецов Евгений Владимирович**, доктор техн. наук, профессор кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, [dtn-kuz@rambler.ru](mailto:dtn-kuz@rambler.ru); **Маций Владимир Сергеевич**, аспирант кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, [vmatsiys@gmail.com](mailto:vmatsiys@gmail.com) (Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Россия, г. Краснодар).

## ПАМЯТИ НИКОЛАЯ СТЕПАНОВИЧА САХАНЧУКА



*Дорогие друзья!*

22 июня 2025 г. ушел из жизни наш друг и коллега, бывший директор федерального государственного учреждения «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Республике Карелия» Николай Степанович Саханчук.

Родился Николай Степанович в д. Ляховичи Ивановского района Брестской области Белорусской ССР 1 мая 1939 г. В 1961 г. с отличием закончил Пинский гидромелиоративный техникум по специальности «Строительство сельских ГЭС и гидромелиорация», продолжил заочно учебу в Украинском институте инженеров водного транспорта, который закончил в 1969 г. по специальности «Гидромелиорация» с присвоением квалификации «Инженер-гидротехник». После окончания в 1961 г. Пинского гидромелиоративного техникума Н.С. Саханчук работал мастером, начальником участка, начальником ПМК в системе Минводхоза Белоруссии. С 1971 по 1975 г. – заместителем председателя Червенского райисполкома.

С 1975 по 2007 г. работал в Карелии и беспрерывно возглавлял отрасль мелиорации и водного хозяйства Республики Карелия.

Под руководством Николая Степановича введены в эксплуатацию 85 тыс. м<sup>2</sup> благоустроенного жилья, два детских объединения на 140 и 160 мест, средняя школа на 624 места, столовая, магазины, объекты инженерной инфраструктуры. За счет рационального и полного освоения капитальных вложений, выделяемых в 1976–1986 гг. объединению «Карелмелиорация», построен новый поселок Мелиоративный с населением более 3000 человек.

Как руководителя и специалиста Николая Степановича всегда отличали высокий профессионализм, творческий подход к решению производственных вопросов и поставленных задач, умение организовать и направлять труд мелиораторов. В последние годы работы в сложных экономических условиях он прилагал все усилия для сохранения отрасли мелиорации земель в республике Карелия, уделял большое внимание вопросам эксплуатации и содержания мелиоративных систем. Он являлся действительно умелым организатором производства, сочетая объективность и требовательность руководителя с чутким и внимательным отношением к подчиненным.

За заслуги в области мелиорации и многолетний и добросовестный труд Н.С. Саханчуку присвоено звание «Заслуженный мелиоратор Карельской АССР», он награжден медалью «За преобразование Нечерноземья РСФСР», Почетными грамотами Совета Министров Карелии, Главнечерноземводстроя, концерна «Центринжсельстроя». В 1995 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный мелиоратор Российской Федерации».

Ушел из жизни настоящий друг, человек, который делал все, чтобы возродить сельские территории республики. Его преданность делу, профессионализм, внимательное отношение к людям снискали ему авторитет среди мелиораторов. Светлая память о Николае Степановиче навсегда сохранится в сердцах родных, друзей и близких.

*Коллеги, друзья*