



**Учредители:**

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

Издаётся с апреля 1949 года

**СОДЕРЖАНИЕ**

**СТРАНИЦА РЕДАКТОРА**

*Гулюк Г.Г.* О земле и воде . . . . . 2

**МЕЛИОРАЦИЯ И ЭКОЛОГИЯ**

*Кузнецова А.В., Уфимцева М.Г.* Оценка возможного  
ущерба окружающей среде при аварии на дамбе . . . . . 5

*Куприянов Д.Е., Ефременко Д.А., Глистин М.В.*  
Инженерная защита береговой полосы озера  
Большое Яровое . . . . . 7

*Семенова К.С.* Обоснование увлажнения  
торфяников как способ предупреждения возгорания. . . . . 11

*Хафизов А.Р., Комиссаров А.В., Жигулев М.А.,  
Хазипова А.Ф., Камалетдинова Л.А.* Оценка  
факторов весеннего половодья на малых водосборах  
водохранилищ мелиоративного назначения. . . . . 15

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАЦИИ**

*Петрушин А.Ф., Блохин Ю.И., Доброхотов А.В.*  
Комплексный подход для мониторинга и восстано-  
вления работоспособности закрытого дренажа . . . . . 18

*Акчурина В.Р., Попова Н.М., Раткович Е.Л.*  
Формирование цифровой базы данных объектов  
мелиорации бассейна р. Урал с применением  
ГИС-технологий . . . . . 21

*Захарян Ю.Г., Янко Ю.Г.* Глобальное потепление  
климата и геостатистика в сельскохозяйственной  
науке как перспективная направленность . . . . . 24

*Матвеев А.В.* Геоинформационная веб-система  
«Интегральное управление мелиоративно-  
водохозяйственным комплексом» . . . . . 28

*Шевченко В.А., Меньшикова С.А., Бубер А.А.,  
Добрачев Ю.П.* Оценка состояния производ-  
ственных участков рисовых оросительных систем  
мелиоративного комплекса Нижней Кубани . . . . . 32

**ОРОШЕНИЕ**

*Дубенок Н.Н., Климахина М.В., Калинин Р.В.,  
Гемонов А.В.* Применение передвижных  
оросительных систем в условиях изменения  
климатических условий в Нечерноземной зоне . . . . . 38

*Кирейчева Л.В., Ткачёва Т.Н.* Удобрительно-  
увлажнительный режим орошения однолетних трав  
свиноводческими стоками . . . . . 42

*Панкова Т.А., Кравчук А.В., Орлова С.С.,  
Михеева О.В., Миркина Е.Н.* Адаптивное  
нормирование орошением . . . . . 47

**МЕЛИОРАЦИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

*Сунгатуллин Р.Х., Хисматуллин М.М., Валиев А.Р.,  
Сабиров А.М.* Эффективность реконструкции  
оросительной системы ООО Агрофирма  
«Чистопольская» . . . . . 52

**CONTENTS**

**EDITOR'S PAGE**

*Gulyuk G.G.* About land and water . . . . . 2

**MELIORATION AND ECOLOGY**

*Kuznetsova A.V., Ufimtseva M.G.* Assessment of possible  
damage to the environment in case of an accident on a dam. . . . . 5

*Kupriyanov D.E., Efremenko D.A., Glistin M.V.*  
Engineering protection of the shoreline of Bolshoe  
Yarvoe lake . . . . . 7

*Semenova K.S.* Justification for moistening peatlands  
as a way to prevent fire . . . . . 11

*Hafizov A.R., Komissarov A.V., Zhigulev M.A.,  
Khazipova A.F., Kamaletdinova L.A.* Assessment of spring  
flood factors in small catchments of reclamation reservoirs. . . . . 15

**SCIENTIFIC ENSURING MELIORATION**

*Petrushin A.F., Blokhin Yu.I., Dobrokhotov A.V.*  
An integrated approach for monitoring and restoring  
the performance of closed drainage. . . . . 18

*Akchurina V.R., Popova N.M., Ratkovich E.L.*  
Formation of a digital database of land reclamation objects in the  
Ural River basin using GIS-technologies . . . . . 21

*Zakharian Yu.G., Yanko Yu.G.* Global warming and  
geostatistics in agricultural sciences is a promising trend. . . . . 24

*Matveev A.V.* Geoinformation web-system «Integral  
management of the reclamation and water management  
complex». . . . . 28

*Shevchenko V.A., Menshikova S.A., Buber A.A.,  
Dobrachev Yu.P.* Assessment of the state of production  
sites of rice irrigation systems of the reclamation  
complex of the Lower Kuban . . . . . 32

**IRRIGATION**

*Dubenok N.N., Klimakhin M.V., Kalinichenko R.V.,  
Gemonov A.V.* Application of mobile irrigation systems  
under changing climatic conditions in the  
Non-Chernozem zone . . . . . 38

*Kireicheva L.V., Tkacheva T.N.* Fertilizing and  
humidifying regime of irrigation of annual grasses with  
pig-breeding effluents. . . . . 42

*Pankova T.A., Kravchuk A.V., Orlova S.S.,  
Mikheeva O.V., Mirkina E.N.* Adaptive irrigation rationing. . . . . 47

**MELIORATION: PROBLEMS AND SOLUTIONS**

*Sungatullin R.H., Khismatullin M.M., Valiev A.R.,  
Sabirov A.M.* Efficiency of reconstruction of irrigation  
system of LLC Agrofirma «Chistopolskaya» . . . . . 52

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 со-  
искание ученых степеней кандидата и доктора наук.

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

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 7,0. 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, В.В. МЕЛИХОВ, 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. ЯХНОК

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов публикаций.

## О ЗЕМЛЕ И ВОДЕ



Г.Г. ГУЛЮК

Внимание к важнейшим ресурсам человеческой жизни – земле и воде – прививают любовь к Родине и пониманию всей остроты в мире и России.

Прошедшие события, Постановление Совета Федерального Собрания Российской Федерации «Об экологическом оздоровлении водных объектов и о развитии мелиоративного комплекса Российской Федерации», поздравление Президента России труженикам аграр-

ного комплекса с упоминанием программы мелиорации – великая честь и надежда на усиление внимания к преобразователям земельных ресурсов, созданию условий развития деревни, в повышении возможностей использования земельных ресурсов, подъема российского села.

Важным документом в развитии мелиорации является Указ Президента РФ «Об утверждении Климатической доктрины» от 26.10.2023. Мелиораторы и наука должны с особым вниманием относиться к производству кислорода и его влиянию на освоение мелиоративных технологий в развитии растений.

### ПОСТАНОВЛЕНИЕ

#### ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОЗДОРОВЛЕНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И О РАЗВИТИИ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Москва

№ 327-СФ от 21 июня 2023 г.

Заслушав информацию Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Абрамченко об экологическом оздоровлении водных объектов и о развитии мелиоративного комплекса Российской Федерации, Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации отмечает следующее.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 года № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» ликвидация наиболее опасных объектов накопленного вреда окружающей среде и экологическое оздоровление водных объектов, включая реку Волгу, озера Байкал и Телецкое, определены в качестве целевого показателя, характеризующего реализацию национальной цели развития Российской Федерации «Комфортная и безопасная среда для жизни» к 2030 году.

Для достижения указанной цели осуществляются национальный проект «Экология», включающий в том числе федеральные проекты «Оздоровление Волги», «Сохранение уникальных водных объектов» и «Сохранение озера Байкал», план мероприятий («дорожная карта») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса реки Дон, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июля 2021 года № 1012-р.

По поручению Президента Российской Федерации на 2025 год запланировано начало реализации нового федерального проекта по экологическому оздоровлению водных объектов Российской Федерации (далее – Проект), предусматривающего в том числе распространение комплексного подхода к оздоровлению водных объектов на весь бассейн реки Волги (в том числе на реку Каму), а также на реки Дон, Урал, Иртыш, Терек, Амур, Лена, Обь, Волхов и Нева, озеро Ильмень, средние и малые реки.

Основными проблемами, требующими решения в рамках Проекта, являются высокий уровень загрязнения сточных вод, деградация водных объектов, высокая степень износа гидротехнических сооружений, водопропускных сооружений, трактов водоподдачи и мелиоративных систем, а также снижение рыбохозяйственного потенциала водных объектов.

Кроме того, необходимо уделить особое внимание вопросам ликвидации дефицитов водных ресурсов в вододефицитных регионах страны.

Развитие мелиоративного комплекса Российской Федерации осуществляется в рамках реализации Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 14 мая 2021 года № 731 (далее – Государственная программа развития мелиоративного комплекса).

Для улучшения условий сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях необходимо обеспечить приведение гидротехнических сооружений в нормативно-техническое состояние и их безопасную эксплуатацию, организацию рационального водопользования и водораспределения, проведение противопаводковых мероприятий, расчистку мелиоративных каналов.

С учетом изложенного Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации постановляет:

1. Принять к сведению информацию Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Абрамченко об экологическом оздоровлении водных объектов и о развитии мелиоративного комплекса Российской Федерации.

2. Рекомендовать Государственной Думе Федерального Собрания Российской Федерации рассмотреть в период весенней сессии 2023 года проект федерального закона № 267846-8 «О внесении изменения в статью 10 Федерального закона «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения».

3. Рекомендовать Правительству Российской Федерации:

1) завершить в декабре 2024 года работу по формированию Проекта, предусмотрев начало его реализации в 2025 году;

2) проработать вопрос об источниках финансирования мероприятий Проекта;

3) определить при формировании проекта федерального бюджета на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов источники финансового обеспечения реализации в приоритетном порядке мероприятий по экологическому оздоровлению водных объектов, по которым утверждена проектно-сметная документация (в том числе путем возможного увеличения ставок платы за пользование водными объектами), и обеспечить выделение бюджетных ассигнований на основании предложений главных распорядителей бюджетных средств;

4) рассмотреть возможность увеличения размера затрат, возмещаемых из бюджетов субъектов Российской Федерации сельскохозяйственным товаропроизводителям, с 50 до 90 процентов общего объема затрат на проведение ими агролесомелиоративных и фитомелиоративных мероприятий в рамках Государственной программы развития мелиоративного комплекса за счет увеличения софинансирования расходных обязательств субъектов Российской Федерации из федерального бюджета;

5) рассмотреть при формировании проекта федерального бюджета на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов вопрос об увеличении объема финансирования мероприятий по капитальному ремонту объектов мелиорации, находящихся в федеральной собственности, расчистке мелиоративных каналов, находящихся в федеральной собственности, и техническому оснащению учреждений по мелиорации;

6) рассмотреть возможность включения в Проект мероприятий:

проекта комплексной программы по восстановлению численности ценных сиговых видов рыб в Обь-Иртышском рыбохозяйственном районе;

по экологическому оздоровлению трансграничных рек;

по экологическому оздоровлению водных объектов всего бассейна реки Волги, включая ее основные притоки — реки Оку и Каму;

7) поддержать подготовленную Московской областной Думой и рассмотренную Комиссией Совета законодателей по аграрно-продовольственной политике, природопользованию и экологии законодательную инициативу № 8–375 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (в части установления порядка признания права собственности и признания недействующими бесхозяйных мелиоративных систем, бесхозяйных отдельно расположенных гидротехнических сооружений)»;

8) подготовить предложения по развитию мелиоративного комплекса Республики Калмыкия и по улучшению питьевого водоснабжения в Республике Калмыкия;

9) проинформировать Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации:

о ходе разработки проекта Водной стратегии Российской Федерации на период до 2035 года;

об определении уполномоченного федерального органа исполнительной власти по проектированию и строительству рыбоходного канала в обход Кочетовского гидроузла, о сроках проведения и об источниках финансирования указанных работ в рамках исполнения поручения Президента Российской Федерации от 13 февраля 2023 года № Пр-288;

10) проработать вопросы:

о сокращении дефицитов водных ресурсов в вододефицитных регионах страны в целях обеспечения водоснабжения населения и нужд сельского хозяйства;

о разработке мер государственной поддержки проектов по строительству канализационных сетей и очистных сооружений хозяйственно-бытовых сточных вод в неканализованных населенных пунктах, а также порядка приоритизации таких проектов;

о возможности привлечения частных инвестиций в целях реализации водоохраных мероприятий.

4. Рекомендовать Министерству природных ресурсов и экологии Российской Федерации:

1) рассмотреть возможность синхронизации работ по восстановлению водных объектов с мероприятиями по очистке и благоустройству прилегающих к ним территорий;

2) разработать совместно с участниками Проекта критерии приоритетности отбора мероприятий для реализации.

5. Рекомендовать Министерству сельского хозяйства Российской Федерации:

1) включить мероприятия по гипсованию почв в перечень мероприятий, реализуемых в рамках Государственной программы развития мелиоративного комплекса;

2) рассмотреть возможность возмещения части затрат сельскохозяйственных товаропроизводителей на проведение гидромелиоративных, культуртехнических, агролесомелиоративных и фитомелиоративных мероприятий, а также мероприятий в области химической мелиорации (в том числе известкования и гипсования) кислых почв на пашне на территориях Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Запорожской области и Херсонской области в рамках Государственной программы развития мелиоративного комплекса;

3) проработать вопросы улучшения условий труда, увеличения уровня заработной платы и создания комфортных условий проживания для молодых специалистов в целях повышения престижа профессии гидротехника и обучения по направлению подготовки «Гидромелиорация»;

4) рассмотреть вопрос о разработке мер, направленных на предотвращение загрязнения водных объектов в результате стока агрохимикатов и биогенных веществ с земель сельскохозяйственного назначения;

5) проработать вопрос об установлении запрета на перевод мелиорируемых и мелиорированных земель сельскохозяйственного назначения в земли иных категорий в целях сохранения достигнутого уровня мелиорации и обеспечения продовольственной безопасности.

6. Рекомендовать Министерству строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации рассмотреть вопросы:

об инвентаризации водовыпусков сточных вод в населенных пунктах, расположенных на берегах водных объектов;

об источниках финансирования строительства и реконструкции сетей и сооружений централизованных систем водоотведения.

7. Рекомендовать Министерству строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации совместно с Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации определить критерии отбора мероприятий по строительству (реконструкции) объектов капитального строительства, предлагаемых к включению в Проект.

8. Рекомендовать Министерству промышленности и торговли Российской Федерации разработать меры по развитию отечественного производства оборудования и комплектующих, требующихся для реализации федеральных проектов «Оздоровление Волги», «Сохранение уникальных водных объектов» и «Сохранение озера Байкал», плана мероприятий («дорожной карты») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса реки Дон, а также Проекта.

9. Рекомендовать Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору совместно с уполномоченными органами государственной власти субъектов Российской Федерации продолжить работу по выявлению бесхозяйных и незаконно возведенных гидротехнических сооружений.

10. Рекомендовать органам государственной власти субъектов Российской Федерации совместно с Федеральным агентством водных ресурсов активизировать работу по установлению границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов и направлению результатов указанной работы в Федеральную службу государственной регистрации, кадастра и картографии для внесения в Единый государственный реестр недвижимости.

11. Рекомендовать органам государственной власти субъектов Российской Федерации:

1) подготовить и представить в Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации предложения по включению мероприятий в Проект;

2) активизировать работу по выявлению и учету брошенных плавучих средств, иного бесхозяйного или брошенного имущества, расположенных в прибрежных защитных полосах водных объектов, в целях определения права собственности на них и дальнейшего удаления (утилизации);

3) обеспечивать:

**Председатель Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации**

**В.И. МАТВИЕНКО**

В документе уделено огромное внимание оздоровлению водных объектов и развитию мелиоративного комплекса Российской Федерации.

Считаю необходимым проинформировать подписчиков журнала «Мелиорация и водное хозяйство» о национальных целях развития Российской Федерации, создающих комфортную среду для жизни к 2030 г. Этому посвящено рассмотрение положения дел на правительственном часе 7 июня 2023 г., где еще раз подчеркнута, что мелиорация необходима и ее роль неотвратима. Постановление затрагивает развитие водохозяйственного комплекса рек Амур, Волхов, Дон, Иртыш, Лена, Нева, Терек, Урал, озера Байкал, Ильмень, средних и малых озер нашей страны.

Развитию мелиоративного комплекса Российской Федерации, слабо определенной в Государственной программе «Эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса РФ», утвержденной Постановлением Правительства от 14.05.2021 № 731.

Постановление во многом рамочное и потребует дополнительных мер по его реализации. Один из основных вопросов – уточнение предложений в проекте ФЗ № 267848–8 о внесении изменений в статью 10 Федерального закона об обороте земель сельскохозяйственного назначения.

Необходимо разработать основные направления по формированию проекта, по определению федерального органа проектирования объектов мелиорации, в первоочередном порядке проработать вопрос об источниках финансирования объектов мелиорации.

эффективное использование мелиорированных земель, в том числе приоритетное использование в сельскохозяйственном производстве орошаемых земель, обладающих при их орошении наибольшим потенциалом роста производства сельскохозяйственных культур;

предоставление в государственный реестр земель сельскохозяйственного назначения сведений о фактической площади орошаемых (осушаемых) земель с указанием кадастровых номеров земельных участков, общей площади земельных участков, площади земельных участков, которая используется для выращивания сельскохозяйственных культур, с указанием наименований сельскохозяйственных культур.

12. Предложить Правительству Российской Федерации проинформировать Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации в период осенней сессии 2023 года о ходе реализации рекомендаций, содержащихся в настоящем постановлении.

13. Комитету Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию проинформировать палату в конце осенней сессии 2023 года о реализации настоящего постановления.

14. Контроль за исполнением настоящего постановления возложить на Комитет Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию.

15. Настоящее постановление вступает в силу со дня его принятия.

Безусловно, еще раз вернуться к инвентаризации мелиоративных систем с учетом их восстановления, с особой осторожностью вписать об установлении признания недействующими. Максимально часто предусматривать восстановление – это дешевле нового строительства.

Безусловно, необходимо предусмотреть вопросы оплаты труда работникам мелиоративного комплекса не ниже уровня труда работников и чиновников в данном субъекте федерации.

Ежегодно предусматривать федеральные средства на развитие базы федеральных государственных бюджетных учреждений, а также на специализированную мелиоративную технику.

В пункт 7 Постановления включить Министерство сельского хозяйства РФ.

Пункт 11 после слов «Министерству природных ресурсов и экологии и Министерству сельского хозяйства РФ» подготовить и включить предложения в проект.

Министерству сельского хозяйства РФ, федеральным государственным бюджетным учреждениям продолжить работу с субъектами федерации по разработке изложенных в Постановлении мероприятий по выработке дальнейшего развития мелиорации в России, и направить в Совет Федерации и Правительство РФ.

Необходимо установить задание по повышению эффективности мелиорированных земель и реализации Государственной программы в фактических объемах каждому региону РФ.

*Гулюк Георгий Григорьевич, доктор с.-х. наук, главный редактор (Журнал «Мелиорация и водное хозяйство»).*

УДК 627.51

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО УЩЕРБА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ПРИ АВАРИИ НА ДАМБЕ



А.В. КУЗНЕЦОВА, М.Г. УФИМЦЕВА

**Ключевые слова:** дамба, гидротехнические сооружения, ущерб, половодье, загрязняющие вещества.

**Keywords:** dam, hydraulic structures, damage, high water, pollutants.

В статье представлены результаты изучения ландшафтных особенностей расположения дамбы и просчитан возможный ущерб окружающей среде в случае разрушения дамбы по одному из сценариев. Изучаемая дамба находится в п. Сумкино Тобольского района Тюменской области и предназначена для защиты поселка от затопления во время половодья и паводков реки Иртыш и озера Саускановское. Анализ сценариев аварий и проведенные расчеты вероятности возникновения каждого сценария показали, что наиболее вероятной аварией дамбы, является авария по сценарию «отказ противопаводковой дамбы вследствие потери фильтрационной прочности». В случае отказа дамбы или перелива паводковых вод через нее под зону затопления попадет 71,85 га селитебной территории, с которой произойдет сброс загрязняющих веществ с земельных ресурсов и систем канализации в водный объект.

The article presents the results of studying the landscape features of the location of the dam and calculated the possible damage to the environment in the event of the destruction of the dam according to one of the scenarios. The studied dam is located in the village of Sumkino, Tobolsk district, Tyumen region, and is designed to protect the village from flooding during floods and floods of the Irtysh River and Sauskanovskoye Lake. Analysis of accident scenarios and calculations of the probability of occurrence of each scenario showed that the most probable dam failure is an accident according to the scenario «failure of the flood control dam due to loss of filtration strength». In case of failure of the dam or overflow of flood waters through it, 71.85 hectares of residential territory will fall under the flood zone, from which pollutants will be discharged from land resources and sewage systems into the water body.

В России на сегодняшний день насчитывается около нескольких десятков тысяч километров грунтовых дамб обвалования и планируется строительство и последующий вод в эксплуатацию новых дамб, многие гидротехнические сооружения бесхозны и потенциально опасны [1, 9]. При расчете размера вероятного вреда при аварии подпорных гидротехнических сооружений с целью установления величины финансового обеспечения ответственности за вред, необходимо определить зону возможного затопления с учетом тяжести последствий [4]. Меры по защите от наводнений выбираются на основе минимизации совокупного социального риска (ожидаемых денежных затрат), включая остаточный риск и затраты на противопаводковые мероприятия [3].

Противопаводковая дамба, расположенная в п. Сумкино Тобольского района Тюменской области, в начале и в конце примыкает к автомобильной дороге, образуя замкнутый польдер, что обеспечивает защиту территории поселка с юго-восточной стороны от затопления паводковыми водами реки Иртыш и оз. Саускановское.

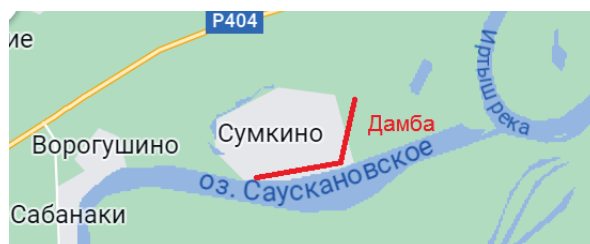
Ландшафтные особенности данной территории уникальны. Селитебная территория п. Сумкино расположена в левой пойме р. Иртыш, западнее от его русла, а с юга поселок примыкает к озеру Саускановское, имеющему вид обширной меандры, в которое впадает река Заимская (рисунок). Река Заимская на участке, защищаемом дамбой справа по течению, протекает через озеро Саускановское и впадает в р. Иртыш с левого берега. Площадь зеркала озера равна 2 км<sup>2</sup>. Берега реки Заимская и озера Саускановское местами закустарены и заболочены. Речка и озеро находятся в пойме р. Иртыш, их уровни весеннего половодья зависят от уровней этой реки.

Иртыш относится к типу рек с четко выраженным весенне-летним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и длительной устойчивой зимней меженью. Поверхностный сток составляет 71 %, подземный 29 % от годового. При этом поверхностный сток состоит из снегового (51 %) и дождевого (20 %). Река Иртыш пересекает различные природные зоны, поэтому характер водного режима весьма разнообразен. Средняя продолжительность половодья 135 дней, наименьшая – 96 дней, наибольшая – 191 день. Наивысшие уровни воды держатся 1...3 дня.

В результате проведенного анализа инженерно-геологических и природно-климатических условий расположения дамбы, современных конструктивно-компоновочных решений с учетом различных режимов эксплуатации, а также условий возникновения и развития аналогичных аварий на других гидротехнических сооружениях (ГТС), ООО ИТЦ «Запсибгидропром» были определены возможные аварии дамбы и выявлены их основные причины. Сценарии возможных повреждений и разрушений противопаводковой дамбы могут быть следующие:

- обрушение откосов дамбы при потере статической устойчивости сооружения;
- разрушение дамбы из-за потери фильтрационной прочности тела и (или) основания дамбы;
- разрушение дамбы при переливе воды через гребень [2, 5].

Анализ сценариев аварии и проведенные расчеты вероятности возникновения каждого сценария показали, что наиболее вероятной является авария дамбы



Ситуационный план расположения дамбы

по сценарию «отказ противопаводковой дамбы вследствие потери фильтрационной прочности». На защищаемой территории расположены жилые дома, нежилые строения, объекты транспорта и связи. Через образовавшийся проран в теле дамбы произойдет затопление защищаемой территории. Паводковые воды по естественному рельефу постепенно затопят защищаемую территорию до момента выравнивания уровней воды в водном объекте и на затопленной территории. Разрушение участка дамбы приведет к затоплению территории общей площадью 71,85 га и средней глубиной затопления 1,95 м.

Из этой площади на селитебную территорию, попадающую в зону затопления, приходится 53,2 га. При затоплении селитебной территории возможно поступление загрязняющих веществ в реку Иртыш и озеро Саускановское. В результате в природные воды попадут загрязняющие вещества, такие как взвешенные вещества, нефтепродукты и органические вещества (табл. 1). Возможный ущерб природной среде рассчитывался по методике [6].

В зоне затопления отсутствуют: оборудование гидроэлектростанций или предприятий и хранилища нефтепромышленного комплекса. Поэтому в реку и озеро загрязняющие вещества поступят с поверхностным стоком с селитебной территории и от затопленных или разрушенных систем канализации. С селитебной территории будет сброшено 33 835,2 кг загрязняющих веществ, а от затопления или разрушения систем канализации будет сбрасываться 194 368,75 т в сутки загрязняющих веществ (табл. 2).

В зоне затопления при аварии ГТС земли лесного фонда отсутствуют, поэтому ущерб лесам исключен. Таким образом, ущерб природной среде будет состоять только из ущерба водным объектам и составит 1,0247 млн руб.

Прогнозируя уровень воды в предстоящее половодье, мы отмечаем, что перелив воды через гребень

дамбы маловероятен, так как по условиям предыдущих двух лет уровень воды в реках Тюменской области катастрофически низкий [10], река Иртыш при этом не исключение. По данным гидропоста [8], находящегося в г. Тобольск, уровень воды в реке Иртыш на конец зимы 2023 г. составляет –29 см над нулем поста. Это примерно соответствует значениям двух предыдущих лет, в которые перелива через гребень дамбы не наблюдалось. Уровень неблагоприятного явления «выход воды на пойму» наблюдается на данном участке р. Иртыш при уровне 787 см, в 2021 г. максимальный уровень воды составил 479 см (21 мая), а в 2022 г. – 439 см (5 июня).

Таким образом, для предотвращения затопления территории необходим тщательный контроль состояния дамбы для исключения проран в ней. Визуальные обследования, замеры уровней воды в реке, техническое нивелирование с использованием реперов и автоматизированной телеметрической контрольно-измерительной аппаратуры являются достаточными для предупреждения и локализации аварий [7]. Постоянный мониторинг состояния дамбы позволяет оперативно принимать необходимые решения по выполнению эксплуатационных и аварийно-восстановительных работ, во всем мире для его проведения все чаще используют цифровые технологии и дистанционное зондирование [9].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Имитационное моделирование устойчивости ограждающих дамб реки Псекупс в условиях возрастающих статических и сейсмических воздействий / В.А. Волосухин, М.А. Бандурин, И.А. Приходько, И.Д. Евтеева // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 5(389). С. 459–463.
2. Горбачева Н.А., Гребенщикова Е.А., Шелковкина Н.С. Оценка возможных аварий и повреждений на гидротехнических сооружениях инженерной защиты // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях. Благовещенск, 2021. С. 324–330.
3. Dung Thien Nguyen. Risk-Based Planning and Optimization of Flood Management Measures in Vietnam – A Case Study in Phan-Calo River Basin // J. Ecol. Eng. 2023; 24(5).
4. Косарев С.Г., Босов М.А. Определение границ зон возможного затопления при аварии защитной дамбы в с. Толбага // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: материалы XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Чита, 2022. С. 127–131.
5. Носуля И.С. Прогнозирование возможных аварий на дамбе обвалования р. Абин в Абинском районе Краснодарского края // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 91–7. С. 146–148.
6. Об утверждении Методики определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений): приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору: [от 10 декабря 2020 г. № 516]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573191717> (дата обращения: 10.03.2023).
7. Пунтусов В.Г. Проектные решения по предупреждению и локализации аварий левобережной дамбы канала им. А. Матросова в Славском городском округе Калининградской области // Балтий-

Таблица 1

#### Расчет массы сброса загрязняющего вещества в природные воды и возможного ущерба

Вещество	Удельный вынос, кг/га	Общая площадь селитебной территории, га	Масса, кг/год	Ущерб, руб.
Взвешенные вещества	3000	53,2	31920	144 050,27
Нефтепродукты	40	53,2	425,6	34 698,72
Органические вещества (БПК <sub>20</sub> )	140	53,2	1489,6	2005,97
Всего			33 835,2	1 021 018,4

Таблица 2

#### Расчет массы сброса загрязняющего вещества в природные воды и возможного ущерба

Вещество	Масса сброса, т/сут	Ущерб, руб.
Взвешенные вещества	92 218,75	2433,1
Азот аммонийных солей	14 896,875	478,7
Фосфор фосфатов	2128,125	211,4
Органические вещества (БПК <sub>5</sub> )	85 125	558,5
Всего	194 368,75	3681,8

ский морской форум: материалы IX Международного Балтийского морского форума. В 6-ти томах. XIX Международная научная конференция. Калининград, 2022. С. 258–262.

8. Сайт AllRivers. Уровни воды онлайн. URL: <https://allrivers.info/gauge/irtysh-tobolsk/waterlevel> (дата обращения 06.04.2023).

9. Цифровые двойники напряженно-деформированного состояния для автоматизированного мониторинга гидротехнических сооружений / А.Н. Симутин, И.Д. Арсеньев, Е.А. Хотеев, А.В. Дейнеко // Гидротехническое строительство. 2022. № 12. С. 20–31.

10. Уфимцева М.Г., Уфимцев А.Е. Влияние ландшафтных особенностей на баланс влаги пашни [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2022. № 1. URL: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st\\_125.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st_125.pdf).

#### REFERENCES

1. Simulation modeling of the stability of protective dams of the Psekups River under conditions of increasing static and seismic impacts / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin, I.A. Prikhodko, I.D. Evteeva // International Agricultural Journal. 2022. No. 5(389). Pp. 459–463.

2. Gorbacheva N.A., Grebenshchikova E.A., Shelkovkina N.S. Assessment of possible accidents and damage to hydraulic engineering structures // Agro-industrial complex: problems and development prospects. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. In 2 parts. Blagoveshchensk, 2021. Pp. 324–330.

3. Dung Thien Nguyen. Risk-Based Planning and Optimization of Flood Management Measures in Vietnam – A Case Study in Phan-Calo River Basin // J. Ecol. Eng. 2023; 24(5).

4. Kosarev S.G., Bosov M.A. Determination of the boundaries of possible flooding zones in the event of a protective dam failure in the village. Tolbaga // Kulagin readings: equipment and technologies of production processes. Materials of the XXII International Scientific and Practical Conference. In 2 parts. Chita, 2022. Pp. 127–131.

5. Nosulya I.S. Forecasting possible accidents at the river embankment dam. Abin in the Abinsky district of the Krasnodar region // Trends in the development of science and education. 2022. No. 91–7. Pp. 146–148.

6. On approval of the Methodology for determining the amount of harm that may be caused to the life, health of individuals, property of individuals and legal entities as a result of an accident of a hydraulic structure (with the exception of shipping and port hydraulic structures): order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision: [dated December 10, 2020 No. 516]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573191717> (date of access: 03/10/2023).

7. Puntusov V.G. Design solutions for the prevention and localization of accidents on the left bank dam of the canal named after A. Matrosova in the Slavsky urban district of the Kaliningrad region // Baltic Marine Forum. Materials of the IX International Baltic Maritime Forum. In 6 volumes. XIX International Scientific Conference. Kaliningrad, 2022. Pp. 258–262.

8. AllRivers website. Online water levels. URL: <https://allrivers.info/gauge/irtysh-tobolsk/waterlevel> (access date 04/06/2023).

9. Digital twins of the voltage-strain state for automated monitoring of hydraulic structures / A.N. Simutin, I.D. Arsenyev, E.A. Khoteev, A.V. Deineko // Hydrotechnical Construction. 2022. No. 12. Pp. 20–31.

10. Ufimtseva M.G., Ufimtsev A.E. The influence of landscape features on the moisture balance of arable land [Electron. resource] // AgroEcoInfo: Electronic scientific and production journal. 2022. No. 1. URL: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st\\_125.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st_125.pdf).

**Кузнецова Анна Владимировна**, техник отдела гидротехнических сооружений, [kuznetsova.a.2002@yandex.ru](mailto:kuznetsova.a.2002@yandex.ru) (ООО «Инженерно-технический центр «Запсибгидропром»); **Уфимцева Марина Геннадьевна**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры экологии и рационального природопользования, [ufim@mail.ru](mailto:ufim@mail.ru) (ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья).

УДК 627.41

## ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА БЕРЕГОВОЙ ПОЛОСЫ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ ЯРОВОЕ



**Д.Е. КУПРИЯНОВ, Д.А. ЕФРЕМЕНКО, М.В. ГЛИСТИН**

**Ключевые слова:** инженерная защита береговой полосы, негативное воздействие вод, размыв берега, плановые деформации, рост уровня водоема, надводная пляжевая берма, береговая линия, обрушение берега, аккумуляция наносов.

**Keywords:** engineering protection of the coastal line, negative water impact, bank erosion, planned deformations, water level growth, overwater beach berm, shoreline, bank collapse, sediment accumulation.

В статье рассматриваются причины негативных воздействий вод на береговую полосу озера Большое Яровое и анализируются возможные профессиональные решения инженерной защиты береговой полосы. Рассматриваются основные факторы, влияющие на состояние береговой линии, такие как гидрологические, геологические и климатические условия. Описываются методы оценки и прогнозирования негативных воздействий вод и приводятся примеры инженерных решений для защиты береговой линии. Также рассматриваются вопросы экономической эффективности инженерных решений. В заключение статьи приводятся рекомендации по выбору наиболее эффективного технического решения инженерной защиты береговой линии озера с учетом конкретных условий.

The article considers the causes of negative impacts of water on the shoreline of Lake Bolshoye Yaroye and analyzes possible professional solutions for engineering protection of the shoreline. The main factors affecting the shoreline

condition, such as hydrological, geological and climatic conditions, are considered. Methods for assessing and predicting the negative impacts of water are described and examples of engineering solutions for shoreline protection are given. The cost-effectiveness of engineering solutions is also discussed. The article concludes with recommendations on the selection of the most effective technical solution for engineering protection of the lake shoreline, taking into account specific conditions.

Актуальность статьи обоснована активным обрушением берегового склона озера Большое Яровое Алтайского края. Освоение территорий с древних времен предполагало наличие самой важной составляющей жизни всего человечества: воды. Человек всегда использовал привлекательность прибрежного проживания, что связано не только с эстетическим восприятием, но и производственной необходимостью и качественным уровнем жизни [1]. Целью выполняемой работы является подбор профессионального решения для инженерной защиты береговой полосы озера Большое Яровое от негативного воздействия вод в пределах г. Яровое.

Главная задача статьи — выявление причин негативных воздействий вод на г. Яровое и на основании проведенного анализа предложение путей решения.

В физико-географическом отношении рассматриваемая территория расположена в западной части Кулундинской равнины на высоте 80 м над уровнем моря. К северному берегу озера вплотную прилегает г. Яровое.

Озеро относится к типу бессточных междуречных озер, не имеющих связи с реками и получающих

поверхностный приток в течение короткого времени (в период стока талых вод). В это время наблюдается выраженный подъем уровня воды, составляющий около 0,3...0,6 м. С мая по сентябрь испарение с водной поверхности превышает осадки и уровень постепенно снижается.

На территории района проектирования возможно периодическое достижение гидрометеорологических явлениями экстремальных величин, что связано с орографическими особенностями расположения. Опасные гидрометеорологические явления обуславливаются движениями атмосферы: синоптического масштаба (циклоны, атмосферные фронты), мезомасштабными (шквалы, облачные скопления, грозовые ячейки) и мелкомасштабными. В соответствии с СП 47.13330.2016 [2], СП 11-103–97 [3] опасные метеорологические процессы и явления, наблюдавшиеся на территории района проектирования и требующие учета при проектировании, обязательно учитываются.

Для определения величины плановых деформаций (размыва берегов) оз. Большое Яровое совмещены топографические карты 2003 и 2021 г., что позволило установить скорость размыва берегов (табл. 1).

Участок инженерной защиты береговой полосы на оз. Большое Яровое расположен на участке абразии, где плановые деформации берегов проявляются активно.

Средняя скорость размыва на участке инженерной защиты береговой полосы на оз. Большое Яровое, размываемого западного, северного и восточного берега, за период 17 лет (2003–2021 гг.), составляет 1,45 м/год.

Согласно акту обследования выделены три участка, подвергаемых регулярному, катастрофическому размыву. На данных участках необходимо осуществить инженерные мероприятия защиты берега от разрушения. Для удобства при проектировании участки разделены на этапы.

Первый участок располагается в северо-восточной части оз. Большое Яровое в районе золоотвала. Общая протяженность участка около 850 м. Вдоль берега расположены отвалы золы высотой 10...15 м. Берег сложен из суглинков, местами в акватории озера встречаются железобетонные конструкции. В восточной части аккумулятивный (неразрушающийся) участок протяженностью около 400 м.

Второй участок располагается в северо-западной части оз. Большое Яровое в районе жилой застройки. Общая протяженность участка около 600 м.

Вдоль берега расположены малоэтажные жилые дома по ул. Набережная. Участок занят жилыми, хозяйственными строениями и огородами, которые находятся на расстоянии 10...15 м от берега. Заборы неко-

торых участков частной собственности располагаются на клифе овражных берегов. Береговая линия волнистая в плане. Склон берега обрывистый. Высота клифа колеблется в пределах 5...7 м. Берега сложены в основном суглинками. Берег покрыт травянистой растительностью и имеет развитый дерновый слой.

На участке наблюдается выветривание пород клифа (осыпание и обрушение). При максимальных волнениях воды происходит активная абразия клифа.

Третий участок располагается в северной части оз. Большое Яровое в районе нежилой застройки. Общая протяженность участка около 500 м. На протяжении 280 м вдоль берега расположены капитальные гаражи. Далее вдоль берега располагается территория лечебного корпуса КГБУЗ Краевой лечебно-реабилитационно-го центра г. Яровое и администрация города.

Берег покрыт травянистой растительностью и имеет развитый дерновый слой.

Тип берега – обвально-абразионный с высотой клифа 7...10 м. Тип обрушения при подмыве основания берега обвально-обсыпной. Размыв берега происходит не равномерно, и бровка имеет на протяжении волнистый вид. В центральной части участка наблюдается процесс оврагообразования. Овраги вдаются в берег на 15...20 м, с шириной по верху в устье до 20 м и с глубиной 2...3 м.

Важнейшими факторами, определяющими эволюцию рельефа береговой зоны оз. Большое Яровое, как и других крупных водоемов, являются динамика его уровня и ветровое волнение. Справедливость этого утверждения доказывается как результатами многочисленных исследований на водохранилищах (объектах с весьма динамичным и управляемым уровнем) и морях [4], так и современным видом береговой зоны озера.

Ветер, дующий над поверхностью водоема, генерирует нерегулярные ветровые волны, параметры которых зависят от разгона (расстояния от подветренного берега до расчетной точки), скорости ветра и времени его действия, а также от глубины водоема.

Энергия обрушающихся волн частично рассеивается, а частично расходуется на перемещение слагающего дно материала в поперечном и вдольбереговом направлении, которое в свою очередь приводит к изменению рельефа береговой зоны: размыву в одних местах и аккумуляции в других.

Профиль относительного динамического равновесия описывается функцией Дина:

$$h(y) = Ay^{2/3},$$

где  $y$  – поперечная координата, изменяющаяся от 0 до  $h_{\text{бmax}}$  – глубины обрушения максимальной волны;  $A$ ,  $\text{м}^{1/3}$  – масштабный коэффициент профиля, зависящий в основном от крупности слагающего его материала (наносов), а также от отношения плотности материала к плотности воды (рис. 1). При построении графиков полагалось  $\rho_s = 2650 \text{ кг/м}^3$  – плотность песка. Отношение плотности материала к плотности воды  $s = \rho_s / \rho$ .

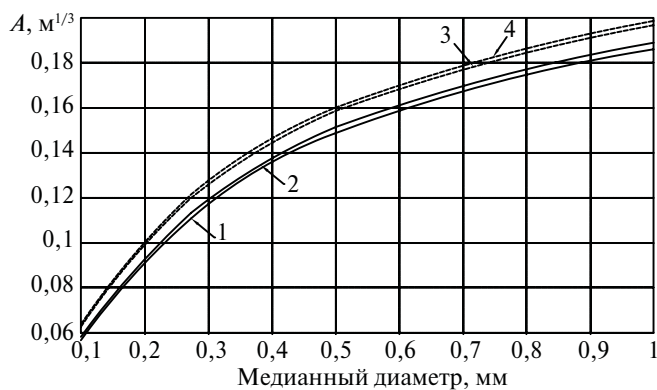
С ростом крупности наносов растет и крутизна профиля. Увеличение высоты волн ведет к перестройке профиля. Если на подводном склоне и на надводном пляже недостаточно материала для этого, происходит размыв коренного берега. При этом его склон подрезается, об-

Таблица 1

**Скорость размыва берегов за период 2003–2021 гг.**

Номер массива	Площадь, $\text{м}^2$	Фронт размыва, м	Средняя величина за период, м	Средняя скорость, м/год
1	43 162	4920	8,8	0,52 (ЗБ)
2	53 982	3404	15,9	0,93 (СБ)
3	219 563	4431	49,6	2,91 (ВБ)





**Рис. 1. Зависимость масштабного коэффициента профиля равновесия от крупности материала:**

1 –  $s=2,269$ ,  $\rho=1168$  кг/м<sup>3</sup> – рапа; 2 –  $s=2,345$ ,  $\rho=1130$  кг/м<sup>3</sup> – рапа; 3 –  $s=2,588$ ,  $\rho=1024$  кг/м<sup>3</sup> – морская вода; 4 –  $s=2,650$ ,  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup> – пресная вода

разуется береговой обрыв, высота которого постепенно возрастает по мере продолжения процесса разрушения.

Стремление берега сохранить равновесный профиль определяет и его реакцию на рост уровня водоема. При подъеме уровня, профиль стремится подняться на ту же величину, а необходимый для этого материал получается в ходе размыва берега, что ведет к отступанию профиля вглубь суши. Математически величина отступления ( $\Delta y$ , м) выражается правилом Бруна-Зенковича в модификации Эдельмана [5, 6]:

$$\Delta y = P \ln \left( \frac{h_{b \max} + B}{h_{b \max} + B - Z} \right)$$

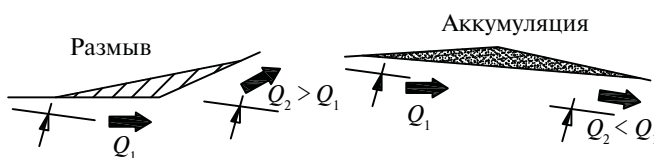
где  $P$  – длина профиля, м;  $Z$  – величина подъема уровня, м;  $B$  – высота берега до начала подъема, м;  $h_{b \max}$  – глубина обрушения волн, м.

При циклических колебаниях уровня перед фронтом коренного берега со временем образуется надводная пляжевая берма – пологонаклонная терраса, содержащая запас материала, необходимый для перестройки профиля в соответствии с правилом Бруна-Зенковича.

После построения профиля равновесия и бермы (надводного пляжа) коренной берег полностью изолирован от волновых нагрузок. Его дальнейшее развитие происходит под влиянием ветровой эрозии, поверхностного смыва и других не гидродинамических факторов, действие которых в целом направлено на превращение берегового обрыва в пологий склон, т. е. также на достижение некоторого равновесного состояния.

Несвязный материал, перемещаемый обрушающимися волнами вдоль берега, создает вдольбереговой поток наносов.

Участок береговой линии находится в равновесном состоянии, если результирующий поток наносов, т. е. сумма с учетом знака потоков от всех действующих волнений, остается постоянной. В случае дисбаланса вдольберегового потока происходит либо размыв берега – с него изымается необходимое для поддержания постоянства потока количество материала, либо аккумуляция наносов и выдвигание берега – поток избавляется от излишков материала (рис. 2).



**Рис. 2. Эволюция береговой линии в плане**

Из рис. 3 хорошо видна общая тенденция plano-вой эволюции береговой линии, направленная на ее сглаживание, что ведет к срезанию мысов и заполнению бухт.

На равновесных в целом берегах с увеличением длины разгона береговая линия разворачивается постепенно в направлении перпендикулярном господствующему волнению. Рост угла подхода компенсирует возрастание волновой энергии, и величина вдольберегового движения остается постоянной.

Длительность процессов достижения берегом равновесия по профилю и в плане различна. Равновесие в плане требует обычно на порядок больше времени (10 лет и более), чем выработка подводного профиля равновесия (несколько лет) [7, 8].

Результаты исследований показывают, что наибольшую опасность с точки зрения потерь прибрежной территории представляет рост уровня воды озера. Поскольку отступление берегов в данном случае объясняется потребностью в получении дополнительного материала для перестройки профиля, наиболее действенный способ защиты состоит в упреждающем удовлетворении этой потребности, т. е. в создании перед фронтом коренного берега соответствующего резерва несвязного рыхлого материала (песка), сосредоточенного в пляжевой берме (надводном пляже).

Искусственное снижение крутизны коренного берега может служить источником материала для формирования бермы. Поскольку крупность материала берегового обрыва невелика, такой способ подпитки следует дополнять отсыпкой более крупного материала из внешних источников (наземных карьеров).

Отсыпка материала в приурезовой зоне с воды невозможна из-за малых глубин и отсутствия соответствующего оборудования. Поэтому, необходимо будет освободить рабочее пространство в прибрежной полосе, для чего придется демонтировать постройки и вывести из оборота земельные участки, непосредственно примыкающие к кромке коренного берега. Эвакуация также потребует и при проведении работ по противодействию склоновым процессам (рис. 3).

Более выгодный вариант решения проблемы – строительство берегоукрепительного сооружения.

Расчет гребня сооружения и технико-экономическое сравнение вариантов было представлено для двух типов крепления берега: каменный банкет и шпунтовая стенка. Техничко-экономическое сравнение представлено в табл. 2.

Исходя из того, что эвакуация построек и выведение земельных участков из оборота не предоставляет возможным, было принято решение о строительстве берегоукрепительных сооружений для предотвращения дальнейшего подмыва и обрушения берега.

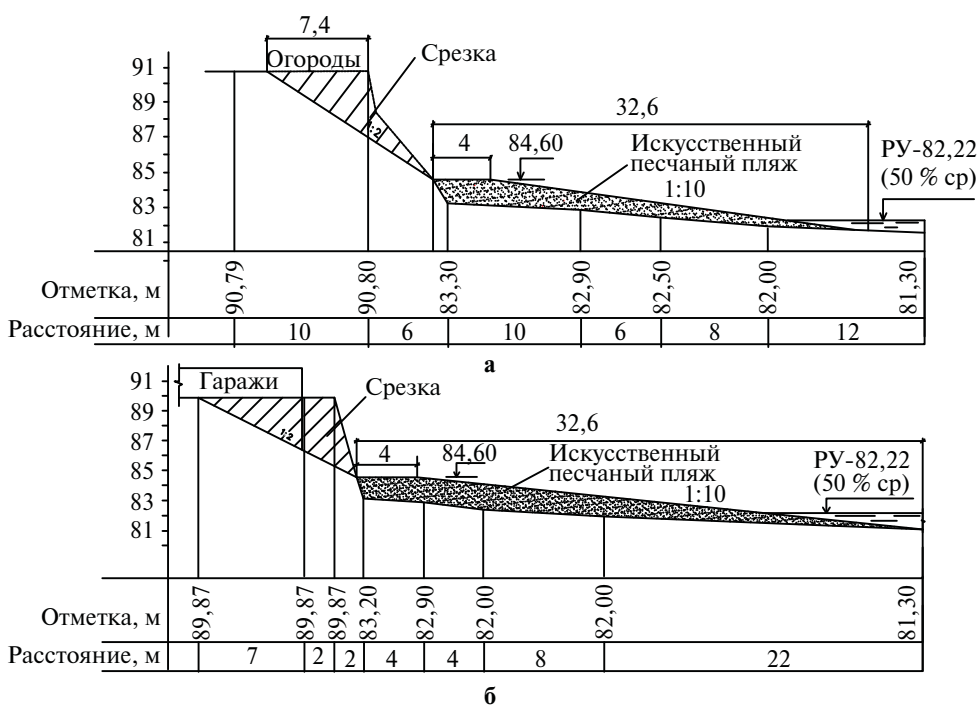


Рис. 3. Уполаживание откоса путем срезки: а – на участке 2; б – на участке 3

Таблица 2

Технико-экономическое сравнение вариантов

Наименование	1-й вариант (шпунт)	2-й вариант (банкет)
Протяженность крепления, м	1733	1810
Материалы:		
металлопрокат, т	63	—
шпунт, м <sup>2</sup>	9560	—
щебень, м <sup>3</sup>	1390	9130
геотекстиль, м <sup>2</sup>	6940	28500
песок (обратная засыпка), м <sup>3</sup>	20400	4710
песок крупный (для дренажа), м <sup>3</sup>	—	3920
камень проектной крупности, м <sup>3</sup>	—	47000
Стоимость СМР основных сооружений в ценах 2022 г., тыс. руб.	263494,3	168662,68

В качестве основного варианта для дальнейшего проектирования принимается каменный банкет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Динамика обработки береговой линии Новосибирского водохранилища / Т. Пилипенко, Е. Енаки, В. Беляева, В. Кофеева // sAFE 2021 OP Conf. Серия: Наука о Земле и окружающей среде 937 (2021) 042097 IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/937/4/042097.
2. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 (с Изменением № 1); дата введения 30 декабря 2016 г. М.: Стандартинформ, 2017.
3. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства; дата введения 10 июля 1997 г. М.: ПНИИС Госстроя России, 1997.
4. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
5. Бруун П. Повышение уровня моря как причина береговой эрозии // Журнал инженерии водных путей, портов, прибрежных районов и океана. 1962. Т. 88, № 117.

6. Эдельман Т. Эрозия дюн в штормовых условиях // Материалы 13-й Междунар. конференции по прибрежной Англии. Нью-Йорк: ASCE, 1972.

7. Сокольников Ю.Н. Инженерная морфодинамика берегов и ее приложения. Киев: Наукова Думка, 1976. 226 с.

8. Руководство по защите берегов. Изд-во Виксбург, штат Миссис: Министерство армии, Экспериментальная станция водных путей, Инженерный корпус, Исследовательский центр прибрежной инженерии; Вашингтон, округ Колумбия. Для продажи начальником отдела документов, U.S. G.P.O. 1984.

REFERENCES

1. Dynamics of processing of the Novosibirsk reservoir banks / T. Pilipenko, E. Enaki, V. Belyaeva, V. Kofeeva // AFE 2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 937 (2021) 042097 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/937/4/042097.

2. SP 47.13330.2016. Engineering surveys for construction. Basic provisions. Updated edition of SNiP 11-02-96 (with Amendment № 1): date of introduction 30 December 2016. M.: Standardinform, 2017.

3. SP 11-103-97. Engineering-hydrometeorological surveys for construction: date of introduction 10 July 1997. M.: PNIIS of Gosstroy of Russia, 1997.

4. Zenkovich V.P. Fundamentals of the doctrine of development of sea shores. M.: Izd-constitution of the Academy of Sciences of the USSR, 1962. 710 p.

5. Bruun P. Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion // Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. 1962. Vol. 88, No 117.
6. Edelman T. Dune Erosion during Storm Conditions // Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conference on Coastal Eng. N.Y.: ASCE, 1972.

7. Sokolnikov Y.N. Engineering morphodynamics of banks and its applications. Kiev: Naukova Dumka, 1976. 226 p.

8. Shore Protection Manual – Publisher Vicksburg, Miss.: Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center; Washington, DC: For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O. 1984.

Куприянов Даниил Евгеньевич, руководитель группы проектного отдела; Ефременко Дмитрий Анатольевич, ген. директор; Глистин Михаил Владимирович, канд. с.-х. наук, зам. ген. директора, info@zsgvh.ru (ООО «Запсибгипроводхоз»).



УДК 631.6

## ОБОСНОВАНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ ТОРФЯНИКОВ КАК СПОСОБ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ



**К. С. СЕМЕНОВА**

**Ключевые слова:** шлюзование, влажность, грунтовые воды, дренажный сток, торфяные пожары, увлажнение торфяников.

**Keywords:** sluicing, humidity, ground water, drainage runoff, peat fires, humidification of peat.

Торфяные пожары наносят огромный, часто невосполнимый экологический (выгорает плодородный горизонт, выделяются ядовитые газы, гибнет флора и фауна) и материальный ущерб. Торфяной пожар трудно потушить, т. к. в местах прогорания проваливаются дороги и подвезжающая

спецтехника, удаленность от источника воды создает дополнительные проблемы в оперативности. В статье рассмотрены основные способы увлажнения осушенных торфяников, обеспечивающих предупреждение возникновения пожара. Из рассмотренных вариантов способа увлажнения торфяных залежей выбран наименее затратный в строительстве способ увлажнения — шлюзование. Этот способ позволяет защитить торфяник от иссушения и повысить урожайность посевов травосмеси. На основе апробированной двумерной математической модели переноса влаги были получены основные показатели шлюзования за 53 года для трех вариантов расчета: при стандартном осушении и при шлюзовании с разными уровнями воды в регулирующих каналах. Рассчитаны и изучены влажность 25 см слоя торфяника, уровень грунтовых вод, сток с дренажной системы, подача воды для трех мелиоративных мероприятий. Согласно расчетам выбран оптимальный вариант шлюзования для борьбы с возникновением торфяного пожара и создания эффективных условий развития травопольной системы земледелия. Представлено сравнение дренажный сток с водоподачей для двух вариантов шлюзования за 53 года. Выбран вариант подачи воды, который составляет около 0,5 дренажного стока, не требующий дополнительных затрат на привлечение водных ресурсов.

Peat fires cause huge, often irreparable environmental damage (the fertile horizon burns out, poisonous gases are released, flora and fauna die) and material damage. Peat fire is difficult to extinguish, because roads and approaching special equipment fail in places of burning, the distance from the water source creates additional problems. The article discusses the main methods of humidification of drained peat bogs, providing fire prevention. From the considered variants of the method of humidification of peat deposits, the least expensive method of humidification in construction — sluicing. This method allows you to protect the peat bog from desiccation and increase the yield of grass mixture crops. On the basis of a proven two-dimensional mathematical model of moisture transfer, the main indicators of sluicing for 53 years were obtained for three calculation options: with standard drainage and with sluicing with different water levels in the regulating channels. The humidity of 25 cm of the peat bog layer, the groundwater level, drainage system runoff, water supply for three reclamation measures were calculated and studied. According to the calculations, the optimal sluice option was chosen to combat the occurrence of peat fire and create effective conditions for the development of a grass-field farming system. A comparison of drainage runoff with water supply for two sluice options for 53 years has been carried out. The water supply option has been selected, which is about 0.5 drainage runoff, which does not require additional costs for attracting water resources.

**Введение.** Ежегодно, особенно в засушливый период лета, поступает информация о пожарах в лесах и на торфяниках. За последние 30...40 лет можно выделить крупнейшие лесные и торфяные пожары по России в 1972 и 2010 г. В 1972 г. в центральной части России полыхали масштабные пожары на площади около 1,8 млн га, из них, в Московской области пострадало до 25 тысяч га. Обширные лесные и торфяные пожары 2010 г. привели к исчезновению значительной части лесов (до 4 млн га) Европейской части России и за-

дымлению крупных городов и прилегающих к пожарам территории вредными для животных и человека газами. Ущерб, нанесенный российским регионам природными пожарами, составил 85,5 млрд рублей [1].

Естественные насыщенные водой торфяники не горят или горят крайне редко, сильнее подвержены возгоранию осушенные торфяники. В результате осушения понижается уровень грунтовых вод и влажность не только торфяного месторождения, но и расположенных рядом территорий. В жаркий и засушливый период лета в результате интенсивного испарения и активной транспирации грунтовые воды понижаются и происходит иссушение всего почвенного профиля. В таких условиях торф может возгораться от любого источника огня, например, от брошенной непотушенной спички или сигареты, а также такой торф может самовозгораться при повышенной концентрации горючих газов, окислении кислородом, активации жизнедеятельности микроорганизмов.

Сам торф является твердым горючим топливом, содержащим от 75 до 90 % органического вещества, образующегося в анаэробных условиях, в результате неполного разложения остатков отмерших растений и продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. В основной состав торфа входят разные горючие элементы такие, как углерод, кислород, водород, азот, сера, для низинных торфяниках составляют 52,7...63,8, 24,73...39,52, 4,7...7, 0,5...4, 0,02...6,65 % от органической массы [2]. Также в органическую массу торфа входят пожароопасные вещества: битумы, целлюлоза и др. Например, битумы в низинном торфе могут составлять 1,2...12,5 %, содержание водорастворимых и легкогидролизуемых веществ находится в пределах 9,2...45,8 % и резко уменьшается с повышением степени разложения. Содержание целлюлозы в низинном торфе доходит до 9 %, гуминовых кислот растет при увеличении степени разложения и колеблется в пределах 5...55 % [2, 3].

Пожар на торфяниках — особый вид пожара, при котором горит весь слой торфяной залежи до минерального дна в режиме тления. Пожары на торфяных месторождениях трудно обнаружить, так как торф горит под землей. Подземный пожар распространяется в разных направлениях и не зависит от условий окружающей среды (дождя, ветра). Потушить пожар практически невозможно. Под верхним слоем почвы после прогорания торфа образуются каверны (пустоты), в которые проваливается пожарная техника, машины, разные виды животных. В жаркий период лета источники воды, способные обеспечить увлажнение горящего торфа, удалены от очага возгорания и труднодоступны.

После природных пожаров полностью исчезает плодородный торфяной горизонт, появляются пирогенные образования, покрытые золой, активно подверженные эрозии. Это негативно влияет на экологиче-

ское состояние окружающих территорий, например, загрязнение водных объектов пеплом. Пожары уничтожают ареалы обитания диких животных и территории хозяйственной деятельности человека, снижают разнообразие видов животных и растений.

Площадь торфяных месторождений Московской области составляет около 254,5 тыс. га, из них 75 тыс. га являются осушенными и пожароопасным. Основным способом осушения является понижение уровня грунтовых вод с помощью открытых каналов. Большая часть из них частично заросла и находится в неудовлетворительном состоянии. К таким осушенным торфяникам относятся участки Московской области (районы Шатуры, Орехово-Зуево, Луховицка и др.), расположенные на заболоченной низменности Мещеры.

Тушение торфяного пожара требует больших технических и финансовых затрат, но желаемый эффект не всегда достигается. Торф является мощным поглотителем воды, 1 кг сухого вещества торфа может удержать до 10...15 кг воды [3]. Для тушения требуются большой объем и расход воды (огнетушащих веществ) и соответствующих затрат на ее доставку.

Появление ежегодных пожаров свидетельствует о неправильном применении способа предупреждения возгорания и дальнейшего использовании осушенного торфяного месторождения. Целью работы является научно обосновать увлажнение с помощью шлюзования каналов для предупреждения возникновения пожара на осушенных торфяниках Московской области. В работе решались следующие задачи: провести анализ существующих способов увлажнения осушенных торфяников открытыми каналами, с помощью математической модели сравнить основные характеристики водного баланса для разных мелиоративных мероприятий и обосновать накопление вод местного стока для увлажнения. Некоторыми учеными считается, что влажность верхнего слоя торфа необходимо сохранять на уровне не менее 50...65 % ПВ (полной влагоемкости) [4] для предотвращения угрозы возникновения пожара. В таких условиях снижается содержание кислорода в торфе, а значит развивается процесс окисления и уменьшается риск появления цепной реакции горения кислорода с горючим веществами.

**Материалы и методы исследований.** В настоящее время на ранее осушенных торфяниках применяют основные способы увлажнения: затопление или обводнение, шлюзование открытых каналов, строительство дополнительной оросительной системы — дождевание. Выбор варианта увлажнения определяется типом водного питания, хозяйственного использования земель и технико-экономическими расчетами.

Обводнение подразумевает собой подачу воды по существующим каналам осушительной сети и максимальное повышения уровня грунтовых вод, т. е. полное затопление торфяника, при котором начинается интенсивное заболачивание. [5–7] В дальнейшем торфяник не используется. Тотальное затопление выгоревших торфяников не всегда является целесообразным, т. к. требует достаточно значительных объемов подаваемой воды, а в засушливые годы пожары повторяют-

ся, в результате уменьшения влажности за счет сброса воды элементами осушительной системы и испарения.

Одним из способов борьбы с пожарами считается реконструкция существующих мелиоративных систем и строительство систем двустороннего регулирования влажности почвенного профиля. На торфяниках грунтового типа питания, подстилаемых водопроницаемыми грунтами, применяют шлюзование каналов. Уровень грунтовых вод и влажность регулируется при помощи построенных шлюзов, установленных в голове (водозаборные) и устье (подпорные) каждого канала.

При шлюзовании каналов вода в осушители-увлажнители может подаваться через их устья или через истоки. При этом вода из источника орошения подается в магистральные каналы и каналы коллекторы, на которых располагаются водоподпорные шлюзы, а из них в осушители, используемые так же, как увлажнители. Для уменьшения неравномерности увлажнения шлюзы размещают таким образом, чтобы уровень воды между ними находился на 30...35 см ниже бровки. Если по условиям рельефа эта схема неприменима, то вода из источника поступает по каналу огражденной сети (нагорно-ловчому) или по специально построенному каналу и далее в осушительную сеть [5–7].

Для предупреждения возникновения пожаров на торфяниках применяют постоянное или периодическое увлажнение, последнее заключается в многократном подъеме уровней грунтовых вод закрытием шлюзов. В обоих случаях происходит наполнение каналов регулирующей сети и существует опасность подтопления части корней выращиваемых культур, что приведет к существенному снижению урожайности. Поэтому на таких системах используют травопольную систему земледелия и грунтовые воды поднимают ниже 0,4...0,5 м от бровки.

Следующий способ увлажнения — дождевание, при котором вода поступает в виде дождя специальной техникой на поверхность земли. Увлажнение дождеванием имеет такие преимущества как высокий коэффициент земельного использования, отсутствие потерь воды на испарение (при использовании закрытой сети трубопроводов), быстрая и равномерная подача воды, но также имеет недостатки — существенные капитальные и эксплуатационные затраты. Затраты на строительство системы могут компенсировать только при выращивании высокопродуктивных и дорогих культур (овощи, плодовые деревья). Требования к регулированию влажности корнеобитаемого слоя таких культур в разные фазы развития растения часто не совпадают с противопожарной влажностью торфяника, возникает риск возникновения пожара.

Для поддержания требуемой противопожарной влажности на существующих осушенных торфяниках Московской области предлагается создание систем двустороннего регулирования увлажнения с помощью шлюзования каналов. В качестве источников воды для орошения предлагается использовать пруды-накопители, которые аккумулируют воду местного и дренажного стоков, а при недостатке воды использование внешних источников — рек, озер и др.

Для оценки основных показателей создания осушительно-увлажнительных систем мы использовали двумерную модель влагопереноса в катене А.И. Голованова, апробированную двухлетними полевыми исследованиями на осушенных торфяниках поймы реки Дубны. Катена представляет собой цепочку взаимосвязанных общими геохимическими процессами природных комплексов, состоящего из возвышенности, склона, низины. В модели используется уравнение двумерного влагопереноса, позволяющая учитывать гравитационную и каркасно-капиллярную составляющие неполного насыщения водой пор почвы, т. е. полностью описывается потенциал влаги в почве при изменяющихся во времени метеоусловий, а также используются формулы, рассчитывающие продуктивность выращиваемых культур.

Вся исследуемая толща почвенного профиля разбивается на горизонтальные слои  $h_j$  ( $1 \leq j \leq N_{x-1}$ ), изменяющейся по длине от 0,1 м поверхности земли до 1 м от водоупора ( $1 \leq j \leq N_{x-1}$ ), и на вертикальные слои, образующие блоки постоянной ширины  $b_i, b_j$ . Поток влаги рассмотрен как двумерный, его конечно-разностный аналог записан, исходя из баланса влаги в  $i, j$ -м блоке, и имеет вид [8]:

$$Cw_{i,j}^{n+1} \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j}^n}{\Delta t} = \frac{H_{i,j-1}^{n+1} - H_{i,j}^n}{h_j R_{i,j-1}^B} - \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j+1}^n}{h_j R_{i,j}^R} + \frac{H_{i-1,j}^{n+1} - H_{i,j}^n}{b_i R_{i-1,j}^R} - \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i+1,j}^n}{b_j R_{i,j}^R} - e_{i,j}^n,$$

где  $H_{i,j}^{n+1}$  – напор на расчетный момент времени  $n + 1$ , м;  $e_{i,j}^n$  – расходование влаги на испарение;  $\Delta t$  – расчетный шаг по времени, сут.

При отсчете напоров от поверхности земли в самой высокой точке профиля, направленной вниз:

$$H_{i,j}^{n+1} = -\chi_{i,j} + \psi_{i,j}^{n+1},$$

где  $\psi_{i,j}^{n+1}$  – напор, эквивалентный каркасно-капиллярному давлению в зоне не полного насыщения ( $\psi < 0$ ) и эквивалентный гидростатическому давлению в зоне полного насыщения, м;  $Cw_{i,j}^{n+1}$  – коэффициент влагоемкости,  $\text{м}^3/\text{м}^4$ :

$$Cw_{i,j}^{n+1} = \frac{\partial \omega}{\partial H} = \frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n}{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j}^n} = \frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n}{\psi_{i,j}^{n+1} - \psi_{i,j}^n},$$

где  $\omega_{i,j}^{n+1}$  – объемная влажность почвы,  $\text{м}^3/\text{м}^3$  ( $\text{м}^3/\text{м}^3$  – кубический метр почвенной влаги).

При полном влагонасыщении коэффициент  $Cw = 0$ . Связь между каркасно-капиллярным потенциалом и влажностью почвы принята в виде (А.И. Голованов):

$$\frac{\omega - \omega_M}{p - \omega_M} = \exp \left[ - \left( \frac{\psi}{\mu h_k} \right)^n \right],$$

где  $p$  – пористость, единицы объема;  $\omega_M$  – максимальная гигроскопичность;  $h_k$  – высота капиллярного подъема, м;  $\mu, n$  – безразмерные эмпирические коэффициенты;  $R_{i,j}^B$  – вертикальное сопротивление потоку воды между центрами  $i, j$  и  $i, j + 1$  блоков, сут, представлено в виде:

$$R_{i,j}^B = 0,5 \left( h_j / K \omega_{i,j} + h_{j+1} / K \omega_{i,j+1} \right),$$

$R_{i,j}^R$  – горизонтальное сопротивление потоку влаги между центрами  $i, j$  и  $i + 1, j$  блоков, сут:

$$R_{i,j}^R = 0,5 \left( b_i / K \omega_{i,j} + b_{i+1} / K \omega_{i+1,j} \right),$$

где  $K\omega$  – коэффициент влагопроводности  $\text{м}^3/\text{м}/\text{сут}$ , зависящий от объемной влажности почвы  $\omega$ :

$$K\omega = K_\phi \left( \frac{\omega - \text{ВПК}}{p - \text{ВПК}} \right)^{3,5},$$

где ВПК – влажность разрыва капилляров или максимальная молекулярная влагоемкость по А.Ф. Лебевеву.

В модели учитываются суточное количество выпавших атмосферных осадков, накапливающиеся на поверхностном слое почвы. Расходная характеристика воды на испарение, зависящая от погодных условий, содержания влаги в почве, разделялось на граничное условие как испарение с поверхности почвы и транспирацию растений. В математической модели вода, попадающая в почву, инфильтруется в нижний слой почвы и распределяется пропорционально содержанию воды в почве и плотности корней, этот процесс в уравнение представлена в виде интенсивности отбора корнями растений влаги из объема почвы.

Определение напоров почвенной влаги представляет собой громоздкую вычислительную задачу, так как сводится к нахождению большого количества неизвестных (при принятой разбивке на блоки) с шагом около 1 сут на протяжении нескольких десятков лет. Следует также отметить существенную нелинейность этой системы уравнений, в которой емкостной коэффициент и проводимость существенно зависят от напоров почвенной влаги, следовательно, и от влажности почвы, что требует 3...7 итераций на каждом временном шаге. Поэтому алгоритм решения этой системы является метод матричной прогонки [6].

**Результаты и обсуждение.** С помощью двумерной модели было рассчитаны следующие варианты мелиоративных мероприятий согласно данным метеостанции Павловский Посад Московской области за период 53 года [8–10]:

- осушение с помощью дренажа, установленного на глубине 1...1,2 м, обеспечивающее требуемую норму понижения грунтовых вод. В сухие по увлажнению годы осушение приводит к иссушению верхнего слоя торфяника. Такие условия характерны на осушенных болот Московской области;

- увлажнение с помощью шлюзования, обеспечивающее подпор воды в канале на 0,8 м ниже поверхности земли.

- увлажнение с помощью шлюзования, обеспечивающее подпор воды в канале на 0,5 м ниже поверхности земли.

Основные результаты прогноза представленных вариантов увлажнения и осушения приведены в таблице.

По полученным результатам глубина грунтовых вод в среднем за 53 года при осушении торфяника составляют 1,1 м, при шлюзовании канала снижа-

**Результаты шлюзования торфяника Павлово-Посадского района Московской области  
(среднеарифметические показатели с 1959 по 2011 г.)**

Вариант	Атмосферные осадки, мм	Испарение, мм	Боковой приток, мм	Глубина грунтовых вод, м	Влажность торфа, в долях от пористости	Относительная урожайность	Дренажный сток, мм		
							Сброс из систематических дрен	Сброс из оградительной дрены	Подача в дрены
Стандартное осушение заболоченной территории	373	354	77	1,10	0,54	0,81	215	56	0
Увлажнение с помощью шлюзования канала до 0,8 м	373	361	46	0,82	0,64	0,94	342	68	170
Увлажнение с помощью шлюзования канала до 0,5 м	363	365	25	0,57	0,75	0,74	440	80	305

ется по мере заполнения водой канала до 0,82 и 0,57 м, а влажность в верхнем слое 25 см поднимается в среднем до 64 и 75 % пористости. Противопожарная влажность обеспечена в обоих случаях шлюзования канала, но при увлажнении с помощью шлюзования канала до 0,5 м от бровки наблюдается переизбыток влаги в почве. Это приводит к снижению урожая выращиваемых культур (разнотравья) до 0,74, то есть на 21 %, подаче воды большей в 1,8 раза в сравнении с шлюзованием канала до 0,8 м от бровки. Стандартное осушение заболоченной территории снижает урожайность до 0,81. Оптимальное значение урожайности близко к единице, и такой показатель достигается при увлажнении с помощью шлюзования канала до 0,8 м от бровки.

Увлажнение торфяника изменяет статьи водного баланса, наблюдается незначительное повышение испарения, связанное с увеличением влажности в почве, при осушении оно составляет 354 мм, а при шлюзовании канала до 0,5 м от поверхности земли увеличивается на 11 мм, а также снижение дренажного стока в речную сеть в сравнении с осушением торфяника. В целом наблюдается уменьшение дренажного стока на 31 и 56 мм в соответствии с вариантом шлюзования, что говорит об уменьшении промываемости торфяных почв, т. е. уменьшении выноса органических и минеральных веществ.

Суммарный дренажный сток равен разнице сброса из дрен (систематических и ловчих) и подачи воды для увлажнения. При увлажнении с помощью шлюзования канала до 0,5 м от поверхности земли сток составляет 240 мм, а при увлажнении с помощью шлюзования канала до 0,8...215 мм. При последнем шлюзовании подача воды равна примерно половине суммарного дренажного стока, значит нет необходимости в вовлечение дополнительного стороннего водоисточника. Но в экстремально сухие и жаркие периоды лета и годы может наблюдаться недостаток воды в увлажнение, тогда для устранения дефицита требуется строительство дополнительного пруда или поиск другого ближайшего источника воды.

**Выводы.** Для борьбы с пожарами на осушенных торфяниках Московской области предлагается строительство систем двухстороннего регулирования водного режима с использованием водоподпорных шлю-

зов. Такой способ увлажнения позволяет поддерживать противопожарную влажность, не нуждается в дополнительных затрат на строительство системы подземных трубопроводов, а также покупку дорогостоящей дождевальнй техники. На таких территориях предлагается выращивать многолетние кормовые травы, направленных на повышение плодородия почвы и уменьшения развития эрозии, и связанного с ним риском иссушения торфяного профиля.

Двухмерная математическая модель переноса влаги позволила рассчитать основные показатели осушения, двух вариантов шлюзования заболоченных торфяников Павлово-Посадского района для 53 лет. Поддержание уровня воды в каналах до 0,8 м от бровки обеспечивает противопожарную влажность до 0,64 доли пористости и увеличивает относительную урожайность до 0,94.

Согласно расчетам для увлажнения торфяников не требуется подача воды, так как дренажный сток с территории больше подачи воды. Существуют отдельные экстремально засушливые годы, в которых может наступить недостаток воды для обеспечения подпора в каналах (дренах). Для таких лет необходимо эффективное регулирование суммарных стоком и строительство пруда.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Царев В.А. Экономический ущерб, нанесенный природными пожарами в России в 2010 году // Лесотехнический журнал. 2012. № 3(7). С. 147–155.
2. Мисников О.С., Пухова О.В., Черткова Е.Ю. Физико-химические основы торфяного производства: учебное пособие. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. 168 с.
3. Рекультивация нарушенных земель: учебное пособие / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин, В.И. Сметанин; под ред. А.И. Голованова. М.: КолосС, 2009.
4. Оценка возможности устройства систем двойного регулирования влажностного режима пожароопасных выработанных торфяников на базе осушительной сети / В.Б. Жезмер, М.А. Вольнов, Е.Э. Головинов, С.В. Перегудов // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 1. С. 30–32.
5. Мелиорация земель: учебное пособие / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2015. 832 с.
6. Природообустройство: учебник / Ф.М. Зимин, Д.В. Козлов, И.В. Корнеев [и др.]. М.: КолосС, 2008. 552 с.
7. Мониторинг растительного покрова вторично обводненных торфяников Московской области / А.А. Сирин, М.А. Медведева, Д.А. Макаров [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65, № 2. С. 314–336.

8. Семенова К.С. Обоснование объема противопожарной водоподдачи при шлюзовании торфяников // Природообустройство. 2016. № 1. С. 84–90.

9. Семенова К.С. Оценка формулы определения испаряемости для создания осушительно-увлажнительных земель на осушенных торфяниках Мещерской низменности // Природообустройство. 2019. № 4. С. 23–28.

10. Семенова К.С., Каблук О.В. Методика мониторинга двустороннего регулирования влажности почвы при эксплуатации инженерных мелиоративных систем // Природообустройство. 2021. № 4. С. 23–30.

## REFERENCES

1. Tsarev V.A. Economic damage caused by natural fires in Russia in 2010 // Forestry Journal. 2012. № 3(7). Pp. 147–155.

2. Misnikov O.S., Pukhova O.V., Chertkova E.Y. Physico-chemical fundamentals of peat production: textbook for university students. Tver: Tver State Technical University, 2015. 168 p.

3. Reclamation of disturbed lands: a textbook / A.I. Golovanov, F.M. Zimin, V.I. Smetanin; edited by A.I. Golovanov. M.: KolosS, 2009.

4. Assessment of the possibility of setting up systems of double regulation of the humidity regime of fire-hazardous peat bogs on the basis of a drainage network / V.B. Zhezmer, M.A. Volynov, E.E. Golovinov, S.V. Peregudov // Melioration and water management. 2015. No. 1. Pp. 30–32.

5. Land reclamation: Textbook / A. I. Golovanov, I. P. Aidarov, M. S. Grigorov [et al.]. – 2nd ed., rev. and sup. St. Petersburg: Lan, 2015. 832 p.

6. Nature management: textbook / F.M. Zimin, D.V. Kozlov, I.V. Korneev [et al.]. M.: KolosS, 2008. 552 p.

7. Monitoring of vegetation cover of secondary watered peatlands of the Moscow region / A.A. Sirin, M.A. Medvedeva, D.A. Makarov [et al.] // Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences. 2020. Vol. 65, No. 2. Pp. 314–336.

8. Semenova K.S. Justification of the volume of fire-fighting water supply during the sluicing of peat bogs // Nature Management. 2016. No. 1. Pp. 84–90.

9. Semenova K.S. Evaluation of the formula for determining evaporation for the creation of drainage and humidifying lands on the drained peatlands of the Meshcherskaya lowland // Nature management. 2019. No. 4. Pp. 23–28.

10. Semenova K.S., Kablukov O.V. Methodology for monitoring bilateral regulation of soil moisture during the operation of engineering reclamation systems // Nature management. 2021. No. 4. Pp. 23–30.

**Семенова Кристина Сергеевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиорации, лесоводства и землеустройства, [kristi11.05.88@yandex.ru](mailto:kristi11.05.88@yandex.ru) (ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова).

УДК 556.166

## ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА МАЛЫХ ВОДОСБОРАХ ВОДОХРАНИЛИЩ МЕЛИОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



**А.Р. ХАФИЗОВ, А.В. КОМИССАРОВ, М.А. ЖИГУЛЕВ, А.Ф. ХАЗИПОВА, Л.А. КАМАЛЕТДИНОВА**

**Ключевые слова:** весеннее половодье, водохранилища мелиоративного назначения, водосбор р. Юрмаш, объем поверхностного стока, объемы воды весеннего половодья, осеннее увлажнение, криогенное состояние.

**Keywords:** spring flood, reclamation reservoirs, Jurmash river catchment, volume of surface runoff, volumes of spring flood water, autumn humidification.

В статье приводятся результаты исследований по оценке факторов весеннего половодья и определению объемов воды поверхностного стока весеннего половодья, поступающих в водохранилища мелиоративного назначения, при известных объемах воды весеннего половодья и осеннего увлажнения, а также криогенного состояния почвы на малых водосборах с большими уклонами и почвогрунтами средней водопроницаемости южной лесостепной зоны Республики Башкортостан. Изучение факторов весеннего половодья на малых водосборах южной лесостепной зоны Республики Башкортостан, рассмотрено на примере водосбора р. Юрмаш.

The article presents the results of studies on the assessment of spring flood factors and the determination of the volume of water from the surface runoff of the spring flood entering reservoirs for reclamation purposes, with known volumes of spring flood water and autumn moisture, as well as the cryogenic state of the soil in small catchments with large slopes and soils of average water permeability of the southern forest-steppe zone of the Republic of Bashkortostan. The study of the factors of spring flooding in the small catchments of the southern forest-steppe zone of the Republic of Bashkortostan, is considered on the example of the catchment of R. Yurmash.

В Республике Башкортостан для нужд орошения построены и находятся в работоспособном состоянии 234 водохранилища мелиоративного назначения общей емкостью 91 млн м<sup>3</sup>, составляющие 50 % от общего количества водохранилищ. Из них 35 % водохра-

нилищ находятся в южной лесостепной зоне республики и расположены, как правило, на малых водотоках (водосборах) [1, 2].

На малых водотоках отсутствуют систематические гидрологические наблюдения, и безопасная эксплуатация водохранилищ на них зависит от знаний особенностей формирования поверхностного стока на водосборах. Доля весеннего половодья рек Башкортостана составляет до 83 % годового стока, и безопасная эксплуатация водохранилищ, в первую очередь, предопределяется правильной оценкой объемов поверхностного стока весеннего половодья.

Объемы поверхностного стока весеннего половодья зависят от факторов весеннего половодья. Под факторами весеннего половодья подразумеваются факторы, формирующие поверхностный сток весеннего половодья. Поэтому правильная оценка факторов весеннего половодья и их всесторонний учет при организации пропуска паводка через водопропускные сооружения гидроузла водохранилищ является актуальной задачей.

Целью данной работы является оценка факторов весеннего половодья и их влияние на поверхностный сток, поступающий в водохранилище, на малых водосборах южной лесостепной зоны Республики Башкортостан.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- анализ факторов весеннего половодья и установление их многолетней динамики;
- учет влияния факторов весеннего половодья на поверхностный сток весеннего половодья.

Для изучения факторов весеннего половодья на малых водосборах южной лесостепной зоны Республики Башкортостан, выбрали водосбор р. Юрмаш площадью 137 км<sup>2</sup>.

Водосбор р. Юрмаш относится к южной лесостепной зоне в Правобережном Прибельском округе Прибельского придолинного района. Рельеф – увалисто-равнинный, расчлененный оврагами и балками со средним уклоном 51‰. Почвы – серые лесные и оподзоленные черноземы, грунты – легкие суглинки и супеси. Залесенность – слабая древесно-кустарниковая растительность (менее 5%) с преобладанием березовых лесов с примесью осины и вяза. Количество среднегодовых осадков составляет 809 мм, из них за вегетационный период – 301 мм (по метеостанции Уфа). Река не пересыхает и не замерзает, имеет преимущественно снеговое питание. На период весеннего снеготаяния приходится порядка 52% объема годового стока [3].

Река Юрмаш относится к малым водотокам с ярко выраженным весенним половодьем с одним пиком. Средние сроки половодья: начало – первые числа апреля, пик – конец апреля, конец – середина мая. Максимальные расходы и уровни наблюдаются ночью с продолжительностью несколько часов. Многолетние дождевые паводки по величине стока не превышают весеннее половодье. Сток реки в период летне-осенней межени устойчивый.

Факторами весеннего половодья принято считать: запасы воды в объеме снега на водосборе; дождевые осадки, выпавшие на поверхность водосбора в пери-



Рис. 1. Многолетняя динамика запасов воды в снеге (1), дождевых осадков (2) и суммарных объемов воды (3) в период половодья на водосборе р. Юрмаш

од весеннего половодья; степень осеннего увлажнения и глубина промерзания почв водосбора.

Запасы воды в объеме снега на водосборе определяются на основе данных ежегодных снегомерных съемок. Суть снегомерных съемок заключается в прокладке маршрутов, вдоль которых определяются мощности снежного покрова и плотности снега. Для получения достоверных данных, маршруты прокладываются с охватом всех основных элементов ландшафтов водосбора. При этом запасы воды в снеге вычисляются по стандартной методике [4]. Запасы воды в снеге на водосборе р. Юрмаш за 2015–2023 гг. находятся в пределах 12,3...29,4 млн м<sup>3</sup>, максимальный объем воды в снеге зафиксирован в 2017 г.

Второй фактор – дождевые осадки, выпавшие на поверхность водосбора в период весеннего половодья. Определяются на основе данных ФГБУ «Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», в нашем случае – по метеостанции Уфа. Часть осадков, выпавших на водосбор до снегомерных съемок, учитывается результатами этих съемок. Дополнительно учитывается только часть осадков, выпавших на водосбор, за период после снегомерной съемки и до окончания весеннего половодья. По водосбору р. Юрмаш за 2016–2023 гг. величины осадков колеблются в пределах 1,2...13,6 млн м<sup>3</sup> с максимумом в 2020 г.

Многолетние динамики запасов воды в снеге и дождевых осадков, выпавших в период половодья, на водосборе р. Юрмаш за 2016–2023 гг. приведены на рис. 1.

Анализ диаграммы показал, что величины суммарных объемов воды на водосборе в основном зависят от запасов воды в снеге. Но при этом, так же, необходим учет осадков, выпадающих после снегомерной съемки. Так, для 2020 г. не учет дождевых осадков уменьшает объем воды на водосборе на 32%, а в среднем за 2016–2023 гг. на 24%.

Долю поверхностного стока, поступающей с водосборной площади в водохранилище, можно прогнозировать через коэффициент поверхностного стока  $K_{пв}$ .  $K_{пв}$  определяется как отношение объема стока весеннего половодья, поступающего в водохранилище  $W_{ст}$  (в нашем случае Юрмашевское) к суммарному объему воды на водосборе  $W_{сум}$  (табл. 1).

Зная  $K_{пв}$  и суммарный объем воды на водосборе можно прогнозировать объем воды, поступающего в водохранилище в период весеннего половодья.

Средние значения объемов осеннего увлажнения  $W_{oy}$  (третий фактор) и глубин промерзания почвы  $h_{пп}$  (четвертый фактор) на малых водосборах, относящихся к бассейну реки Белая, можно принимать по опубликованным бюллетеням № 8 «Прогнозы элементов ледового и водного режима рек и водохранилищ в период весеннего половодья в бассейне р. Белая».

Значения глубин промерзания почвы на конец декады на период 2016–2023 гг. выбраны по данным метеопоста водобалансовой станции (Уфимский район) Уфимского УЭМВС ФГБУ «Управление «Башмелиоводхоз» (табл. 2).

Анализ табл. 2 показал, что между сравниваемыми параметрами нет прямой зависимости и для объективной оценки процесса формиро-

Таблица 1

Определение доли поверхностного стока

Год	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
$W_{ст}$ , млн м <sup>3</sup>	22,2	12,8	10,6	10,3	35,9	11,7	13,2	14,9
$W_{сум}$ , млн м <sup>3</sup>	29,9	36,7	20,9	17,9	42,0	22,7	33,0	25,6
$K_{пв}$	0,74	0,35	0,51	0,57	0,85	0,52	0,40	0,58



вания весеннего половодья необходим учет дополнительных факторов весеннего половодья. На наш взгляд, таким фактором может быть криогенное состояние почвы (мерзлое или талое) на водосборе в период весеннего половодья. Состояние почвы в период весеннего половодья можно установить, сопоставляя даты оттаивания (размораживания) почвы и начала весеннего половодья.

Таблица 2

Значения глубин промерзания почвы на конец декады на период 2016–2023 гг

Год	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
$W_{oy}$ , млн м <sup>3</sup>	15,6	8,2	10,3	10,	16,8	13,2	7,0	9,9
$h_{пп}$ , см	–15	–21	–79	–37	–30	–48	–25	–38
$W_{сум}$ , млн м <sup>3</sup>	29,9	36,7	20,9	17,9	42,0	22,7	33,0	25,6

Таблица 3

Сводная таблица параметров

Год	Объем, млн м <sup>3</sup>			Дата		Глубина промерзания почвы, см	Осеннее увлажнение почвы		Сток половодья, поступающий в водохранилище, млн м <sup>3</sup>	Состояние почвы**	$K_{пв}$
	воды в снеге на водосборе	дождевых осадков*	суммарной воды на водосборе	начала половодья	начала оттаивания грунта		мм	млн м <sup>3</sup>			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	19,5	10,4	29,9	27.03	10.02	–15	114	15,62	22,2	т	0,742
2017	29,4	7,3	36,7	01.04	10.02	–21	60	8,22	12,8	т	0,349
2018	12,3	8,6	20,9	10.04	30.04	–79	75	10,28	10,6	м	0,507
2019	16,7	1,2	17,9	25.03	31.03	–37	73	10,00	10,3	м/т	0,575
2020	28,4	13,6	42,0	16.03	20.01	–30	123	16,78	35,9	т	0,855
2021	19,6	3,1	22,7	01.04	10.04	–48	96	13,22	11,7	м	0,515
2022	24,4	8,6	33,0	01.04	31.03	–25	51	6,99	13,2	м/т	0,400
2023	22,7	2,9	25,6	20.03	31.03	–38	72	9,86	14,9	м	0,580

Примечание. \* дождевые осадки, выпавшие на водосбор за период после снегомерной съемки и до окончания весеннего половодья; \*\* т – талое, м – мерзлое, м/т – в начале половодья – мерзлое, к концу половодья – талое.

Для учета и анализа вышеизложенных факторов половодья составлена сводная таблица параметров, характеризующих процесс формирования весеннего половодья на водосборе р. Юрмаш (табл. 3).

Данные табл. 3 хорошо подразделяются на три группы по состоянию почвы в период половодья:

- первая: талые почвы, у которых  $K_{пв}$  зависит только от осеннего увлажнения и не зависят от глубины промерзания (2016, 2017, 2020 г.);
- вторая: мерзлые почвы, у которых  $K_{пв}$  зависит только от глубины промерзания и не зависят от осеннего увлажнения (2018, 2021, 2023 г.);
- третья: почвы, которые в начале половодья – мерзлые, к концу половодья – талые (2019, 2022 г.).

Анализ первой группы дает возможность установить зависимость  $K_{пв}$  от осеннего увлажнения почвы  $H_{oy}$ , мм. Значения  $K_{пв}$  для талых почв при слое осеннего увлажнения в пределах 60...123 мм меняются от 0,346 до 0,855. По данным табл. 3 (графы 8 и 12) построен график  $K_{пв} = f(H_{oy})$  при граничных условиях:  $K_{пв} = 0$  при  $H_{oy} = 0$  и  $K_{пв} = 1$  при  $H_{oy} = H_{ппв}$ , где  $H_{ппв}$  – слой воды, необходимый для полного заполнения пор почвы водой (рис. 2).

По графику на рис. 2 выведена аппроксимирующая зависимость в виде полиномиальной функции второй степени:

$$K_{пв} = 0,005H_{oy}^2 + 0,0047H_{oy} + 0,012.$$

Анализ второй группы показывает, что  $K_{пв}$  не зависит от значения глубины промерзания грунта и для мерзлого грунта колеблется в пределах 0,507...0,581.

Для предварительных прогнозных расчетов рекомендуется принимать среднее значение, равное 0,534.

Процессы, формирующие половодье у почв третьей группы, достаточно сложные, так как в период половодья меняется криогенное состояние грунта. Для предварительных прогнозных расчетов рекомендуется принимать среднее значение, полученное по первой и второй группам.

С учетом полученных зависимостей, рекомендуется следующий порядок оценки факторов весеннего половодья и определения доли поверхностного стока на малых водосборах, поступающей на водохранилища:

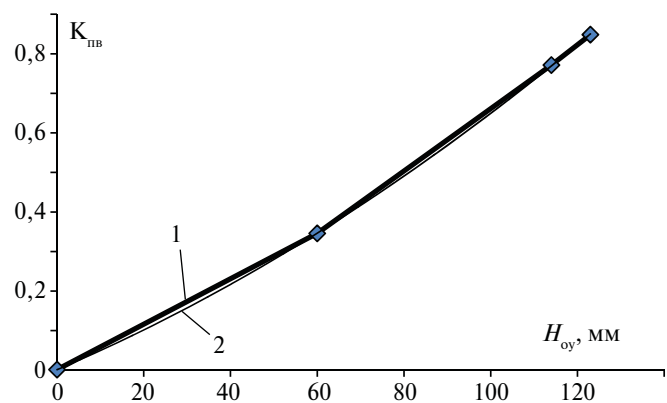


Рис. 2. Зависимость (1) коэффициента поверхностного стока  $K_{пв}$  от осеннего увлажнения почвы  $H_{oy}$  (2 – полиномиальная кривая)

1. На основе данных снегомерной съемки определяются объемы воды в снеге на водосборе.
2. По данным ФГБУ «Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» принимаются:
  - объемы дождевых стоков, выпавшие на водосбор за период после снегомерной съемки и до окончания весеннего половодья;
  - слой осеннего увлажнения почвы на водосборе;
  - по прогнозируемым датам начала половодья и оттаивания (размораживания) почвы устанавливается криогенное состояние почвы на водосборе.

3. В зависимости от криогенного состояния почвы (талое или мерзлое) в период весеннего половодья определяется  $K_{пв}$ : для талой почвы вычисляется по формуле (1), для мерзлой почвы принимается равным 0,534.

4. Прогнозируемый объем воды весеннего половодья, поступающего в водохранилище, находится как произведение суммы объемов воды в снеге (п. 1) и дождевых осадков (п. 2.1) на  $K_{пв}$  (п. 3).

Очевидно,  $K_{пв}$  также будет зависеть от уклона рельефа местности и типа почвы и подстилающих грунтов (почвогрунтов) на водосборе. Для подразделения  $K_{пв}$  от этих факторов можно воспользоваться классификацией А.Н. Костякова:

- по уклону местности: малый –  $<0,01$ , средний –  $0,01...0,05$ , большой –  $>0,05$ ;
- по типу почвогрунта: хорошо водопроницаемые – пески, супеси; средние водопроницаемые – легкие суглинки; ниже средней проницаемости – средние суглинки; слабопроницаемые – тяжелые суглинки, глины.

Зависимость  $K_{пв}$  от этих факторов можно установить при обработке значений весеннего половодья малых водосборов, имеющих различные уклоны рельефа местности и почвогрунты по предложенной методике.

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют оценить факторы весеннего половодья и определить объемы воды поверхностного стока весеннего половодья, поступающие в водохранилища мелиоративного назначения, при известных объемах воды весеннего половодья и осеннего увлажнения, а также криогенного состояния почвы на малых водосборах с большими уклонами и почвогрунтами средней водопроницаемости южной лесостепной зоны Республики Башкортостан.

УДК 631.6:626.86

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА



А. Ф. ПЕТРУШИН, Ю. И. БЛОХИН, А. В. ДОБРОХОТОВ

### ЛИТЕРАТУРА

1. Современное состояние и перспективы развития орошаемого земледелия в Республике Башкортостан / А.В. Комиссаров, А.Р. Хафизов, М.Г. Ишбулатов, А.Ф. Хазипова // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 1. С. 22–26.
2. Ишбулатов М.Г., Комиссаров А.В., Лыкасов О.Н. Пруды и водохранилища РБ // Состояние и перспективы увеличения производства высококачественной продукции сельского хозяйства: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Уфа, 2016. С. 45–48.
3. Choice of Melioration Facies Regimes Using Catenary-facies Models of Watersheds of the Forest-steppe Zone of the Republic of Bashkortostan / A. Khazipova, A. Chafizov, A. Komissarov, R. Mustafin, R. Zubairov // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2020. Vol. 17, no. 1. Pp. 19–26.
4. Комиссаров А.В., Ковшов Ю.А. Снегозапасы, как фактор формирования весеннего половодья в бассейне реки Таналык // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Уфа, 2011. С. 213–215.
5. Бюллетень № 8. Прогнозы элементов ледового и водного режима рек и водохранилищ в период весеннего половодья в бассейне р. Белая. Уфа: ФГБУ УГМС «Башгидромет»; Гидрометеорологический центр, 2016–2023. 4 с.

### REFERENCES

1. The current state and prospects of development of irrigated agriculture in the Republic of Bashkortostan / A.V. Komissarov, A.R. Hafizov, M.G. Ishbulatov, A.F. Khazipova // Melioration and water management. 2022. No. 1. Pp. 22–26.
2. Ishbulatov M.G., Komissarov A.V., Lykasov O.N. Ponds and reservoirs of the Republic of Belarus // The state and prospects of increasing the production of high-quality agricultural products: materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Ufa, 2016. P. 45–48.
3. Choice of Melioration Facies Regimes Using Catenary-facies Models of Watersheds of the Forest-steppe Zone of the Republic of Bashkortostan / A. Khazipova, A. Chafizov, A. Komissarov, R. Mustafin, R. Zubairov // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2020. Vol. 17, No. 1. P. 19–26.
4. Komissarov A.V., Kovshov Yu.A. Snow reserves as a factor in the formation of spring flooding in the Tanalyk River basin // Sustainable development of territories: theory and practice. Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference. Ufa, 2011. P. 213–215.
5. Bulletin No. 8. Forecasts of elements of the ice and water regime of rivers and reservoirs during the spring flood in the basin p. Belaya. Ufa: FSBI UGMS «Bashhydromet»; Hydrometeorological Center, 2016–2023. 4 p.

**Хафизов Айрат Райсович**, доктор тех. наук, профессор, [chafizov@mail.ru](mailto:chafizov@mail.ru); **Комиссаров Александр Владиславович**, доктор с.-х. наук, профессор, [alek-komissaro@yandex.ru](mailto:alek-komissaro@yandex.ru); **Хазипова Айгуль Фаргатовна**, канд. техн. наук, доцент, [aigul.hazipova@mail.ru](mailto:aigul.hazipova@mail.ru) (ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»); **Жигулев Михаил Анатольевич**, канд. экон. наук, директор, [fgbu02@mail.ru](mailto:fgbu02@mail.ru) (ФГБУ Управление Башмелиоводхоз); **Камалетдинова Лилия Айратовна**, вед. инженер, [lili-xa@yandex.ru](mailto:lili-xa@yandex.ru) (Башкирский филиал ФГБУ РосНИИВХ).

**Ключевые слова:** аэрофотосъемка, космический снимок, беспилотный летательный аппарат, дистанционное зондирование Земли, мелиорация, закрытый трубчатый дренаж, индикационные признаки, гидродинамическая промывка.

**Keywords:** aerial photography, satellite image, unmanned aerial vehicle, remote sensing of the Earth, land reclamation, closed tubular drainage, indicative signs, hydrodynamic flushing.

Построенные осушительные мелиоративные системы способно закрытого дренажа показали свою эффективность, так как они создают наиболее благоприятный водно-воздушный режим почвы, который способствует росту растений, особенно в период их

вегетации. Осушенные мелиорированные сельскохозяйственные угодья способом закрытых дренажей снижают мелкоконтурность, что повышает производительность техники и коэффициент земельного использования объекта мелиорации, а это существенно влияет на себестоимость выращиваемых культур на мелиорированном поле.

*В Нечерноземной зоне Российской Федерации насчитывается около 13 млн га переувлажненных сельскохозяйственных угодий, осушено было к концу 90-х годов прошлого столетия только около трети этих площадей. Все последующие десятилетия нового мелиоративного строительства закрытых осушительных систем в Нечерноземной зоне не проводили. Построенный закрытый трубчатый дренаж требует проведения регламентных ремонтно-эксплуатационных работ. Несвоевременное проведение очистки дренажей открытого и закрытого приводит к нарушению отвода влаги с мелиорированного поля, повышению уровня грунтовых вод, нарушению водно-воздушного режима почвы.*

*The constructed drainage reclamation systems by the method of closed drainage have shown their effectiveness, since they create the most favorable water-air regime of the soil, which promotes plant growth, especially during their growing season. Drained reclaimed agricultural lands by the method of closed drains reduce the shallow contour, which increases the productivity of machinery and the coefficient of land use of the reclamation object, and this significantly affects the cost of crops grown in the reclaimed field.*

*In the Non-Chernozem zone of the Russian Federation there are about 13 million hectares of waterlogged agricultural land, only about a third of these areas were drained by the end of the 90s of the last century. All subsequent decades of new reclamation construction of closed drainage systems in the Non-Chernozem zone were carried out. The constructed closed tubular drainage requires routine maintenance work. Untimely cleaning of open and closed drains leads to a violation of the removal of moisture from the reclaimed field, an increase in the groundwater level, a violation of the water-air regime of the soil.*

**В**ведение. Агрофизический научно-исследовательский институт на протяжении последних 10 лет проводит научные исследования по определению причин переувлажнения осушенных сельскохозяйственных угодий на опытно-производственных участках (ОПУ) мелиорации [1, 2]. При этом ремонтно-эксплуатационные мероприятия, за объектами исследований, землепользователями мелиорированных осушенных участков не проводились. Объекты построены способом осушения полей закрытым трубчатым дренажом на территории Ленинградской и Новгородской областях. Основным признаком, определяющим необходимость проведения ремонта мелиорированного поля, является его переувлажнение или вторичное заболачивание [6, 7]. Критерием такого состояния могут служить нарушенные сроки проведения полевых работ по причине слабой проходимости сельскохозяйственной техники по полям, изменение глубины залегания грунтовых вод и нарушения сроков их отвода из пахотного горизонта в соответствии с проектом, большая площадь вымочек и др.

Причиной, примерно в 80% случаев, нарушений проектной работы осушительного трубчатого дренажа, на исследуемых участках, были разрушения устьевых сооружений коллекторов и одиночных дрен, что приводило к закупорке грунтом их трубчатой полости [3]. Также разрушение узлов соединения коллектора с колодезем по причине его вымораживания из грунта, а отсутствие крышек люков на колодцах приводит к засорению колодцев растительностью и отходами жизнедеятельности человека. Известны неоднократные случаи выхода из строя трубчатых коллекторов по причине попадания через поврежденный колодец в коллектор пластмассовой бутылки, приводящий к закупорке полости коллектора и выхода из строя осушенного трубчатым дренажом мелиорированного поля площадью несколько десятков гектаров.

Найти причину переувлажнения и место повреждения осушительной мелиоративной системы задача не простая. Требуется специальная инженерная подготовка и практический опыт поиска причин и способов их устранения [4, 5]. В Агрофизическом институте было предложено направление исследовательских работ по поиску причин переувлажнения закрытого трубчатого дренажа дистанционными методами с помощью космических снимков и аэрофотосъемки беспилотными воздушными судами (БВС) с мультиспектральной камерой, а также способов восстановления его работоспособности.

**Материалы и методы.** Работы по мониторингу и оценке состояния осушительных мелиоративных систем проводились авторами на опытных полях Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института (Ленинградская область, Гатчинский район, д. Меньково). Общая площадь хозяйства составляет 538 га, координаты центра хозяйства 59°25' с. ш. 30°01' в. д.

Для проведения аэрофотосъемки мелиоративных объектов использовалось беспилотное воздушное судно (БВС) Геоскан-401 Агро с установленной на борту мультиспектральной цифровой камерами Micasense Rededge-MX. На борту БВС установлен геодезический Topcon B-111, а в качестве базовой станции используется GNSS-приемник Emlid Reach RS2.

После аэрофотосъемки, все полученные снимки обрабатывались в программном обеспечении Agisoft Metashape, что позволяло получить высокоточный ортофотоплан и цифровую модель местности.

Для работы с геоинформационными данными использовалось программное обеспечение с открытым кодом QGIS. Для восстановления работоспособности закрытой осушительной сети использовались рабочие органы, разработанные и изготовленные в Агрофизическом НИИ для гидродинамической промывки дрен и коллекторов, которые приводились в действие насосно-силовым оборудованием, смонтированным на транспортном средстве.

**Результаты и их обсуждение.** Применение БВС для мониторинга осушительной сети позволяет производить картирование подземных элементов закрытого трубчатого дренажа с высокоточной привязкой к местности. По характерным индикационным признакам на ортофотоплане выявляются полосы, характеризующие дренажи и закрытые коллекторы. Индикационными признаками является отличие растительности над дренажами (коллекторами) от основного покрова, на рисунке 2 на цифровой модели местности наблюдается увеличение биомассы растений над дренажами. В местах пересечения коллектора с открытой сетью отмечается точка устья (рис. 1).

В результате наземного обследования осушительной мелиоративной сети, согласно методическим рекомендациям разработанными специалистами Агрофизического института, был определен ее значительный нормативный ее износ, но основные элементы работоспособны, и при своевременном выполнении работ по очистке и частичному восстановлению коллекторов можно продлить срок эффективной работы дренажа. В большинстве случаев устьевые части дрен и коллекто-

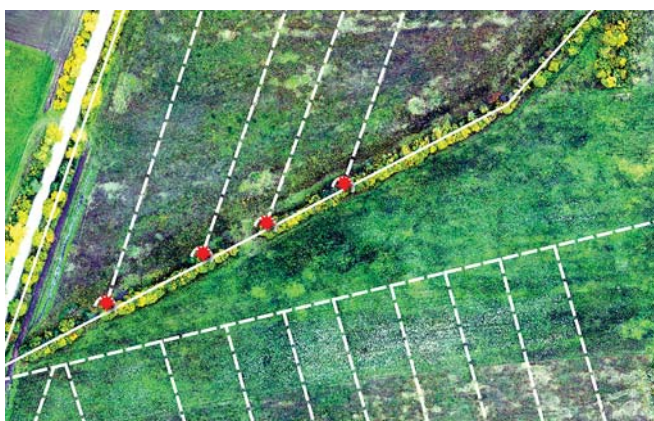


Рис. 1. Нанесенная по данным аэрофотосъемки осушительная сеть и отмеченные звездочкой устья дрен

ров нарушены в результате заилиenia и зарастания каналов, некачественного соединения устьевой трубы с коллектором, разрушения коллекторных трубок от промерзания на откосе канала, заилиenia и зарастания устьевой части коллекторов корнями растений. При зарастании устьев, их поиск весьма затруднителен, но установленный на борту БВС GNSS-приемник позволяет в конечном итоге получить ортофотоплан с сантиметровой точностью, т. е. точка, отмеченная на плане, может быть вынесена в натуру с точностью ±5 см, что позволяет достаточно точно определить на местности расположение устья и провести его обследование.

Оценить степень заилиenia по данным дистанционного зондирования не представляется возможным, поэтому для решения этой задачи использовалась телеинспекционная камера jProbe LXP 230-4000, которая позволяет с помощью видео-зонда оценить состояние коллектора/дрены на протяжении 40 м (рис. 2).

Наиболее распространенный вид неисправности закрытой дренажной сети – заилиenia устьевой части коллекторов. Отложения образуются вследствие заилиenia и зарастания каналов, закупорке устьев грунтом, растительными остатками, а также при высоком уровне поднятия воды в каналах. В связи с закупоркой устьевой части и снижением расхода дренажного стока заилиenia распространяется по всей длине коллектора, при этом наибольший объем отложений располагается на расстоянии 10...20 м от устья. Несоблюдение сроков своевременной очистки и восстановления повреждений устьевой части, приводит к последующему выводу из строя всей дренажной системы.

Для гидродинамической промывки устьевой части дренажной сети в Агрофизическом НИИ создан универсальный мобильный комплекс, состоящий в основном из стандартных покупных изделий, смонтирован-

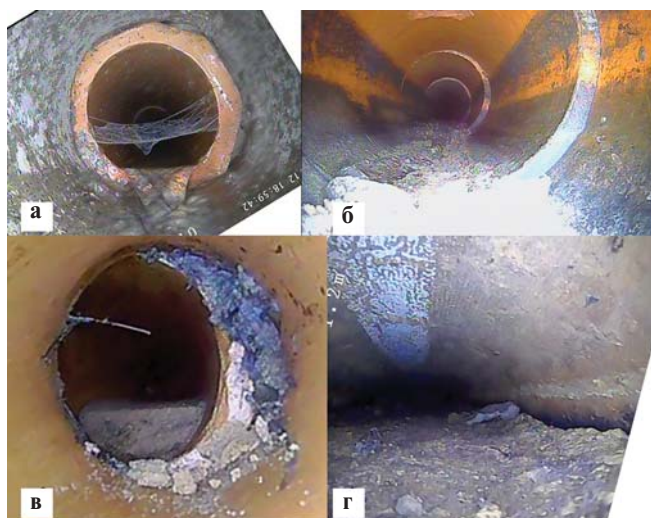


Рис. 2. Примеры изображений, получаемых телеинспекционной камерой:

- а – место соединения коллектора с асбестовой трубой;
- б – место соединения коллектора с дренай;
- в – смешение трубок и заилиenia коллектора;
- г – полностью заиленный коллектор

ный на легковой автомобильный двухосный прицеп. Краткие технические характеристики комплекса приведены в табл. 1.

В качестве рабочих органов использовались реактивная и фрезерная форсунки, разработанные и изготовленные специалистами Агрофизического института. Опытным путем получены расходы нормы расхода воды с зависимости от диаметра промываемого коллектора и степени заилиenia (табл. 2). Замеры проводились при промывке устья на длину 20 м.

Таблица 1

**Краткие технические характеристики мобильной гидродинамической установки**

Тип оборудования	Прицеп к автомобилю (трактору)	МЗСА 817737
Емкость для воды	Пластиковый куб в обрешетке	1 м <sup>3</sup>
Нагнетательный насос	Мембранный Bertolini PA/S 830 VC	40 бар, 76 л/мин
Заборный насос	Центробежный Honda WB 20 XT	3,2 бар, 250 л/мин
Промывочный напорный рукав	Армированный	DN 12, 45 бар, 50 п.м
Заборный рукав	—	DN 50, 4 п. м, 2 шт.
Лебедка ручная	Грузоподъемность	4000 кг
Форсунки к промывочному рукаву	Реактивная, фрезерная	По 1 единице
Технический эндоскоп	Для оценки состояния внутренней полости коллектора	40 п.м
Механическое устройство	Для разрушения грунтовых пробок в дрене	6 п.м
Обслуживающий персонал	Водитель, руслый ремонтер	2 чел.

Таблица 2

**Расход воды для промывки 20 м дрены/коллектора**

Диаметр дрены / коллектора, мм	Степень заилиenia, %		
	<30	30...50	>50
50	0,1...0,2	0,2...0,4	0,4...0,6
75	0,1...0,3	0,3...0,5	0,5...0,7
100	0,3...0,5	0,5...0,8	0,8...2,0

**Выводы.** Процессы деградации сельскохозяйственных земель представляют собой серьезную производственную и экологическую проблему общества как результат нерационального природопользования. Одним из ключевых факторов этих процессов является неэффективное использование существующих дренажных систем. Применение аэрофотосъемки к оценке состояния дренажных систем сельскохозяйственных полей представляется перспективным и недорогим подходом, позволяющим быстро и эффективно локализовать причину деградации осушительной системы.

Для восстановления работоспособности закрытого трубчатого дренажа возможно использование мобильной гидродинамической установки, которая позволяет с небольшими затратами воды промывать устья коллекторов.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского научного фонда в соответствии с соглашением от 2 апреля 2022 г. № 02/2022 и с финансированием Российского научного фонда, грант № 22-26-20082.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие мелиоративного комплекса: строительство, модернизация и техническое перевооружение: справ. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 88 с.
2. Руководство по мелиорации полей / Г.Г. Гулюк, Ю.Г. Янко, В.И. Штыков, М.Б. Черняк, А.Ф. Петрушин. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. 217 с.
3. Канцибер Ю.А., Золотов М.Е. Эффективность реконструкции осушительных систем в Ленинградской области // Реконструкция мелиоративных систем: сб. науч. тр. Л.: СевНИИГиМ, 1990. С. 54–62.
4. Мейер Г.Я., Кривonosов И.М. Применение аэрометодов для картирования закрытых дренажных систем // Труды лаборатории аэрометодов. Т. V. М.-Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1956. С. 83–106.

УДК 631.6:004.67

## ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕЛИОРАЦИИ БАСЕЙНА Р. УРАЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ



**В.Р. АКЧУРИНА, Н.М. ПОПОВА, Е.Л. РАТКОВИЧ**

**Ключевые слова:** мелиоративные системы, гидротехнические сооружения, цифровая база данных, водохозяйственные участки, картографическая основа, геоинформационная система (ГИС), ГИС-проект.

**Keywords:** reclamation systems, hydraulic structures, digital database, water management areas, cartographic basis, geoinformation system (GIS), GIS-project.

В статье описана разработка структуры и методы формирования цифровой базы данных объектов мелиорации бассейна р. Урал, создание ГИС-проекта в геоинформационной среде QGIS на картографической основе для визуализации и анализа картографических и цифровых данных по мелиоративным системам, для отображения технических

5. Мейер Г.Я. Дешифрирование по аэроснимкам закрытых дренажных систем // Аэрометоды изучения природных ресурсов: сб. науч. тр. М.: Географгиз, 1962. С. 282–286.

6. Методические указания по оценке мелиоративного состояния и проведения агро-мелиоративных мероприятий на осушаемых землях Ленинградской области. Л.: СевНИИГиМ, 1987. 31 с.

7. СП 100.13330 «СНИП 2.06.03–85. Мелиоративные системы и сооружения», утверждены приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 953/Пр.

REFERENCES

1. Development of the reclamation complex: construction, modernization and technical re-equipment: reference book. ed. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2021. 88 p.
2. Guide to field reclamation / G.G. Gulyuk, Yu.G. Yanko, V.I. Shtykov, M.B. Chernyak, A.F. Petrushin. St. Petersburg: FGBNU AFI, 2020. 217 p.
3. Kantsiber Yu.A., Zolotov M.E. Efficiency of reconstruction of drainage systems in the Leningrad region // Reconstruction of reclamation systems: collection scientific tr. L.: SevNIIGiM, 1990. P. 54–62.
4. Meyer G.Ya., Krivonosov I.M. Application of aerial methods for mapping closed drainage systems // Proceedings of the laboratory of aerial methods. Vol. V. M.-L.: Publishing House Acad. Sciences USSR, 1956. P. 83–106.
5. Meyer G.Ya. Interpretation from aerial photographs of closed drainage systems // Aerial methods for studying natural resources: Sat. scientific tr. M.: Geographgiz, 1962. P. 282–286.
6. Guidelines for assessing the reclamation state and carrying out agro-reclamation measures on drained lands in the Leningrad region. L.: SevNIIGiM, 1987. 31 p.
7. SP 100.13330 «SNIP 2.06.03–85. Reclamation systems and structures», approved by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 16, 2016 No. 953/Pr.

**Петрушин Алексей Федорович**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, [alfiks@mail.ru](mailto:alfiks@mail.ru); **Блохин Юрий Игоревич**, науч. сотрудник, [blohin3k4@gmail.com](mailto:blohin3k4@gmail.com); **Доброхотов Алексей Вячеславович**, канд. биол. наук, науч. сотрудник, [adobrokhotov@agrophys.ru](mailto:adobrokhotov@agrophys.ru) (ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт).

характеристик и состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, а также для выполнения расчетов водохозяйственного баланса с учетом водопотребления оросительными системами, расположенными в бассейне р. Урал. Подготовлены исходные данные для выполнения расчетов водохозяйственного баланса с учетом орошения.

The article describes the structure and methods development for the digital database formation of reclamation objects in the Ural River basin, the creation of a GIS project in the QGIS software on a cartographic basis for the visualization and analysis of cartographic and digital data on reclamation systems, to display the technical characteristics and state of reclamation systems and separately located hydraulic structures, as well as to perform calculations of the water management balance, considering water consumption by irrigation systems, located in the Ural River basin. Initial data have been prepared for performing calculations of the water management balance, considering irrigation.

Цифровая база данных (ЦБД) объектов мелиорации по Оренбургской, Челябинской областям и Республике Башкортостан включают данные первичной информации официальных информационных ресурсов Минприроды России и Минсельхоза России, а именно, сведения: по инвентаризации мелиорированных

земель и мелиоративных систем различной собственности 2010–2021 гг., Государственного водного реестра, по паспортизации государственных мелиоративных систем и систем, отнесенных к государственной собственности, статистической отчетности по форме 2ТПводхоз, а также информационных ресурсов ФГБНУ ВНИИ «Радуга», где представлены материалы территориальных ФГБУ «Управление мелиорации» Департамента мелиорации Минсельхоза России. Все исходные данные стали основой для формирования ЦБД по мелиоративным объектам федеральной собственности и собственности субъекта федерации [1–4].

Данные о мелиоративных системах федеральной собственности, находящиеся на балансе ФГБУ Республики Башкортостан, Челябинской и Оренбургской областей, представлены на информационном портале ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [5]. На сайте также имеются сведения о МС собственности субъекта федерации по Республике Башкортостан. Информация о МС другой собственности (субъекта федерации, муниципальной и частной) для областей Оренбургской и Челябинской приведена по данным инвентаризации за 2014 г.

Цифровая база данных включает информацию за 10-летний период о мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях по состоянию на 01.01.2022, находящихся в ведении Минсельхоза РФ.

Собранная информация разбита на несколько информационных блоков:

- сведения о мелиоративных системах (МС); показателях по оценке мелиоративного состояния орошаемых и осушенных земель, поливах, посевных площадях, подачи воды, техническом состоянии МС (за 10 лет, бассейна р. Урал);
- сведения о составе мелиоративных систем;
- сведения об отдельно расположенных гидротехнических сооружениях.

Каждый блок представлен таблицей в Excel и включает в себя характеристики МС в целом, а также характеристики гидротехнических сооружений, входящих в состав МС.

Гидротехнические сооружения (ГТС) классифицированы по видам применительно к оросительным и осушительным системам. Для каждого вида ГТС определен набор основных технических характеристик, определяющих работу ГТС. Все ГТС федеральной собственности, входящие в МС, характеризуются наименованием, местоположением и значениями технических характеристик. Отдельно расположенные ГТС представляются собственным набором данных этой группы.

Структура первого блока Excel-файла (сведения о мелиоративных системах) включает следующие показатели: координаты размещения МС, площадные показатели, информацию о поливах, площади посевов с разбивкой на культуры, КПД МС.

База данных объектов мелиорации включает:

- по республике Башкортостан: 33 МС федеральной собственности (13 оросительных систем, 11 осушительных систем, 9 отдельно расположенных гидротехнических сооружений); 51 МС – собственность

субъекта федерации (46 оросительных систем и 5 отдельно расположенных ГТС). Из них пригодных к эксплуатации оросительных систем 13 шт. хотя износ оборудования по ним составляет более 80%. Остальные МС требуют проведения восстановительных работ.

- по Оренбургской области: 7 МС федеральной собственности (7 оросительных систем) и 36 ГМС частная собственность [6]

- по Челябинской области: 3 МС федеральной собственности и 156 частная собственность [6].

Для визуализации и анализа числовых данных по мелиоративным системам, а также для отображения технических характеристик и состояния МС и отдельно расположенных гидротехнических сооружений на картографической основе создан ГИС-проект. В разработанном проекте слои картографической информации охватывают Оренбургскую, Челябинскую области и Республику Башкортостан.

При создании ГИС-проекта использовалась геоинформационная система Quantum GIS (QGIS) [7]. ГИС включают в себя интерактивную детализированную цифровую карту местности с информацией об объектах, дающую возможность визуализировать, управлять, редактировать и анализировать данные.

В качестве основы для разрабатываемого ГИС-проекта использовались карты из открытых источников:

- SRTM (Shuttle radar topographic mission) – высокоточная карта с высотной информацией о рельефе и водной поверхности земного шара.

- World Street Map – свободно используемая система геопространственных данных, включающая в себя информацию о водных объектах, объектах инфраструктуры и крупных населенных пунктах.

- ESRI World Topo – карта предназначена для использования в качестве базовой карты специалистами в области ГИС и в качестве справочной карты любым пользователем. Карта включает административные границы, города, водные объекты, физико-географические объекты, парки, достопримечательности, автомагистрали, дороги, железные дороги и аэропорты, наложенные на растительный покров и заштрихованные рельефные изображения для дополнительного контекста.

Исходные топографические карты, полученные из сети интернет, представляют собой растровые изображения формата JPG. Также использовались файлы, сканированные с атласов и литературных источников, которые с помощью инструмента привязки по контрольным точкам в программе были наложены на соответствующую топографию в системе координат WGS84.

На основе полученных данных были созданы тематические карты: административно-территориальная карта Оренбургской, Челябинской областей и Республики Башкортостан, карта водохозяйственных участков бассейна реки Урал, для определения расположения МС в конкретном водохозяйственном участке.

Созданный в QGIS проект включает следующие векторные слои:

- регионы (Республика Башкортостан, Челябинская область, Оренбургская область);

- мелиоративные системы Республики Башкортостан;
- мелиоративные системы Челябинской области;
- мелиоративные системы Оренбургской области;
- водохранилища;
- реки;
- водохозяйственные участки (ВХУ)
- гидрографическая сеть бассейна р. Урал.

Информация о показателях МС и их расположении на картографической основе формируются из цифровой базы данных объектов мелиорации. В структуру атрибутивных таблиц включены поля таблиц пояснения, которые отражают взаимосвязи полей цифровой базы данных с полями атрибутивных таблиц. Для оптимизации работы в ГИС существуют способы, позволяющие получать детализацию данных из цифровой базы по заданным критериям с помощью средств, встроенных в QGIS.

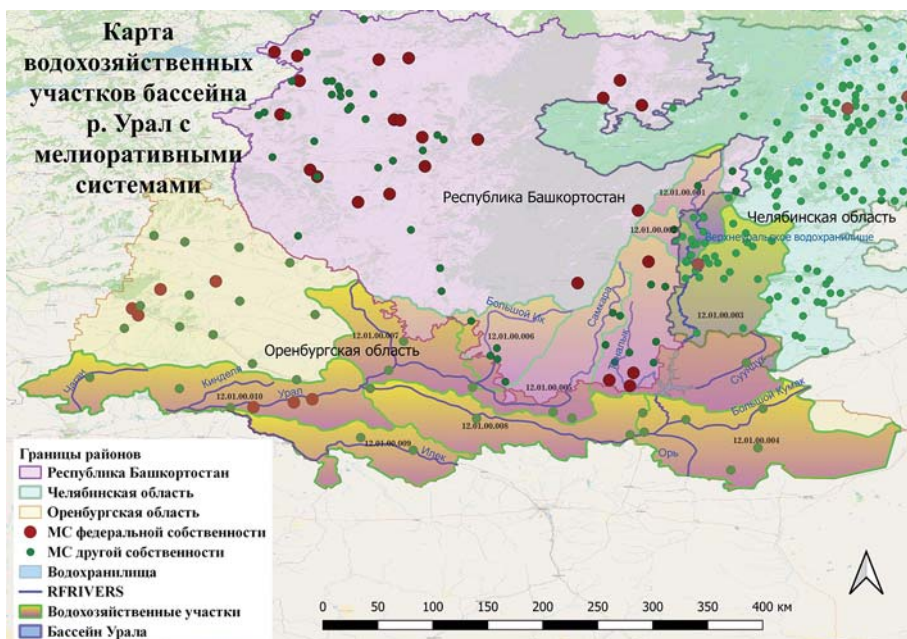
Для визуализации объектов мелиорации в QGIS необходимо связать информацию об их местонахождении на карте, со сведениями из загруженных в проект атрибутивных таблиц, сформированных из созданной цифровой базы данных. В результате выполнения такой связи были получены векторные слои с информацией о МС Республики Башкортостан, Оренбургской и Челябинской областей.

Для определения местоположения мелиоративных систем, находящихся в границах бассейна реки Урал, была оцифрована карта бассейна р. Урал и в ГИС-проект добавлен аналогичный слой с границами бассейна р. Урал на картографической основе отбирались МС, входящие в бассейн реки.

Проверка принадлежности МС к бассейну р. Урал так же осуществлялась по данным Государственного водного реестра по показателям ЦБД «Водоисточник» и «Водоприемник» [8].

Для выполнения анализа влияния орошения на дефицит водных ресурсов в бассейне р. Урал сформированные исходные данные по мелиоративным системам, включая показатели по водозабору для нужд орошения на 2020 г. и площади орошаемых земель в границах мелиоративных систем были привязаны к конкретному водохозяйственному участку.

Для этого была оцифрована карта водохозяйственных участков территории Российской Федерации для бассейна р. Урал и в ГИС-проект добавлен соответствующий слой. При активизации слоя с границами бассейна р. Урал, водохозяйственными участками и мелиоративными си-



Определение расположения МС в конкретном водохозяйственном участке

стемами была определена принадлежность МС к конкретному ВХУ (рисунок, таблица). Полученные данные использовались при составлении водохозяйственного баланса водохозяйственной системы бассейна р. Урал.

В результате проведенных исследований была разработана и визуализирована цифровая база данных объектов мелиорации бассейна р. Урал, определен перечень водных объектов российской части р. Урал. С помощью геоинформационной системы QGIS создана цифровая детализированная карта с необходимой информацией для МС из сформированной ЦБД. Разработанную ЦБД можно актуализировать, преобразо-

Основные показатели по водохозяйственным участкам

Код ВХУ	Вид собственности МС	Орошаемых, тыс. га	Фактически полито, тыс. га	Годовой объем водозабора (факт), тыс. м <sup>3</sup>
<b>Республика Башкортостан</b>				
12.01.00.002	Субъект РФ	0,375	0	0
12.01.00.003	Федеральная	5,186	2,4	3600
12.01.00.003	Субъект РФ	1,290	0	0
12.01.00.005	Субъект РФ	0,709	0	0
12.01.00.006	Субъект РФ	0,164	0	0
<b>Оренбургская область</b>				
12.01.00.003	Субъект РФ	0,264	0,070	0
12.01.00.004	Субъект РФ	12,129	1,125	0
12.01.00.005	Субъект РФ	1,25	0,220	0
12.01.00.007	Субъект РФ	3,076	1,350	0
12.01.00.008	Субъект РФ	3,362	4,234	0
12.01.00.009	Субъект РФ	1,447	0,882	0
12.01.00.010	Федеральная	10,311	6,949	24486,41
12.01.00.010	Субъект РФ	2,012	1,070	0
<b>Челябинская область</b>				
12.01.00.002–12.01.00.003	Федеральная	1,42	0	0
12.01.00.003	Субъект РФ	15,922	1,526	2606

вывать, изменять структуру базы данных, с целью улучшения эффективности ее использования [9]. Цифровая база данных была использована для формирования исходных данных при расчетах водохозяйственного баланса и при анализе выполненных расчетов для водосборной территории трансграничного бассейна р. Урал в естественных условиях и при орошении, а также при определении водообеспеченности сельскохозяйственного водоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 29 мая 2007 г. № 138 «Об утверждении формы государственного водного реестра» (с изм. и доп. от: 17 ноября 2016 г., 4 декабря 2017 г., 13 июня 2018 г., 7 октября 2019 г., 24 января 2020 г., 18 ноября 2021 г.).
2. Постановление Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» (с изм. и доп. от: 22 апреля, 17 октября 2009 г., 13 июля, 14 ноября 2011 г., 5 июня 2013 г., 18 апреля 2014 г.).
3. Административный регламент Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по исполнению государственной функции по ведению учета мелиорированных земель (приказ Минсельхоза России от 27 января 2009 г. № 33).
4. Административный регламент Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по предоставлению государственной услуги по паспортизации государственных мелиоративных систем и отнесенных к государственной собственности отдельно расположенных гидротехнических сооружений (проект).
5. Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: <http://inform-raduga.ru>
6. Инвентаризация мелиорированных земель и мелиоративных систем различной собственности (проводилась в 2010–2013 гг. в соответствии с указанием Минсельхоза России от 05.10.2010 № ЕС-20-27/9931).
7. QGIS. Бесплатная географическая информационная система с открытым исходным кодом [Электронный ресурс]. URL: <http://qgis.org>
8. Поиск по данным Государственного водного реестра [Электронный ресурс]. URL: (<https://textual.ru/gvr/>)

9. ГОСТ 20886–85. Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения.

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated May 29, 2007 № 138 «On approval of the form of the state water register» (with amendments and additions dated: November 17, 2016, December 4, 2017, June 13, 2018, October 7 2019, January 24, 2020, November 18, 2021).
2. Decree of the Government of the Russian Federation of April 10, 2007 № 219 «On approval of the Regulations on the implementation of state monitoring of water bodies» (with amendments and additions from: April 22, October 17, 2009, July 13, November 14, 2011, 5 June 2013, April 18, 2014).
3. Administrative Regulations of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation for the execution of the state function of maintaining records of reclaimed lands (Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated January 27, 2009 No. 33).
4. Administrative regulations of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation for the provision of state services for certification of state reclamation systems and separately located hydraulic structures classified as state property (draft).
5. Information portal of the Federal State Budgetary Institution All-Russian Research Institute «Raduga» [Electronic resource]. URL: <http://inform-raduga.ru>
6. Inventory of reclaimed lands and reclamation systems of various properties (carried out in 2010–2013 in accordance with the instructions of the Ministry of Agriculture of Russia dated October 5, 2010 No. EC-20-27/9931).
7. QGIS. Free open source geographic information system [Electronic resource]. URL: <http://qgis.org>
8. Search according to the State Water Register [Electronic resource]. URL: (<https://textual.ru/gvr/>)
9. Russian National Standard (GOST) 20886–85. Organization of data in data processing systems. Terms and Definitions.

**Акчурина Венера Равильевна**, ст. науч. сотрудник, [evenera@yandex.ru](mailto:evenera@yandex.ru); **Попова Наталья Михайловна**, ст. науч. сотрудник, [natasa49@yandex.ru](mailto:natasa49@yandex.ru); **Раткович Евгений Львович**, мл. науч. сотрудник, [piromantum@gmail.com](mailto:piromantum@gmail.com), отдел мелиоративно-водохозяйственного комплекса (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»).

УДК 631.474

## ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА И ГЕОСТАТИСТИКА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКЕ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ



Ю. Г. ЗАХАРЯН, Ю. Г. ЯНКО

**Ключевые слова:** глобальное потепление, геостатистика, вариограммный анализ, кригинг, мелиорация, структурная функция.

**Keywords:** global warming, geostatistics, variogram analysis, kriging, melioration, structural function.

При применении геостатистики в сельскохозяйственной науке получаемый эффект от дифференциации

агротехнологических решений будет максимальным и соответствующее разделение территории может интерпретироваться как перспективная задача экономически оптимального районирования с использованием дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. В комплексном плане предусмотрена необходимость действий в условиях неопределенности оценок будущих изменений климата и их последствий по минимизации рисков и разработке государственной стратегии, адаптации агротехнологических решений к пространственно-временной неоднородности сельскохозяйственных территорий к изменениям климата. Представляется, что дальнейшие работы по реализации климатической доктрины Российской Федерации должны основываться настройной системе оценок кригинга с внешним дрейфом научно обоснованных климатиче-

ских рисков, доведенной до практического использования, и вытекающих из нее мер адаптации агротехнологических решений в пространственно-временном континууме ( $D \times T$ ) с учетом глобального потепления климата. Развитие ключевых направлений научных исследований, проводимых при поддержке ГРОКО — это разработка практических подходов к интеграции знаний о глобальном потеплении климата в процессы принятия решений (с использованием доступных для климатологов УГМС методов оценки климатических рисков) и разрабатываемая методика должна носить междисциплинарный характер.

*In case of using geostatistics in agricultural sciences, the efficiency of agrotechnical management will be high; a relevant territory division might be interpreted as perspective task of optimal economical zoning using remote sensing. In a complex planning presumed the necessity of actions under undetermined climate change estimations and their circumstances for risks mitigation and governmental strategy, agrotechnical decisions adaptation for spatiotemporal inhomogeneity of agricultural lands to climate change. It appears, the future works for climate doctrine of Russian Federation actualization must be based on edifice of kriging marks with external driftage scientific climatic risks, led to practical using, and resulting adaptation agricultural measures in space-time continuum ( $D \times T$ ) considering global warming. Scientific key direction development carried out under Global Framework for Climate Services (GFCS) — it is a useful framework development for global warming knowledge integration into decision making processes (with using of methods climate risks estimations available for climatologist at Meteorological Service) and developing methodology must be interdisciplinary.*



**Введение.** Геостатистика – прикладная математическая наука и технология для анализа, обработки и представления пространственно-временной распределенной информации через статистические методы, которые моделируют распределение сельскохозяйственной территории, объектов, а также проходящих процессов в пространственно-временном континууме ( $D \times T$ ). В сельском хозяйстве геостатистика занимается анализом, прогнозированием значений, связанных с пространственными и пространственно-временными явлениями также при стратегии планирования агротехнологических решений с учетом вариограммного анализа для целей точного земледелия (ТЗ) с учетом компьютерных технологий и ДЗЗ [7].

При анализе данных различных измерений часто крайне трудно или вовсе невозможно получить формульный закон распределения данных на основе физических процессов, обуславливающих соответствующие опасно-агрометеорологические явления при глобальном потеплении климата (климатический коллапс, изменение химического состава Северного ледовитого океана). Развитие альтернативных подходов к построению информационных систем ДЗЗ [5] – это статистическое (а не детерминистическое) описание пространственно-временного распределения. В частности, показано, что в свое время пространство-временного термина Альберт Эйнштейн вспомнил, что геометрия «деформированной» (или неплоской) поверхности определяется с помощью трех величин  $g_{xx}$ ,  $g_{yy}$  и  $g_{xy}$ , заданных в каждой точке поверхности. Этот набор данных, определяющий для каждой точки поверхности территории значения трех величин  $g_{xx}$ ,  $g_{yy}$  и  $g_{xy}$  называется «геометрическим тензором», а точнее, «метрическим тензором»  $g$ . Эйнштейн понял, что ему требуется обобщение этого понятия на случай, когда двумерная поверхность заменяется на четырехмерное пространство-время, то есть на сегодняшний день геостатистический анализ может дать кригинговую оценку происходящих на поверхности территории варьирующих агрометеорологических явлений.

Геостатистические оценки опираются на информацию о внутренней структуре данных опасных почвенно-климатических явлений и зависят от самих данных, т. е. являются адаптивными. Она базируется на статистической интерпретации данных и предполагается, что данные измерений  $Z(x_i)$  являются реализациями случайных переменных  $Z(x_i)$ , которые описываются некоторыми функциями распределения  $F(x_1, \dots, x_N; Z_1, \dots, Z_N)$ . Это, однако, не означает, что природа самого процесса является случайной [1]. Чтобы использовать геостатистику, необходимо определить пространственно-временную корреляционную структуру поля  $Z(x)$ , задаваемую всеми случайными переменными в разных областях исследований, также при опасных природных явлениях [11].

Случайная функция определяется как набор обычно зависимых между собой случайных переменных  $Z(x_i)$ , по одной для каждого местоположения  $x_i$ , в рассматриваемой области.

Любому набору из  $N$  местоположений  $\{x_k, k = 1, \dots, N\}$  можно поставить в соответствие  $N$  случайных переменных (опасных метеорологических явлений)  $\{Z(x_1), \dots, Z(x_N)\}$ , которые характеризуются  $x$  – мерной условной функцией распределения:

$$F(x_1, \dots, x_N; z_1, \dots, z_N) = \text{Prob}\{Z(x_1) \leq z_1, \dots, Z(x_N) \leq z_N\}.$$

Понятие случайной величины в классической статистике при планировании стратегии агротехнологических решений имеет конкретный смысл только при соблюдении условий:

должна быть хотя бы теоретическая возможность бесконечного повторения испытаний (реализаций), в результате которых случайная величина приобретает численные значения варьирующих почвенно-климатических факторов сельскохозяйственных территорий.

результат каждого из испытаний должен быть независим от результатов всех предыдущих испытаний с учетом вариации климатических сценариев при опасных агрометеорологических параметрах (ураган, наводнение, заморозки, и т. д.).

Пространственная переменная не подчиняется ни одному из этих условий, если, например, испытание состоит в отборе пробы в точке  $x$ , то содержание искомого вещества в такой пробе будет единственным, физически определенным и ни в коей мере не случайным. Нет никакой возможности повторить такое испытание, поскольку проба в конкретной точке уже взята, что влечет невыполнение условия 1. Однако есть возможность отобрать новую пробу в непосредственной близости от точки  $x$ , что можно в приближении принять за выполнение условия 1. Но тогда нарушается условие 2: если первая проба отобрана в обогащенной зоне, то вторая проба, взятая в непосредственной близости от первой, как правило, будет иметь высокое содержание. Таким образом, испытания оказываются зависимыми.

В дальнейшем мы будем использовать для удобства привычный в статистике термин случайной величины (физические и почвенные явления), понимая под ней пространственную регионализованную переменную и учитывая вышеописанные особенности. Наблюдаемая переменная может быть непрерывной (например, любая физическая величина – плотность, давление, концентрация и т. п.) или категориальной (например, временной бинарный сигнал или тип почвы, либо геологической породы).

Геостатистика является особой областью прикладной статистики, которая изучает так называемые пространственно распределенные объекты [9]. Свойства таких объектов столь сложно и непредсказуемо меняются в пространстве и во времени, что практически не могут быть описаны никакими детерминированными зависимостями. Такой подход исходит при анализе, состоящего из строгих критериев. Предметом анализа геостатистики являются пространственные переменные (или регионализованные переменные – regionalized variables), что аналогично переменным с координатной привязкой. Примеры пространственных переменных: количество осадков, глобальное потепление с учетом изменения климата, плотность насе-

ления в некоторой географической области, мощность геологической формации, плотность загрязнения почвы, среднее потребление электроэнергии в определенный час, опасные почвенно-климатические явления и т. п. Пространственные переменные не следует путать со случайными величинами, изучаемыми методами обычной статистики.

Центральное место в геостатистических исследованиях занимает так называемый вариограммный анализ и базирующийся на нем кригинг — особая вычислительная процедура, обеспечивающая оптимальное (в смысле минимума дисперсии случайной ошибки) восстановление непрерывного поля пространственной переменной или получение оптимальных оценок средних значений по отсчетам (опробованиям) варьирующего фактора в дискретных точках [2].

Основная идея геостатистического подхода состоит в том, что при выполнении упоминавшейся выше гипотезы стационарности второго порядка статистическая структура поля пространственно распределенного фактора  $F$  может быть описана с помощью так называемой вариограммной (иногда говорят — полувариограммной или семивариограммной) функции  $\gamma(h)$ , которая определяется как половина среднего в статистическом смысле квадрата разности значений фактора  $F$  в точках на расстоянии  $h$  друг от друга,  $f(r)$  — рассчитываются поле отклонения для эмпирической вариограммы. В геостатистических исследованиях сдвиг  $h$  часто называют лагом, или рангом, вариограммы. Согласно такому определению:

$$\gamma(\bar{h}) = \frac{1}{2} E \left[ f(\bar{r} + \bar{h}) - f(\bar{r}) \right]^2, \quad (1)$$

где  $E$  — операция осреднения.

Следует отметить, что еще задолго до формирования геостатистики как самостоятельной прикладной науки А.Н. Колмогоровым была предложена близкая по смыслу к (1) структурная функция  $b(\bar{h})$ , связанная с  $\gamma(\bar{h})$  простым соотношением:

$$b(\bar{h}) = 2\gamma(\bar{h}). \quad (2)$$

Структурная функция широко используется в исследованиях сельскохозяйственной науке по атмосферной турбулентности и при анализе полей метеорологических элементов в разных моделях, которые могут быть весьма полезны для сельхозпроизводителей. На уровне проектных решений они предоставляют возможность прогнозирования отдаленных последствий мелиорации земель и изменения плодородия почв, а также анализа экономической и агроэкологической ситуации в хозяйстве (или агроландшафте) при соблюдении принятой многолетней стратегии планирования технологий [4] агроприемов с учетом мелиорированных земель.

Примером может служить осушительно-увлажнительная гидромелиорация сельскохозяйственных земель, проведенная в черноземной зоне Российской Федерации [8].

Если при традиционной технологии специалист может рассчитать один раз дозу удобрений на все поле, вве-

сти данные в бортовой компьютер машины для внесения удобрений и начать операцию, то в ТЗ необходима компьютерная реализация алгоритмов расчета доз [6].

Подавляющее большинство программ (подразумевается использование моделей, оформленных в виде компьютерных программ) работает по принципу «данные на входе—алгоритм обработки—данные на выходе», с учетом ДЗЗ из космоса и сопряженных наземных исследований, которые проводились в Нечерноземной зоне РФ в 2018–2022 гг., где представлены результаты дифференциации агротехнологических решений по трем грациям в работе [3].

В статье внимание уделено геостатистической направленности, кригингу с внешним дрейфом, как (базовая интерполяционная модель геостатистики) фактору оценивающего при целесообразном планировании адаптацию агротехнологических решений с учетом глобального изменения климата на решение этой проблемы как перспективная направленность в сельскохозяйственной науке, полученных в наших как теоретических, так и практических исследованиях.

В сельскохозяйственной науке для использования кригинга с внешним дрейфом требуется выполнение следующих условий:

1. Между трендом оцениваемой переменной и вторичной переменной должна быть линейная зависимость. При наличии другого типа зависимости можно провести некоторое преобразование, чтобы сделать ее линейной.

2. Значение вторичной переменной должно быть доступно в любой точке исследуемой области: в точках измерения и в точках оценивания (классификации по грациям) основной переменной.

3. Значение вторичной переменной должно достаточно гладко изменяться на исследуемой области, чтобы не вызывать нестабильности системы уравнений, с учетом ТЗ.

4. Должна быть возможность оценки и моделирования ковариации  $C_R(x_j - x)$  или вариограммы  $\gamma_R(x_j - x)$  остатков по значениям реальных измерений, так как сами остатки становятся известны только после решения кригинговой системы. Это требование непосредственно связано с предыдущим о плавности изменений вторичной переменной  $\gamma(x_j) \approx \gamma(x_j - h)$ .

Концепция геостатистических анализов [10] показала, что структура данных зависит как от деформированного пространства-времени, так и от недеформированной поверхности сельскохозяйственной территории, которые в свою очередь, создают пространственно-временную вариабельность.

Примером использования кригинга с внешним дрейфом может служить моделирование с.-х. поля температуры, особенно учитывая происходящее на сегодняшний день глобальное потепление климата, при наличии дополнительной информации о высоте над уровнем моря на подробной сетке (практически в любой точке). Такая информация доступна в виде цифровой карты уровней (digital elevation map). На рисунке приведены карта пространственного распределения данных о температуре и цифровая карта уровней для этого места.

Рисунок показывает практически линейную зависимость между температурой и высотой. Такая ярко выраженная линейная зависимость позволяет использовать данные о высоте как внешний дрейф (модели Кригинга) для вариации температуры происходящего изменения климата на нашей планете. Применение обычного кригинга на специально выбранном из исходных данных валидационном наборе дало среднеквадратичную ошибку:

$$g(P_1) = \frac{1}{B(a,b)} P_1^{a-1} (1-P_1)^{b-1}, \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – некоторые положительные параметры;  $g(P_1)$  – плотность климатической повторяемости;  $B(a, b)$  – бета-функция, записываемая в интегральной форме как:

$$B(a,b) = \int_0^1 P_1^{a-1} (1-P_1)^{b-1} dP_1. \quad (4)$$

Величина (4) известна под названием Эйлера интеграл I-го рода, который может быть выражен через Г-функцию по формуле:

$$B(a,b) = \frac{\Gamma(a)\Gamma(b)}{\Gamma(a+b)}. \quad (5)$$

Среднее значение и среднее квадратическое отклонение климатической повторяемости  $P_1$ , распределенной по бета-закону, оказываются однозначно связанными с параметрами  $a$  и  $b$  равенствами:

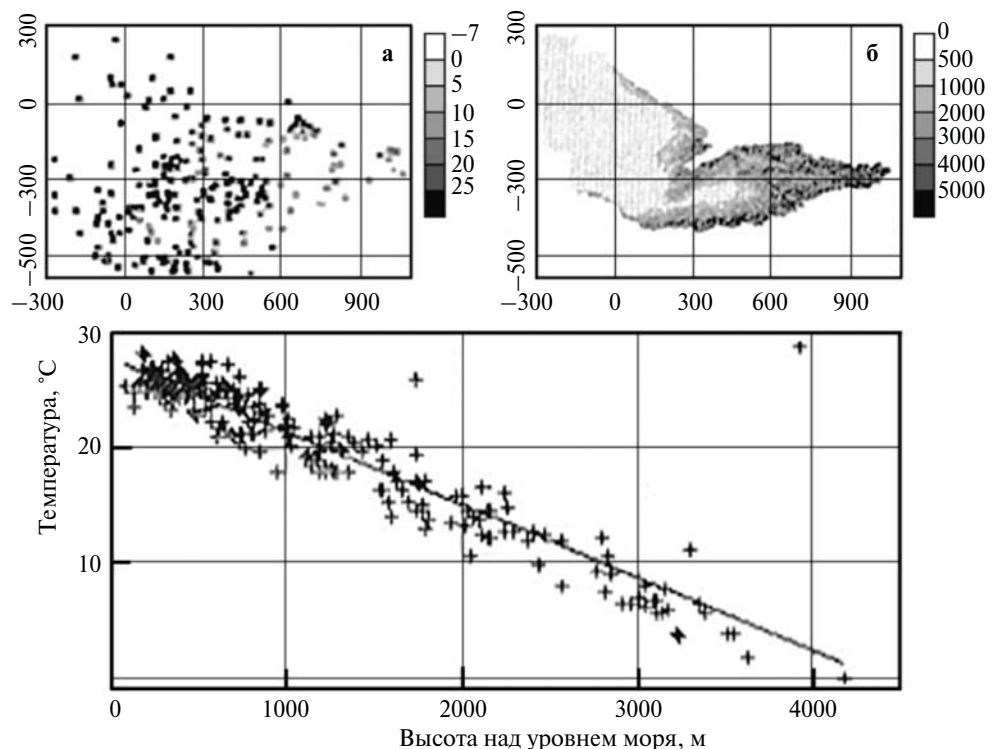
$$\bar{P}_1 = \frac{a}{a+b}; \quad (6)$$

$$\tilde{\Delta}_{P_1} = \sqrt{\frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)}}. \quad (7)$$

В зависимости от выбора параметров  $a$  и  $b$  с помощью бета-закона могут быть получены распределения самых различных видов. Так, например, в работе для  $a=b=1$  мы получаем равномерное распределение  $P_1$  на интервале  $[0, 1]$ .

**Заключение**

1. В формулах (6) и (7) показано, что поиск эффективных путей уменьшения среднеквадратического отклонения с целью повышения устойчивости урожаев следует рассматривать как одно из перспективных направлений адаптации в АПК к меняющемуся климату.
2. Численные оценки и рассмотренные геостатистические модели показывают, что бета-функции за-



**Зависимость между изменением температуры воздуха у поверхности (а) и высотой над уровнем моря (б)**

кона распределения потенциального урожая являются важным фактором и существенно влияют на уровень климатообусловленных рисков (опасные агрометеорологические явления, аномальные осадки, извержение вулканов и т. д.).

3. Установлено, что при альтернативной дифференциации решений в случае нормально распределенного варьирующего фактора устраняется более 60% потерь, вызываемых почвенно-климатической неоднородностью территории, а при оптимальной дифференциации по трем градациям этот эффект составляет уже более 80%. В то же время, следует отметить создание единого международного центра для компенсации климатического коллапса, т. к. сегодняшнее глобальное потепление климата – общий враг нашей планеты, что применение пространственно-временной геостатистики в АПК, являющейся перспективной направленностью.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Захарян Ю.Г. Геостатистика: Изменение климата и агротехнологии. М.: Наука. 2022. 457 с.
2. Захарян Ю.Г., Янко Ю.Г. Геостатистика в сельскохозяйственной науке с учетом глобального изменения климата при стратегии планирования агротехнологических решений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 70–78.
3. Захарян Ю.Г., Комаров А.А., Янко Ю.Г. Оценка дифференциации агротехнологий по трем градациям с учетом глобального изменения климата, 2023. Т. 20. № 3. DOI: 10.21046/2070-7401-2023.20.3.
4. Кирышин В.И., Иванов А.Л. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: методическое руководство. М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2005. 784 с.
5. Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга / Е.А. Лупян, М.А. Бурцев, А.А. Про-

шин, Д.А. Кобец // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 53–66.

6. Якушев В.П., Захарян Ю.Г., Блохина С.Ю. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022.

7. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.

8. Руководство по мелиорации полей / Г.Г. Гулюк, Ю.Г. Янко, В.И. Штыков, М.Б. Черняк, А.Ф. Петрушин. СПб., 2020. 219 с.

9. Isaacs E.H., Srivastava R.M. Applied Geostatistics. Oxford University Press, 1989. 592 p.

10. Oliver M.A. Geostatistical applications for precision agriculture. UK: Springer Science & Business Media. 2010. 331 p.

11. Webster R., Oliver M. Geostatistics for environmental Scientists. John Willey and Sons, Chichester, UK, 2007.

REFERENCES

1. Zakharyan Yu.G. Geostatistics: Climate change and agricultural technologies. M.: Science, 2022. 457 p.

2. Zakharyan Yu.G., Yanko Yu.G. Geostatistics in agricultural science taking into account global climate change in the strategy of planning agrotechnological solutions // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2022. Т. 19. No. 2. P. 70–78.

3. Zakharyan Yu.G., Komarov A.A., Yanko Yu.G. Assessment of differentiation of agricultural technologies according to three gradations taking into account global climate change. 2023. Vol. 20. No. 3. DOI: 10.21046/2070-7401-2023.20.3.

4. Kiryushin V.I., Ivanov A.L. Agroecological assessment of land, design of adaptive landscape systems of agriculture and agricultural technologies. Methodical manual. M.: FGBNU Rosinformagrotekh, 2005. 784 p.

5. Development of approaches to the construction of information systems for remote monitoring / E.A. Lupyay, M.A. Burtsev, A.A. Proshin, D.A. Kobets // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2018. Т. 15. No. 3. P. 53–66.

6. Yakushev V.P., Zakharyan Yu.G., Blokhina S.Yu. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2022

7. Yakushev V.V. Precision farming: theory and practice. SPb.: FGBNU AFI, 2016. 364 p.

8. Guide to field reclamation / G.G. Gulyuk, Yu.G. Yanko, V.I. Shtykov, M.B. Chernyak, A.F. Petrushin. St. Petersburg, 2020. 219 p.

9. Isaacs E.H., Srivastava R.M. Applied Geostatistics. Oxford University Press, 1989. 592 p.

10. Oliver M.A. Geostatistical applications for precision agriculture. UK: Springer Science & Business Media. 2010. 331 p.

11. Webster R., Oliver M., Geostatistics for environmental Scientists. John Willey and Sons, Chichester, UK, 2007.

**Захарян Юрий Гайказович**, доктор с.-х. наук, вед. науч. сотрудник, [dzhem.m@yandex.ru](mailto:dzhem.m@yandex.ru); **Янко Юрий Григорьевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, [yanko@agrophys.ru](mailto:yanko@agrophys.ru) (ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург).

УДК 631.861:631.871

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ВЕБ-СИСТЕМА «ИНТЕГРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ»



**А.В. МАТВЕЕВ**

**Ключевые слова:** база данных, система поддержки принятия решений, геоинформационные технологии, сетевые технологии, экологический мониторинг, мелиоративно-водохозяйственный комплекс, повышение эффективности сельскохозяйственного производства.

**Keywords:** database, decision support system, geographic information technologies, network technologies, environmental monitoring, reclamation and water management complex, increasing the efficiency of agricultural production.

Представлен современный подход к созданию экспертной геоинформационной веб-системы, содержащей данные комплексного экологического мониторинга, фактические технико-эксплуатационные параметры обводнительно-оросительных систем, сведения о видах орошения, способах полива, дозах вносимых удобрений, о величинах фактической и потенциальной урожайности, результаты проведенных тематических многолетних исследований, полевых и лабораторных экспериментов. Веб-система создана на базе свободно распространяемого программного обеспечения с открытым исходным кодом и позволяет лицам, принимающим решения, через сеть Интернет совместно решать экологические, технические и эксплуатационные задачи обеспечения устойчивого развития орошаемого земледелия Республики Калмыкия.

*A modern approach to the creation of an expert geographic information web system is presented, containing data from complex environmental monitoring, actual technical and operational parameters of watering and irrigation systems, information on types of irrigation, irrigation methods, doses of fertilizers applied, values of actual and potential yields, results of thematic long-term research, field and laboratory experiments. The web system is created on the basis of freely distributed open source software and allows decision makers to jointly solve environmental, technical and operational problems of ensuring the sustainable development of irrigated agriculture in the Republic of Kalmykia via the Internet.*

При реализации Государственных программ в системе обеспечения социально-экономического развития Российской Федерации, решении вопросов нацио-

нальной и продовольственной безопасности страны все более актуальной становится проблема совершенствования использования и управления водными и земельными ресурсами [1, 2]. Необходимо развитие экспертных систем и информационных технологий управления процессами функционирования мелиоративно-водохозяйственного комплекса. Информационные технологии позволяют учесть разноплановые факторы и синтезировать процессы принятия решений в интегральный целенаправленный процесс управления использованием водных ресурсов, гидротехническими сооружениями, мелиоративным состоянием земель и производством сельскохозяйственной продукции в каждом хозяйстве на каждом конкретном поле [2–4].

Разработанная геоинформационная веб-система поддержки принятия решений по интегральному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом предназначена для совместного решения экологических, технических и эксплуатационных задач обеспечения устойчивого развития орошаемого земледелия Республики Калмыкия. Работа выполнена на примере Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС), для которой характерны сложные ирригационно-хозяйственные условия [5, 6]. Развитие процессов сокращения увлажненности южных территорий Европейской части, в значительной степени и в Республике Калмыкия, определяет сложность ведения сельского хозяйства, а аномальные погодные явления – рост климатических рисков [7–9]. С другой стороны, многолетние научно-производственные исследования, выполняемые на территории СООС учеными ВНИИГиМ и Калмыц-

кого филиала, проводимый комплексный экологический мониторинг состояния водных ресурсов, мелиорированных земель, мелиоративных систем, позволили накопить значительный объем необходимой информации, что в сочетании с полученными результатами исследований по адаптации геоинформационных технологий применительно к решению водохозяйственных и мелиоративных задач открывает новые перспективы в управлении мелиоративными и водохозяйственными системами [10–12]. Поэтому именно в этом случае применение геоинформационных и веб-технологий при управлении процессами функционирования мелиоративно-водохозяйственного комплекса становится возможным и весьма перспективным.

Разработанная веб-система направлена на предоставление возможности лицам, принимающим решения (фермерам, главным агрономам, инженерам эксплуатационной службы и другим специалистам хозяйств), оперативно принимать взвешенные, научно обоснованные решения на длительную перспективу, а также тактического и оперативного характера с целью обеспечения оптимальных условий для возделывания сельскохозяйственных культур, повышения продуктивности орошаемых земель и эффективности сельскохозяйственного производства, при рациональном использовании интегральных ресурсов.

Веб-система позволяет накапливать, структурировать, подготавливать и анализировать информацию о природно-климатических, гидрогеологических, почвенных и ирригационно-хозяйственных условиях, о мелиоративном состоянии орошаемых земель, наличии и качестве воды для орошения, техническом состоянии ГТС гидромелиоративных систем и других факторах, в комплексе определяющих особенности ведения сельскохозяйственного производства и способы повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Республике Калмыкия. В программу включены фактические технико-эксплуатационные параметры обводнительно-оросительных систем, данные комплексного экологического мониторинга, сведения о видах орошения, способах полива, дозах вносимых удобрений, о величинах фактической и потенциальной урожайности, результаты проведенных тематических многолетних исследований, полевых и лабораторных экспериментов. Включены также рекомендации по приемам выращивания различных сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях и экспертная оценка эколого-экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

Разработанная веб-система основана на клиент-серверной технологии и позволяет подключаться ответственному пользователю с персонального компьютера или мобильного устройства через сеть Интернет. Количество одновременно работающих в веб-системе пользователей может превышать десятки и даже сотни человек. При необходимости может быть настроено шифрование передаваемых данных.

Информационное обеспечение веб-системы включает веб-сервер Apache, систему управления базами данных MySQL, геоинформационную систему QGIS с плагином qgis2web, инструментарий Phpmysedit

для создания веб-форм с поддержкой SQL, облачное хранилище данных Nextcloud. Все используемые компоненты являются свободно распространяемым программным обеспечением с открытым исходным кодом, что позволяет существенно сократить затраты, повысить уровень безопасности и значительно расширить круг заинтересованных пользователей. Кроме того, в веб-систему входят разработанные автором веб-приложения (созданы на высокоуровневом языке программирования Python с использованием библиотек Pandas, Plotly, Folium и веб-фреймворка Dash):

- Treemap – для построения иерархической древовидной карты землепользователей Республики Калмыкия.
- Scatter – для построения графиков зависимости урожайности от различных факторов с временной шкалой (по годам) для землепользователей.
- Yield – построение графиков урожайности сельскохозяйственных культур и оросительной нормы для конкретного землепользователя.
- App – построение графиков урожайности сельскохозяйственных культур и дельты оросительной нормы (разница между плановой и фактической) с возможностью одновременного выбора нескольких землепользователей для сравнительной оценки.
- Snowflake – построение полярных диаграмм с целью экспресс-анализа хозяйства.
- Webmap – создание интерактивных веб-карт.

При разработке экспертной веб-системы особое внимание уделено аспектам организации информационного взаимодействия между веб-приложением, базами данных, базами знаний, веб-ГИС-проектами и средой Интернет, а также обеспечению безопасности сетевых сервисов (сетевой уровень) и непосредственно защите данных (локальный уровень). В разрабатываемой системе совместимость обеспечивается путем использования встроенных в свободно распространяемые программные продукты механизмов, обеспечивающих взаимодействие в неоднородных средах, и гипертекстовых ссылок.

В веб-системе реализованы такие функции, как полнотекстовый поиск, фильтрация данных и ранжирование результатов (сортировка по алфавиту, по возрастанию и убыванию). Предусмотрена мультязычная поддержка на базе кодировки UTF8, что позволяет при необходимости использовать в тексте не только латинские и кириллические символы, но и символы из расширенной латиницы (умлауты, лигатуры и т. д.) При необходимости веб-система позволяет расширить количество пунктов меню, усовершенствовать критерии поиска, детализировать информацию об объектах исследований, типах почв, видах орошения, используемых мелиорантах, выращиваемой сельскохозяйственной продукции и т. д.

В своей работе веб-система использует базы данных Access (созданы сотрудниками Калмыцкого филиала ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»), базу данных SQL и отдельные наборы GeoJSON и CSV-файлов, где непосредственно хранятся данные:

- землепользователей Республики Калмыкия;
- водных объектов, содержащих сведения об объемах поверхностных и подземных водных ресурсов, их

минерализации, химическом составе и динамике показателей во времени;

- о состоянии мелиорированных земель в разрезе гидромелиоративных систем и отдельных хозяйств, включая характеристику почвенного покрова, показатели их мелиоративного состояния (степень и характер засоления, режим грунтовых вод), а также плодородия почв, особенностей выращивания сельхозкультур;
- по характеристике технического состояния и эффективности работы гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем.

В перспективе планируется создать и зарегистрировать единую базу данных SQL. Облачное хранилище данных предоставляет возможность ответственным сотрудникам удаленно загружать в веб-систему фото- и видеоматериалы, данные оперативного мониторинга, результаты экспресс-анализов, а также данные дистанционного зондирования.

Для начала работы в веб-системе необходимо открыть веб-браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera, Microsoft Edge) и в адресной строке ввести адрес: <http://www.mydomain.ru/soos/>. В появившемся окне указать имя пользователя и пароль. Предусмотрена возможность тонкой настройки индивидуальных прав доступа для каждого пользователя.

Главное меню веб-системы состоит из 13 пунктов, названия которых полностью соответствуют назначению: «Год», «Образование» (сельское муниципальное образование), «Кадастровый номер», «Землепользователь», «Площадь», «Почвы», «Вид орошения», «Способ полива», «С/х продукция», «Урожайность», «Мелиоративное состояние», «Экономическая эффективность», «Интегральная оценка». После установки требуемых критериев поиска в различных пунктах меню и нажатия кнопки «Запрос» система извлекает записи из базы данных SQL, соответствующие искомым критериям.

В главном меню есть возможность добавлять, просматривать, изменять, копировать и удалять записи. Копирование записей удобно при вводе в систему большого количества однотипных записей, отличающихся несколькими значениями.

В карточке землепользователя при нажатии на ссылку «Год» в новом окне открывается интерактивная древовидная карта землепользователей Республики Калмыкия: размер прямоугольника зависит от площади хозяйства, цвет прямоугольника — от урожайности (красный цвет — низкая урожайность, зеленый — высокая). Веб-система рассчитывает средневзвешенную урожайность по районам и сельским муниципальным образованиям Республики Калмыкия (рис. 1).

В карточке землепользователя при нажатии на ссылку «ГИС-проект» в новом окне открывается интерактивная ГИС-карта (в качестве «подложки» использован веб-картографический проект OpenStreetMap) (рис. 2).

Веб-система позволяет строить сравнительные графики урожайности и оросительной нормы по годам для разных землепользователей Республики Калмыкия.

Для каждого интегрированного в веб-систему ГИС-проекта хозяйства разработана своя «мини база знаний», включающая агрохимические показатели почвы, гранулометрический состав, химический состав водной вытяжки почвы, значение pH и содержание гумуса, корреляционные зависимости между

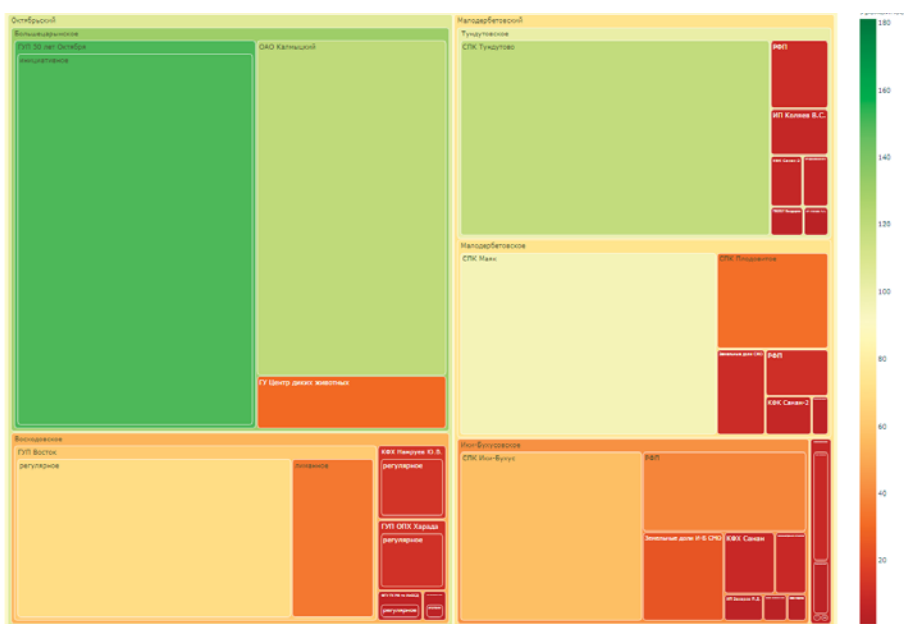


Рис. 1. Интерактивная древовидная карта землепользователей Республики Калмыкия

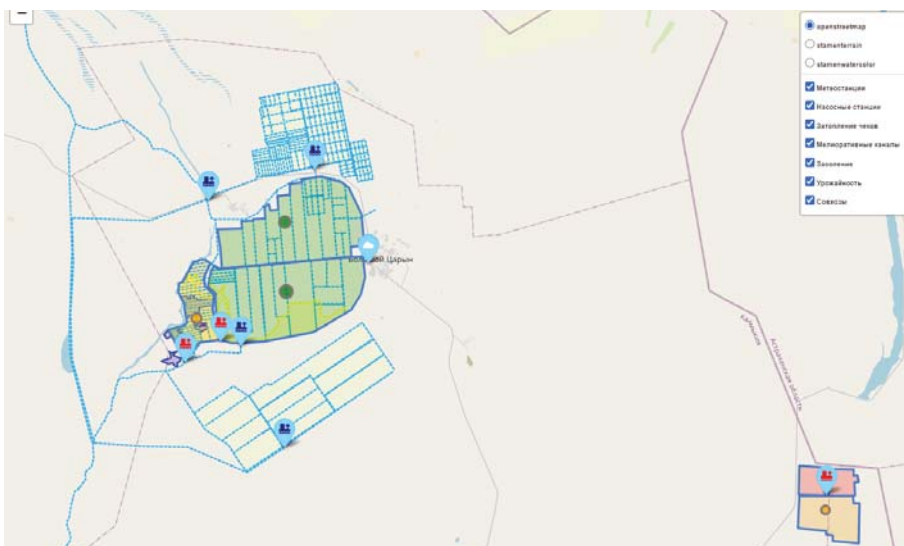


Рис. 2. ГИС-проект, интегрированный в веб-систему

различными почвенными показателями, показатели качества воды, данные дистанционного зондирования земли, индексы растительности NDVI и т. д.

В 2023 г. авторским коллективом (А.В. Матвеев, Э.Б. Дедова, С.Д. Исаева, Р.М. Шабанов) получено свидетельство о Государственной регистрации программы для ЭВМ «Геоинформационная веб-система поддержки принятия решения по интегрированному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом Республики Калмыкия» (№ 2023663383 от 22 июня 2023 г.)

Геоинформационная веб-система имеет блочно-модульную архитектуру, является гибкой в настройке, расширяемой и масштабируемой, что позволит в будущем улучшить функциональные возможности, подключить системы имитационного моделирования, пакеты статистической обработки данных и модели искусственного интеллекта, а также, при необходимости, адаптировать ее для разных иерархических уровней управления мелиоративно-водохозяйственным комплексом – от мелиоративной системы до субъектов Российской Федерации.

Таким образом, программа может быть использована в качестве системы поддержки принятия решений в агрохолдингах, фермерских хозяйствах и других сельскохозяйственных организациях различных форм собственности, в ФГБУ «Калмелиоводхоз» и других региональных органах управления, в том числе, агропромышленным комплексом, а также в водохозяйственных и проектных организациях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко В.А. Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 4. С. 355–361.
2. Шевченко В.А., Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Модель принятия решений в инновационных проектах развития сельскохозяйственного водопользования // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Т. 65. № 2(386). С. 124–128.
3. Новые способы повышения продуктивности деградированных мелиорированных земель с применением информационных технологий / А.В. Ильинский, Н.В. Коломийцев, А.В. Матвеев, К.Н. Евсенкин, Б.И. Корженевский. М.: ВНИИГиМ, 2022. 152 с.
4. Isaeva S.D., Dedova E.B., Buber A.A. 2021 Use of Water Resources for Irrigation in the Southern Regions of Russia IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 666 b 042020. IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/666/4/042020.
5. Кониева Г.Н., Дедова Э.Б. Проблемы водообеспечения при развитии кормопроизводства в Республике Калмыкия // Материалы международной научно-практической конференции «Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности», 14–15 апреля 2022 г. М.: ВНИИГиМ, 2022. С. 207–213.
6. Агроэкологический мониторинг состояния Сарпинской оводнительно-оросительной системы / В.А. Широкова, А.А. Дедов, Р.А. Шабанов, Э.Б. Дедова // Цифровизация землепользования и кадастров: тенденции и перспективы: материалы международной научно-практической конференции, 25 сентября 2020 г. 2020. С. 496–500.
7. Районирование территории зоны недостаточного увлажнения европейской части РФ по обеспеченности орошения и сельскохозяйственного водными ресурсами с использованием геоинформационных технологий / С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова, А.Л. Бубер, И.Г. Бондарик // Научно-технические достижения и разработки ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» (2016–2021 гг.): сборник научных трудов. М., 2021. С. 69–71.
8. Дедова Э.Б., Шабанов Р.М., Дедов А.А. Зональная шкала оценки качества поливных вод для условий Северо-Западного Прикаспия. Свидетельство о регистрации базы данных 2021620676, 09.04.2021. Заявка № 2021620532 от 31.03.2021.

9. Кониева Г.Н., Дедова Э.Б. Проблемы водообеспечения при развитии кормопроизводства в Республике Калмыкия // Орошаемое земледелие. 2022. № 3. С. 17–20.

10. Коломийцев Н.В., Матвеев А.В. Создание информационно-справочной системы на базе веб-технологий для обоснования выбора технологий восстановления плодородия почв и рекультивации деградированных агроландшафтов // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности. М., 2022. С. 345–352.

11. Ильинский А.В., Матвеев А.В., Евсенкин К.Н. Информационно-справочная Web-система для принятия управленческих решений по повышению продуктивности почв мелиорированных сельскохозяйственных земель // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 5. С. 15–18.

12. Матвеев А.В., Дедова Э.Б., Исаева С.Д., Шабанов Р.М. Геоинформационная веб-система поддержки принятия решений по интегрированному управлению мелиоративно-водохозяйственным комплексом Республики Калмыкия. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023663383, 22.06.2023. Заявка № 2023662056 от 07.06.2023.

#### REFERENCES

1. Shevchenko V.A. Isaeva S.D., Dedova E.B. A new stage in the development of the reclamation and water management complex of the Russian Federation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023. Vol. 93. No. 4. P. 355–361.
2. Shevchenko V.A., Isaeva S.D., Dedova E.B. Model of decision-making in innovative projects for the development of agricultural water use // International Agricultural Journal. 2022. Vol. 65. No. 2 (386). Pp. 124–128.
3. New ways to increase the productivity of degraded reclaimed lands using information technology / A.V. Ilyinsky, N.V. Kolomyitsev, A.V. Matveev, K.N. Evsenkin, B.I. Korzhenevsky. M.: VNIIGiM, 2022. 152 p.
4. Isaeva S.D., Dedova E.B., Buber A.A. 2021 Use of Water Resources for Irrigation in the Southern Regions of Russia IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 666 b 042020. IOP Publishing. DOI:10.1088/1755-1315/666/4/042020.
5. Konieva G.N., Dedova E.B. Problems of water supply during the development of feed production in the Republic of Kalmykia // Materials of the international scientific and practical conference «The role of land reclamation in ensuring food security», April 14–15, 2022. M.: VNIIGiM, 2022. P. 207–213.
6. Agroecological monitoring of the state of the Sarpinsk watering and irrigation system / V.A. Shirokova, A.A. Dedov, R.A. Shabanov, E.B. Dedova // Digitalization of land use and cadastres: trends and prospects: proceedings of the international scientific and practical conference, September 25, 2020. Pp. 496–500.
7. Zoning of the territory of the zone of insufficient moisture in the European part of the Russian Federation in terms of provision of irrigation and agricultural water supply with water resources using geoinformation technologies / S.D. Isaeva, E.B. Dedova, A.L. Buber, I.G. Bondarik // Scientific and technical achievements and developments of the FGBNU «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov» (2016–2021): collection of scientific papers. M., 2021. Pp. 69–71.
8. Dedova E.B., Shabanov R.M., Dedov A.A. Zonal scale for assessing the quality of irrigation water for the conditions of the North-Western Caspian region. Database registration certificate 2021620676, 04/09/2021. Application No. 2021620532 dated 03/31/2021.
9. Konieva G.N., Dedova E.B. Problems of water supply during the development of feed production in the Republic of Kalmykia // Irrigated agriculture. 2022. No. 3. P. 17–20.
10. Kolomyitsev N.V., Matveev A.V. Creation of a web-based information and reference system to justify the choice of technologies for restoring soil fertility and reclamation of degraded agricultural landscapes // The role of land reclamation in ensuring food security. M., 2022. Pp. 345–352.
11. Ilyinsky A.V., Matveev A.V., Evsenkin K.N. Information and reference Web-system for making management decisions to increase the productivity of soils of reclaimed agricultural lands // Melioration and water management. 2021. No. 5. P. 15–18.
12. Matveev A.V., Dedova E.B., Isaeva S.D., Shabanov R.M. Geoinformation web-based decision support system for integrated management of the reclamation and water management complex of the Republic of Kalmykia. Certificate of state registration of a computer program 2023663383, 06/22/2023. Application No. 2023662056 dated 06/07/2023.

**Матвеев Андрей Валерьевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник отдела экосистемного водопользования и экономики, andrey@vniigim.ru (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»).

УДК 631.6

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА НИЖНЕЙ КУБАНИ



**В.А. ШЕВЧЕНКО, С.А. МЕНЬШИКОВА, А.А. БУБЕР, Ю.П. ДОБРАЧЕВ**

**Ключевые слова:** гидромелиоративные системы, агро-мелиоративное состояние, агрофизические параметры, водопотребление, плодородие, рис.

**Keywords:** hydro-reclamation systems, agromeliorative state, agrophysical parameters, technical condition, fertility, rice.

В статье приведены результаты исследований, проведенных в весенне-летний период 2021–2022 гг., а также анализ ретроспективных данных, целью которых являлась оценка гидромелиоративного и агро-экологического состояния производственных участков рисовых оросительных систем мелиоративного комплекса Краснодарского края и разработка рекомендаций, позволяющих снизить антропогенную нагрузку и придать экологическую устойчивость аграрному водопользованию. Актуальность исследований определяется необходимостью повышения эффективности использования земельных и водных ресурсов в рисоводстве. Полученные в ходе исследований результаты, характеризующие ситуацию, сложившуюся в процессе длительной эксплуатации рисовых оросительных систем, были положены в основу расчетов водного баланса рисовых полей. Оценено техническое и агро-мелиоративное состояние тестовых участков, представлен анализ агрометеорологических и гидрологических факторов, влияющих на эффективность использования поливной воды, включая системы водоподдачи, водораспределения, водотведения, и агрохимические и агрофизические характеристики почв. Разработаны мероприятия и рекомендации, направленные на снижение водопотребления и негативных воздействий рисоводства на компоненты природной среды. Представленные результаты расчетов динамики водного баланса производственных участков с различным водообеспечением свидетельствуют об отличии фактических объемов водоподдачи от плановых. Снижение риска засоления, вызванного низкой фильтрационной способностью почвогрунтовой толщи на фоне высокого уровня минерализации поливной воды, реализуется применением проточного режима орошения. Существующая практика компенсации низкой эффективности использования водных ресурсов за счет значительного роста объема водоподдачи на единицу посевной площади является веским аргументом повышения технического уровня оросительных систем и разработки мер для их совершенствования.

The article presents the results of a research conducted in the spring-summer period of 2021–2022, the purpose of which was to assess the hydro-reclamation and agroecological state of the production sites of rice irrigation systems of the reclamation complex of the Краснодар Territory and to develop recommendations to reduce the anthropogenic load and increase an ecological sustainability of agricultural water use. The relevance of the research is determined by the need to improve the efficiency of land and water resources use in rice farming. The results of instrumental measurements and observations obtained adequately characterize the current situation that has developed during the long-term operation of the Kuban rice irrigation systems, were used as basis for calculations of the water balance of rice fields. The technical, agricultural and reclamation state of the test plots was assessed, an analysis of agrometeorological and hydrological factors affecting the efficiency of irrigation water use, including water supply systems, water distribution and derivation, and soil agrochemical and agrophysical parameters, are presented. Recommendations have been developed aimed at reducing the negative impacts of rice growing on the components of the natural environment, arising from the excessively intensive exploitation of water resources and lands of rice irrigation systems. The presented

results of water balance dynamics calculations of agricultural sites with different water supply indicate the difference between the actual volumes of water supply and the scheduled ones. Reducing the risk of salinization caused by the low filtration capacity of the soil and ground layer against the background of a high level of mineralization of irrigation water is realized using a flow irrigation regime. The current practice of compensating for the low efficiency of the use of water resources during the transportation of irrigation water and in the process of irrigating rice crops, due to a significant increasing of water supply volume on crop area unit, is strong argument to improve the technical level of irrigation systems and develop measures to improve it.

**Введение.** Краснодарский край — один из ведущих регионов России по производству сельскохозяйственной продукции. Сосредоточение трудовых, земельных и водных ресурсов при наличии благоприятных природно-климатических и социально-экономических факторов обеспечили выход АПК края на первое место в стране по валовому производству сельскохозяйственной продукции, что позволяет предполагать дальнейшее динамичное развитие экономики региона.

Широкомасштабная мелиорация земель и строительство оросительных систем позволили эффективно использовать бывшие плавневые земли, коренным образом повысив их производительную способность.

Комплекс агро-мелиоративных мероприятий позволил повысить урожайность риса с 1 т/га в 1955 г. до уровня более 7,5 т/га к 2020 г. Однако, как отмечается в ряде исследований [1–6], производственный потенциал этих территорий реализован не полностью, а наметившаяся тенденция экстенсивного развития производства риса за счет роста водопотребления угрожает средоформирующей функции агроландшафта и водным экосистемам в бассейне р. Кубань. Кроме этого, существует ряд проблем природного и техногенного плана, усложняющих сельхозпроизводство. Из природных — нарастание контрастности и непредсказуемости климатических явлений, обостряющих дефицит водных ресурсов. Среди антропогенных — это общий технический износ инфраструктуры мелиоративных систем и отсутствие методологии адаптации существующей сельскохозяйственной деятельности к изменяющимся природным и экономическим факторам.

Цель исследований — оценка агро-мелиоративного и гидроэкологического состояния производственных участков и разработка мероприятий и рекомендаций, позволяющих учесть текущие производственные условия и улучшить агроэкологическую ситуацию на рисовых оросительных системах.

**Материалы и методы.** Комплексное изучение участков Понуро-Калининской (ПКОС) и Петровско-Анастасиевской оросительных систем (ПАОС), расположенных в западной части Краснодарско-



го края, выполнялось в весенне-летний период 2021–2022 гг. Изучаемые массивы орошаемых полей входят в состав оросительной системы, обслуживающей нескольких водопользователей, реализующих сельскохозяйственную деятельность. На этих системах необходимо постоянное искусственное понижение уровня грунтовых вод. Весь избыточный сток атмосферных осадков, паводковых и дренажных поливных вод отводится с помощью насосных станций водосборно-сбросной сети. Часть сбросных вод дренажного стока перебрасывается с вышерасположенных участков на орошение полей, занимающих понижения рельефа. Вторичное использование разбавленных дренажных вод свидетельствует о дефиците поливной воды и повышенной солевой нагрузке на агроэкосистему. Наличие потенциальных загрязнителей в поливной воде, регулярно используемой для орошения, оказывает негативного влияния на все группы биоты, присутствующей в почвах и водных экосистемах на смежных прилегающих территориях.

В ходе экспедиционных исследований проводились следующие виды полевых работ: установка метеорологических и почвенной станций; общее обследование ГТС рисовых систем; инструментальное измерение коэффициентов фильтрации почв, скорости испарения с водной поверхности и транспирации; отбор образцов проб воды и почв; экспресс-анализ кислотности, электропроводности поливных и дренажных вод; сбор текущей и многолетней информации о гидрометеорологической обстановке, водопользовании, агротехнике выращивания риса. Исследования проводились по общепринятым методикам.

Метеорологические параметры, а также температура почвы, воды и приземного слоя атмосферы, испарение и фильтрация на обследуемых участках измерялись с использованием автоматических метеостанции Davis Instruments Vantage Pro2 и Велес-ВП. Датчики температуры воздуха, воды и почвы размещались таким образом, что позволяли контролировать 2 слоя почвы (на глубине 5 и 15 см), слой воды (один датчик) и приземный слой воздуха (на высоте 5, 15, 25 и 200 см).

Экспресс-анализ кислотности и электропроводности поливной воды и дренажного стока выполнялся в магистральных, распределительных, сбросных каналах и в рисовых чеках. Измерения проводились с использованием солемера HMDigital TDS-4 TM и портативного измерителя pH для водной среды Мультимонитор PH-0101.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Сравнение текущих климатических показателей со средними значениями за предшествующее десятилетие показало, что 2021 г. по количеству выпавших осадков является аномальным, их значительное увеличение наблюдается в апреле и августе с дефицитом в июле. Сумма температур за поливной период составила 3104 °С, что на 402 °С больше многолетних 2702 °С.

Сравнительный анализ собранных данных показал существующую пространственно-временную неравномерность распределения выпадающих осадков и значительные температурные колебания текущего

вегетационного периода, что подтверждает важность и необходимость оперативного агрометеорологического управления, включающего операции по перераспределению водоподачи по оросительным системам и корректировку режимов орошения риса и других сельскохозяйственных культур.

С целью идентификации параметров динамической модели формирования урожая риса выполнялись непрерывные круглосуточные измерения температуры почвы, воды и приземного слоя атмосферы. Установлено, что в мае температура воды была выше температуры воздуха над водной поверхностью в среднем порядка 2,7 °С и верхний 10 см слой воды в наибольшей степени аккумулирует тепло в световую часть суток и сохраняет его в течение ночи.

Мониторинг температурного режима вегетации посевов позволяет контролировать и оптимизировать условия теплообеспеченности по фазам развития с помощью различных агрометеорологических приемов, в том числе, за счет регулирования уровня воды или создания проточности в чеке.

Экспресс-анализ кислотности и электропроводности поливных и дренажных вод показал, что уровень pH находился в пределах значений 7...8 (нейтральная – слабощелочная водная среда). Наибольшие значения электропроводности обнаружены в картовых сбросах и сбросных каналах. На некоторых точках были зафиксированы значения до 1000 ppm (20 мг-экв/л). В оросительных каналах значения электропроводности находились в пределах 180...200 ppm (3,6...4 мг-экв/л), в рисовых чеках – 170...300 ppm (3,4...6 мг-экв/л). В поступающей в рисовые чеки по оросительным каналам поливной воде не было обнаружено повышенного содержания растворенных веществ.

С целью обеспечения постоянного контроля состава и форм соединений и концентраций растворенных веществ, попадающих со сбросными водами на водосборную площадь, необходимы систематические эколого-мелиоративные обследования с последующим анализом динамики накопления наиболее токсичных поллютантов в почвах, поверхностных и грунтовых водах. В случае постоянного превышения ПДК необходим переход на щадящие технологии со сбалансированным антропогенным воздействием на объекты окружающей среды [7].

Почвы обследуемых территорий представлены слитыми черноземами. Слитой горизонт отличается значительной плотностью в сухом состоянии, высокой пластичностью и слабой водопроницаемостью во влажном. При определении водопроницаемости методом рам расчетное значение коэффициента фильтрации составило менее 0,003 м/сут, что характерно для водонепроницаемых глинистых почвогрунтов. Почвы участков, находящихся в плавневой зоне рисосеяния, относятся к гидроморфным, для которых свойственно переувлажнение в течение длительного времени. Верхняя часть профиля, мощностью до 30...70 см, представляет собой черноокрашенную бесструктурную массу, переходящую в глинистую минеральную толщу, подстилаемую материнской породой с признаками огле-

ения. Грунтовые воды отличаются высокой минерализацией (до 4 г/л в предполивной период). В табл. 1 приведены усредненные данные, полученные в ходе анализа почвенных образцов в лаборатории ВНИИ-ГиМ, в лаборатории аналитических и регистрационных испытаний ФГБНУ ФНЦ «Немчиновка», а также результаты агрохимических обследований, представленные на портале Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН), характеризующие плодородие и загрязнение почв изучаемой территории.

В ходе экспедиционных работ были визуально обследованы отдельные магистральные, распределительные и картовые оросительные каналы, сбросные коллекторы и другие гидротехнические сооружения, входящие в состав оросительной сети. Все обследуемые каналы внутрихозяйственной сети выполнены в земляном русле, что определяет потери воды при транспортировке.

Рисовые карты оросительных систем обследуемых участков по конструкции относятся к картам Краснодарского типа с раздельной подачей и водосбросом и характеризуются следующими параметрами: коэффициент земельного использования (КЗИ) 0,87 %; коэффициент полезного действия (кпд) водоподводящей сети 0,86 %; площадь клетки дренирования 80...100 га.

Для двух отличающихся по водообеспеченности участков Калининского филиала выполнен расчет динамики водного баланса по месяцам поливного сезона на основе фактических показателей ежемесячных объемов водоподдачи по водовыделам и агрометеорологических условий выращивания риса. Первый, обслу-

живаемый водовыделом А-2 (Кубанская оросительная система), имел 46 % дефицит от нормированной водоподдачи, а второй Р-3 (Марьяно-Чебургольская оросительная система) имел избыточное обеспечение на 12 % выше нормативного уровня. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Анализ исходных данных показал, что плановые объемы подачи воды строго согласованы с посевными площадями риса и оросительные нормы в среднем по всем водовыделам Калининского филиала составляют 21,4 тыс. м<sup>3</sup>/га. Однако фактические объемы водоподдачи по производственным данным отличаются от плановых, как в большую, так и в меньшую стороны до 10%. Значительные превышения по отдельным участкам могут быть отнесены к экологическим и рыбохозяйственным попускам, но чаще – к техническим потерям.

В приведенном выше примере водных балансов двух участков показана разница в водопользовании: на водовыделе Р-3 применение проточного режима орошения в качестве профилактического мероприятия возможного засоления почв, обусловленного низким фальтратационным режимом почв ( $K_{\phi} = 0,0012$ ), приводит к увеличению поверхностного и дренажного сброса поливных вод, достигающего до 65 % от поданного объема. В результате водопотребление на единицу орошаемой площади на водовыделе Р-3 в два раза выше, чем на водовыделе А-2.

По данным Информационного портала ФГБНУ ВНИИ «Радуга» за 2022 г. [8]. КПД Кубанской оросительной системы (водовыдел А-2) оценивается как 0,73, фактический износ составляет 72 %; КПД Марьяно-Че-

Таблица 1

**Агрохимические показатели почв обследуемых территорий участков ООО «Калининское» (1) и КФХ «Щербаков» (2)**

Показатель	Участок		Характеристика образца	
	1	2		
Содержание минеральных форм азота, мг/кг	19...24	20...30	Обеспеченность низкая (для слоя почвы 0...20 см по Гамзикову)	
Содержание подвижного фосфора (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), мг/кг	40...45	30...33	Обеспеченность низкая (по Чирикову)	
Содержание обменного калия (K <sub>2</sub> O), мг/кг	435...475	230...286	Обеспеченность очень высокая (по Чирикову)	
Мощность гумусового горизонта, см	30...80	30...50	Признаки деградации	
Органическое вещество, %	3,81	3,56	Малогумусные	
Содержание С, %	—	1,71	Низкое	
S, мг-экв/100 г почвы	11,3	8,9	Содержание среднее	
Ca, мг-экв/100 г почвы	25,6	19,6	Содержание высокое	
Mg, мг-экв/100 г почвы	5,2	6	Содержание высокое	
Кислотность	Гидролитическая	0,53	0,95	—
	Обменная, рН <sub>KCl</sub>	7,4	6,9	Нейтральная
	Активная, рН <sub>H2O</sub>	8,3	7,8	Слабощелочная
Содержание подвижных (валовых, (кислотнорастворимых) форм тяжелых металлов, мг/кг почвы			ПДК с учетом фона (для подвижных и валовых форм	
	Cu	0,18	0,72	3 (подв.)
	Zn	0,48	1,5	23 (подв.)
	Hg	0,05	0,03	2 (подв.)
	Pb	15,4	6,85	16 (подв.)
	Cd	0,13	0,13	0,5 (вал.)
	Ni	Нет данных	6,05	4 (подв.)
	As	6,4	2,7	10 (вал.)

Таблица 2

**Приходные и расходные статьи водного баланса тестовых участков рисовых посевов с учетом КПД каналов**

Период	Приход, мм	Расход, мм					Невязка	
	Поливы и осадки	Насыщение почвы	Фильтрация	Испарение	Транспирация	Проточность и сброс		Всего
<b>Водовыдел А-2, S = 1557 га, средняя отметка поверхности 0,24, <math>K_{\phi} = 0,0022</math> м/сут</b>								
Март	94,2	702,5	5,5	13,8	0,0	0,0	19,3	74,9
Апрель	31,7	671,9	12,6	75,0	1,1	0,0	88,7	-57,0
Май	260,7	802,5	68,2	58,9	51,4	30,0*	339,0	-78,3
Июнь	220,8	822,5	79,2	21,3	177,0	0,0	297,6	-76,7
Июль	335,7	902,5	136,4	1,9	229,6	0,0	447,9	-112,2
Август	164,7	794,7	77,8	0,3	222,4	0,0	300,4	-135,8
Сентябрь	113,9	630,8	11,8	8,9	41,2	31,1*	93,0	20,9
Октябрь	59,7	659,6	12,4	19,0	0,0	0,0	31,4	28,3
Итого	1127,6	-42,9	386,1	166,2	722,7	61,1	1336,1	-208,5
<b>Водовыдел Р-3, S = 1983 га, средняя отметка поверхности -0,67, <math>K_{\phi} = 0,0012</math> м/сут</b>								
Март	94,2	702,5	3,0	13,8	0,0	63,6	80,4	13,8
Апрель	157,3	702,5	3,4	75,0	1,1	15,5	95,0	62,3
Май	844,6	802,5	37,2	58,9	51,4	663,0	910,5	-65,9
Июнь	911,2	822,5	43,2	21,3	177,0	581,5	843,1	68,1
Июль	906,1	902,5	74,4	1,9	229,6	567,1	953,0	-46,9
Август	488,2	902,5	74,4	0,3	222,4	200,0	497,0	-8,8
Сентябрь	124,8	752,5	18,0	8,9	41,2	229,3	297,4	-172,6
Октябрь	59,7	702,5	9,6	19,0	0,0	112,2	140,8	-81,1
Итого	3432,3	0,0	250,6	166,2	722,7	2256,5	3396,0	36,3

\* Обязательный агротехнический сброс.

бургольской оросительной системы (водовыдел Р-3) – 0,73, фактический износ – 92%. Мелиоративное состояние до 73% от общей площади орошаемых сельскохозяйственных угодий по Краснодарскому краю оценивается как хорошее, в удовлетворительном состоянии находятся 15%, в неудовлетворительном состоянии по причинам недопустимой глубины УГВ и засоления почв – 12%. Проведение капитальных работ на оросительных системах в целом по краю требуется на площади 204 тыс. га, в комплексной реконструкции нуждается 136,4 тыс. га.

С целью научного обоснования мероприятий по снижению потерь воды в каналах межхозяйственной и внутрихозяйственной сети и на рисовых полях, были выполнены водобалансовые расчеты, моделирующие производственные ситуации водопотребления посевов риса, выращиваемых при соблюдении утвержденных агротехнических рекомендаций. По результатам модельных расчетов проведена критериальная оценка их эффективности.

В расчетах были использованы следующие параметры: площади, занятые рисовыми посевами и не рисовыми культурами, а также площади орошаемых и богарных земель, земель запаса, протяженность магистральных каналов и их КПД, объем водозабора и водоподачи на орошение риса и других сельскохозяйственных культур. Используемый в расчетах коэффициент фильтрации был дифференцирован по типу почв, согласно классификации по пяти категориям, приведенным в работе Е.В. Кузнецова с соавторами [9].

Кроме того, на воднобалансовых моделях были выполнены расчеты для сценария подачи поливной воды согласно проектным оросительным нормам (с учетом количества выпавших осадков за 2018 г.), приведенным в работе Н.Н. Малышевой [10].

В зависимости от вида мероприятий учитывались площади засоленных и незасоленных земель, распределение которых выполнялось пропорционально площадям рисовых оросительных систем, входящих в филиал. Отдельно учитывалось сочетание степени засоления и величина коэффициента фильтрации с целью выявления ситуаций, когда сокращение водоподачи на промывку недопустимо. Исходные данные по Калининскому филиалу приведены в табл. 3.

Перечень мероприятий, предложенный для экономии поливной воды:

Мероприятие 1 – снижение поверхностного стока (промывного режима) с рисовых чеков до предельных значений с соблюдением требуемого агротехнического слоя воды по фазам вегетации.

Мероприятие 2 – понижение слоя воды на поверхности чека в июле и августе с 20 до 13 см для условий выравнивания вертикального профиля поверхности чека ±3 см.

Таблица 3

**Исходные характеристики для воднобалансовых расчетов**

Коэффициент фильтрации	Площадь земель рисового посева, тыс. га	Засоленные земли, в % от общей площади	Средний за вегетацию КПД межхозсети	Проектная оросительная норма, тыс. м <sup>3</sup> /га
0,004	12,04	46,3	0,65	17

Мероприятие 3 – уплотнение грунта рисового чека, снижение фильтрационной способности (водопроницаемости) почв ( $K_{\phi} = 0,005...0,002$  м/сут). Мероприятие назначается только для земель с почвами 1-й и 2-й категорий среднего и легкого гранулометрического состава.

Мероприятие 4 – усиление вертикального и бокового оттока в чеках для случаев значительного переуплотнения верхнего слоя почвы (для земель с  $K_{\phi} \leq 0,001$  м/сут) для засоленных почв с целью создания промывного режима и снижения проточного обмена поверхностных вод рисового чека.

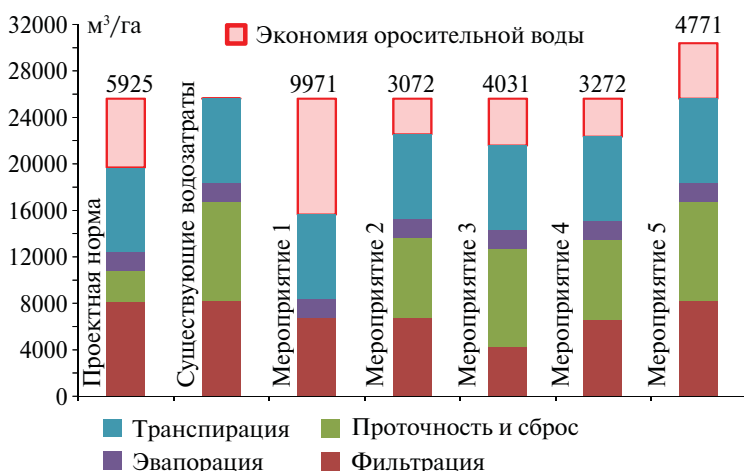
Мероприятие 5 – лазерная планировка поверхности рисового чека  $\pm 3$  см и, соответственно, снижение поверхностного слоя воды на протяжении поливного сезона.

Мероприятие 6 – реконструкция каналов межхозяйственной и внутрихозяйственной сети с применением гидроизоляции для повышения КПД транспортировки поливной воды до 0,85 и увеличение гидромодуля затопления чеков до 100 мм/сут, применительно к каналам с КПД менее 0,85.

По мероприятию 6 расчеты водного баланса выполнены при соблюдении расходных статей водопотребления, принятого для исходного состояния, а объем сэкономленной воды, связанный с изменением технического состояния водопроводящей системы, моделируется как снижение объемов водозабора на расчетную величину.

По всем предложенным мероприятиям выполнены модельные расчеты водного баланса рисовых полей с целью определения объемов поливной воды при условии соблюдения практикуемого режима орошения. Диаграммы водоподачи согласно проектным нормам, при существующей водоподаче (2018 г.) и при выполнении предложенных мероприятий с прогнозом экономии оросительной воды относительно существующего водопотребления приведены на рисунке.

Согласно вариантным расчетам водного баланса по Калининскому филиалу наиболее эффективным оказалось мероприятие 1 по снижению промывного режима рисовых чеков до предельных значений, снижение фильтрационного стока в данном меропри-



Распределения основных статей водного баланса рисовой оросительной системы Калининского филиала

ятии объясняется понижением слоя воды в чеке при заданном режиме орошения. Прогнозируемая экономия оросительной воды составит около 10 тыс. м<sup>3</sup>/га. Однако выполнение данного мероприятия невозможно на всей площади земель рисового посева из-за наличия засоленных орошаемых земель, занимающих 46,3% от общей площади филиала.

**Выводы.** По итогам проведенных полевых и камеральных исследований в двух рисосеющих хозяйствах Нижней Кубани, а также анализа научной литературы, задача повышения эффективности использования природного и производственного потенциала мелиоративного комплекса трансформировалась в поиск мер, реализация которых позволит смягчить возрастающее давление природных и экономических факторов на производственную и экологическую ситуацию на рисовых оросительных системах. В связи с чем, рекомендуется:

1. В целях сохранения инфраструктуры мелиоративного комплекса Нижней Кубани, как основного и необходимого производственного ядра рисосеющей отрасли, оптимизировать текущий ремонт гидротехнических сооружений межхозяйственной и внутрихозяйственной оросительных систем с учетом существующей структуры производства.

2. Провести паспортизацию элементов оросительных систем и выполнить геодезические изыскания для учета фактических уклонов внутрихозяйственных и межхозяйственных каналов с целью уточнения их гидравлических характеристик для оптимизации эксплуатационных режимов подачи воды по каналам при поливах.

3. Провести детальные полевые изыскания для разработки пилотного проекта по мониторингу и цифровизации функционирования инженерных водорегулирующих систем межхозяйственной и внутрихозяйственной сети с целью реализации оперативного управления режимами водоподачи в рисовые чеки по гидрологическим показателям наличия водных ресурсов и агрометеорологическим параметрам водопотребности рисовых посевов.

4. Реализовать пилотный проект по оценке эффективности сортовой агротехники при управлении выращиванием культуры риса с учетом динамики почвенно-метеорологических условий и средоформирующих возможностей водных мелиораций по регулированию гидротермического режима приземного слоя атмосферы. Заложить практические основы для перехода от экстенсивного водопотребления к сортовой агротехнике интенсивного типа с водосберегающим режимом орошения.

5. Провести научные исследования по изучению влияния антропогенной нагрузки и сельскохозяйственной деятельности на сформировавшуюся агроэкосистему.

6. Внедрять научно обоснованные технологии оборотного использования воды при соблюдении условия экологически безопасного химического состава сбросных вод на рисовых оросительных системах.

Выполненный по наиболее изученному Калининскому филиалу расчетный анализ мероприятий для экономии поливной воды, проведенный при помощи разработанной воднобалансовой модели, показал что:

- наибольший ожидаемый эффект с единицы площади рисового посева может быть получен при снижении затрат поливной воды на проточность и поверхностный сброс с рисовых чеков (мероприятие 1);
- высокий эффект может быть получен при снижении коэффициента фильтрации почв легкого гранулометрического состава путем ее контролируемого уплотнения и последующей тщательной планировки поверхности поля;
- мероприятия по реконструкции водоподающих каналов межхозяйственной сети оказались по значимости на третьем месте.

Комплекс работ по снижению потерь воды на фильтрацию и испарение за счет гидроизоляции русел каналов, удаления растительности, сокращения времени доставки воды от водозабора до рисовых чеков оказывается менее эффективным, чем мероприятия, связанные со снижением проточности в рисовых чеках.

Объектом, на котором фактически реализованы основные предложенные и обоснованные водобалансовыми расчетами мероприятия, а также достигнуты наивысшие показатели рационального водопользования и культуры земледелия, является Северский филиал, где водопотребление на 1 га посева риса составляет около 16,2 тыс. м<sup>3</sup> при урожайности 7,01 т/га (по данным 2018 г.).

Согласно аналогичным расчетам, итоговый прогнозируемый объем экономии водных ресурсов по восьми филиалам ФГБУ «Управления «Кубаньмелиоводхоз» за поливной сезон при реализации наиболее эффективных мероприятий может составлять до 698,5 млн м<sup>3</sup> (34% от водоподачи на рис по филиалам ФГБУ «Управления «Кубаньмелиоводхоз» по данным 2018 г.).

**Заключение.** На сегодняшний день производственная ситуация такова, что для поддержания заданного режима орошения в условиях имеющейся изношенности гидротехнических сооружений и оборудования, изменений агромелиоративного состояния почв (переуплотнение, засоление) необходима компенсация за счет подачи дополнительных объемов воды на орошение. Объемы затрачиваемых ресурсов на вынужденные растущие технические сбросы и потери, использование проточности и других водоемких агроприемов, с одной стороны, позволяют обеспечить своевременную подачу воды и улучшить водный режим посевов риса, но с другой, провоцируют истощение природно-ресурсного потенциала и повышают антропогенную нагрузку на водные экосистемы и пахотный горизонт почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердников А.С., Владимиров С.А., Марченко С.А. Пути повышения эффективности использования земельных ресурсов в рисоводстве Краснодарского края // *Epomen. Global*. 2019. № 1. С. 26–33.  
 2. Владимиров С.А., Малышева Н.Н. К вопросу исследования продукционного потенциала периода между последовательными посевами риса // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 71-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2015 г.* 2016. С. 148–149.

3. Дубенок Н.Н. Состояние и перспективы развития мелиорации земель в Российской Федерации // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2017. № 2. С. 27–31.  
 4. Добрачев Ю.П., Исаева С.Д., Федотова Е.В. Проблемы водообеспечения рисоводства на Нижней Кубани // *Эффективное использование мелиорируемых земель и водных ресурсов в агропромышленном комплексе России*. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2021. С. 236–242.  
 5. Нагалецкий Э.Ю., Нагалецкий Ю.Я., Папенко И.Н. Региональная мелиоративная география. Краснодарский край: монография. Краснодар: КубГАУ, 2013. 280 с.  
 6. Шевченко В.А. Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности страны // *Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности*. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2022. С. 8–11.  
 7. Меньшикова С.А., Филиппов С.А. Влияние сбросных вод с рисовых карт-чеков на водные объекты Калининской оросительной системы // *Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сборник материалов Международной научно-практической конференции посвященной памяти академика РАН В.П. Зволинского и 30-летию создания ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»*. Соленое Займище: Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, 2021. С. 840–844.  
 8. Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/fgbu/94> (дата обращения 23.11.2023).  
 9. Ресурсные технологии повышения мелиоративного состояния рисовых оросительных систем: монография / Е.В. Кузнецов, М.И. Чеботарёв [и др.]. Краснодар: КубГАУ, 2017. 87 с.  
 10. Малышева Н.Н. Водохозяйственный комплекс и рациональное водопользование в Краснодарском крае // *Агропромышленная газета юга России*, № 13–14 (458–459). Краснодар, 2017. С. 12–13 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agropromyug.com/nauka/89-o-rabote-meliorativnogo-kompleksa-krasnodarskogo-kraya-v-tekushchem-selskokhozyajstvennom-godu.html>

REFERENCES

1. Berdnikov A.S., Vladimirov S.A., Marchenko S.A. Ways to increase the efficiency of land resources use in rice growing in Krasnodar Krai // *Epomen. Global*. 2019. No. 1. P. 26–33.  
 2. Vladimirov S.A., Malysheva N.N. On the issue of studying the production potential of the period between successive rice crops // *Scientific support of the agro-industrial complex. Collection of articles based on the materials of the 71st scientific and Practical conference of teachers on the results of research in 2015*. 2016. P. 148–149.  
 3. Dubenok N.N. State and prospects of land reclamation development in the Russian Federation // *Land reclamation and water management*. 2017. No. 2. P. 27–31.  
 4. Dobrachev Yu.P., Isaeva S.D., Fedotova E.V. Problems of water supply of rice farming in the Lower Kuban // *Effective use of reclaimed lands and water resources in the agro-industrial complex of Russia*. М.: А.Н. Kostyakov VNIIGiM, 2021. P. 236–242.  
 5. Nagalevsky E.Yu., Nagalevsky Yu.Ya., Papenko I.N. Regional reclamation geography. Krasnodar Krai: monograph. Krasnodar: KubGAU, 2013. 280 p.  
 6. Shevchenko V.A. The role of land reclamation in ensuring food security of the country // *The role of land reclamation in ensuring food security*. М.: FSBI «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov», 2022. Pp. 8–11.  
 7. Menshikova S.A., Filippov S.A. The influence of waste water from rice card checks on water bodies of the Kalinin irrigation system // *Scientific support for the sustainable development of the agro-industrial complex. Collection of materials of the International scientific and practical Conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences V.P. Zvolinsky and the 30th anniversary of the establishment of the FSBI «PAFSC RAS»*. Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Salty Zaymishche, 2021. P. 840–844.  
 8. Portal of the Federal State Budgetary Institution Information All-Russian Research Institute «Raduga». URL: <https://inform-raduga.ru/fgbu/94> (access date 11/23/2023).  
 9. Resource technologies for improving the reclamation status of rice irrigation systems: monograph / E.V. Kuznetsov, M.I. Chebotarev [and others]. Krasnodar: KubGAU, 2017. 87 p.  
 10. Malysheva N.N. Water management complex and rational water use in the Krasnodar region // *Agro-industrial newspaper of the*

south of Russia, No. 13–14 (458–459) April 17–30, 2017. Krasnodar, 2017. P. 12–13. URL: <https://www.agropromyug.com/nauka/89-orabote-meliorativnogo-kompleksa-krasnodarskogo-kraya-v-tekushchem-selskokhozyajstvennom-godu.html>

**Шевченко Виктор Александрович**, академик РАН, доктор с.-х. наук, директор, [shevchenko.v.a@yandex.ru](mailto:shevchenko.v.a@yandex.ru); **Меньшикова Снежана Александровна**, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотрудник отдела

управления плодородием почв мелиорируемых земель, [ten.s.a@mail.ru](mailto:ten.s.a@mail.ru), ORCID ID 0000-0001-6216-6805; **Бубер Алина Александровна**, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник отдела мелиоративно-водохозяйственного комплекса, [buberalina@gmail.com](mailto:buberalina@gmail.com), ORCID ID 0000-0003-4522-6807; **Добрачев Юрий Павлович**, доктор техн. наук, гл. научный сотрудник отдела мелиоративно-водохозяйственного комплекса, [dobrachev@yandex.ru](mailto:dobrachev@yandex.ru), ORCID ID 0000-0002-2186-3652 (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова»).

УДК 631-674

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕДВИЖНЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ



**Н. Н. ДУБЕНОК, М. В. КЛИМАХИНА, Р. В. КАЛИНИЧЕНКО, А. В. ГЕМОНОВ**

**Ключевые слова:** орошение, модуль системы капельного орошения, засушливые периоды, коэффициент естественного увлажнения, передвижные системы орошения, снижение урожайности, изменение климата.

**Keywords:** irrigation, drip irrigation system module, dry periods, natural moisture coefficient, mobile irrigation systems, yield reduction, climate change.

Деградация сельскохозяйственных земель при изменении климатических условий в настоящее время представляет одну из важнейших социально-экономических проблем, которая создает угрозу экологической, экономической и в целом национальной безопасности России. В статье рассмотрены вопросы, связанные с применением передвижных систем капельного орошения при изменении климатических условий в Нечерноземной зоне.

По результатам исследований установлено, что неравномерное выпадение осадков, сумма за декаду в основном варьируется от 0 до 28 мм, местами до 32...51 мм, приводит к атмосферной засухе средней и сильной интенсивности при этом снижении урожайности с.-х. культур в засушливые годы достигает 40% и более.

Был определен коэффициент естественного увлажнения за вегетационный период подекадно, начиная с 1995 по 2020 г., который позволил выявить периодичность наступления засушливых периодов за вегетацию при изменении климата в сторону потепления. Во все годы (25 лет) в вегетацию наблюдались засушливые периоды разной степени продолжительности с коэффициентом увлажнения 0,48...0,8, что говорит о необходимости применения орошения в Нечерноземной зоне РФ.

Орошение в засушливые периоды вегетации целесообразно осуществлять передвижными системами, которые восполняют дефицит влаги в почве и могут быть перемещены с одного участка севооборота на другой.

Разработанная технология капельного орошения позволяет оперативно, в течение 1 суток, осуществить сборку, перемещение, установку и ввод в эксплуатацию модуля системы капельного орошения для культур рядкового сева

The degradation of agricultural land under changing climatic conditions currently represents one of the most important socio-economic problems, which poses a threat to the environmental, economic and national security of Russia in general. The article deals with issues related to the use of mobile drip irrigation systems under changing climatic conditions in the Non-Chernozem zone.

According to the research results, it was found that uneven precipitation, the amount for a decade mainly varies from 0 to 28 mm, in some places up to 32–51 mm, leads to atmospheric drought of medium and at the same time, the decrease in the yield of agricultural crops in dry years reaches 40% or more.

The coefficient of natural moisture during the growing season was determined on a decadal basis, starting from 1995 to 2020, which made it possible to identify

the frequency of the onset of dry periods during the growing season with climate change in the direction of warming. In all years (25 years) during the growing season, dry periods of varying degrees of duration were observed with a moisture coefficient of 0,48–0,8, which indicates the need for irrigation in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. Irrigation during dry periods of vegetation is advisable to carry out mobile systems that make up for the lack of moisture in the soil and can be moved from one crop rotation site to another.

The developed drip irrigation technology allows you to quickly, within 1 day, assemble, move, install and put into operation the drip irrigation system module for row crops.

**Введение.** Деградация сельскохозяйственных земель при изменении климатических условий в настоящее время представляет одну из важнейших социально-экономических проблем, которая создает угрозу экологической, экономической и в целом национальной безопасности России.

Мелиорация является наиболее интенсивным антропогенным фактором воздействия на природную среду, направленным на повышение эффективности использования компонентов биосферы и природных ресурсов. Вместе с тем, мелиоративные преобразования отдельных территорий ландшафта могут существенно и надолго обеспечить повышение продуктивности фитоценозов, стимулировать почвообразовательные процессы, создать необходимые условия для производства сельскохозяйственной продукции и благоприятные условия для жизнедеятельности природных экосистем.

Регулируя гидротермический режим почвы, мы позволяем населяющим ее организмам сохранять свою жизнедеятельность при определенных значениях температуры и влажности. Существенным резервом нормированного использования влаги являются правильный выбор и рациональное применение различных способов полива сельскохозяйственных угодий, что особенно актуально в современных изменяющихся климатических условиях.

Прошедшее лето 2022 г. стало самым жарким в Европе за период наблюдений за погодой (минимум за 500 лет) сообщила Европейская служба по изменению климата Copernicus. Средняя температура за сезон по региону на 0,4° выше, чем в предыдущем году.

В России, начиная с июля 2022 г., установилась жаркая и сухая погода. На всей территории Нечерноземной зоны наблюдалась погода теплее обычной, средняя за декаду температура воздуха превышала средние многолетние значения на 1...4 °С. Дожди выпадали неравномерно, их сумма за декаду в основном варьировала от 0 до 28 мм, местами повышалась до 32...51 мм. Влагозапасы в пахотном слое почвы в основном были достаточные, а местами пониженные – менее 20 мм, на отдельных полях низкие – менее 10 мм. На территории местами наблюдалась атмосферная засуха средней и сильной интенсивности. Также в южной и юго-восточной частях Нечерноземной зоны наблюдалась почвенная засуха.

Снижение урожайности сельскохозяйственных культур в засушливые годы достигает 40 % и более по сравнению с благоприятными годами по увлажнению. Смягчение отрицательных последствий роста засушливости климата и улучшение водного режима почв Нечерноземной зоны можно осуществлять за счет передвижных систем орошения [1, 2].

**Цель.** Обоснование необходимости применения передвижных систем капельного орошения при изменении климатических условий в Нечерноземной зоне.

**Материалы и методы.** Исследования проводили на стационарном полевом опыте в Подольском районе Московской области в 2020 г. Севооборот овоще-кормовой: лук репчатый, свекла, картофель, морковь. Орошение овощных культур осуществлялось передвижной системой капельного орошения. Передвижная система капельного орошения эксплуатировалась вдоль открытого канала. Длина участка около 1000 м, ширина 700 м.

В 2020 г. основные возделываемые овощные культуры – репчатый лук, картофель.

Комплект капельного орошения применялся на мелкоконтурном участке площадью 3,75 га, состоящий из четырех последовательно поливаемых участков (модулей) площадью 0,94 га на посевах репчатого лука.

**Результаты и их обсуждение.** Для оценки влагообеспеченности вегетационного периода по агроклиматическим характеристикам и влажностных условий ведения сельского хозяйства на территории, в соответствии с РД, использовались показатели, которые представляют собой отношение количества влаги, обеспечиваемой атмосферными осадками, или запасов продуктивной влаги, сформированных в корневых горизонтах почвы (поступление), к ее потреблению (испарению) за период времени.

В качестве одного из таких показателей использовался коэффициент (ГТК) Селянинова [3], который характеризует атмосферные засухи за многолетний период на территориях:

$$\text{ГТК} = \sum R / 0,1 \sum T,$$

где  $\sum R$  – сумма осадков за период с температурой выше 10 °С (обычно июнь–август);  $\sum T$  – сумма температур выше 10 °С за тот же период.

Градации ГТК Селянинова за период июнь–август: избыточно влажная зона – более 1,6; влажная зона – 1,6...1,3; недостаточно влажная зона – 1,3...1;

Таблица 1

**Риски сильных атмосферных засух за период 1966–2015 гг.**

Субъект РФ	Вероятность, %	
	Август	Сентябрь
Брянская обл.	30	16
Владимирская обл.	22	6
Ивановская обл.	16	10
Калужская обл.	24	8
Костромская обл.	8	4
Московская обл.	12	4
Орловская обл.	30	10
Рязанская обл.	20	16
Смоленская обл.	12	8
Тверская обл.	6	2
Ярославская обл.	10	2

засушливая зона – 1...0,7; очень засушливая зона – 0,7...0,4; полупустынная зона – 0,4...0,3; пустынная зона – 0,4...0,3 [3, 4].

Вероятность сильных засух (ГТК ≤ 0,60) в августе и сентябре представлены в табл. 1.

Потребность во влаге сельскохозяйственных культур для формирования урожая в Нечерноземной зоне составляет от 440 до 560 мм за сезон, что может быть обеспечено только дополнительным увлажнением. Количество атмосферных осадков в этот период чаще всего значительно меньше и составляет с мая по сентябрь от 223 до 452 мм [2].

При нарастании сухости климата в почвах усиливается проявление таких негативных свойств, как карбонатность, малогумусность, усложняется структура почвенного покрова за счет развития комплексности [5]. Дефицит атмосферных осадков ограничивает усвоение почвой вносимых удобрений, так как при недостатке влаги в почве применяемые удобрения плохо или совсем не растворяются.

Продолжительность засух колеблется в зависимости от зоны от нескольких дней до 3...4 месяцев (лесная зона – средняя за год – 15 дней, наибольшая за сезон – 38...52 дня) [5].

Как показали наши исследования, влага расходуется преимущественно из верхних горизонтов почвы, что согласуется с многочисленными литературными данными. Это объясняется тем, что в верхних горизонтах почвы находится основная масса корней растений и интенсивность влагообмена в них, при наличии доступных влагозапасов, всегда выше, чем в нижних. Кроме того, верхние слои почвы подвержены наиболее сильному воздействию внешних факторов (температуры, влажности воздуха, скорости ветра, уровня радиации), оказывающих непосредственное влияние на процесс физического испарения влаги из почвы [1].

Исследования, проведенные в Московской области, показали, что в период вегетации почвенная влага под действием нарастающих температур и транспирации растительного покрова расходуется до 3...4 мм в сутки.

Еще чаще условия недостаточного увлажнения возникают в отдельные месяцы вегетационного пери-

ода: в мае – 64 %, в июне – 46 %, в июле – 25 %, в августе – 47 %.

Для Нечерноземной зоны коэффициент естественного увлажнения  $\alpha$  в целом за год составляет 1, за вегетационный период – в среднем от 0,7 до 1 (май–сентябрь). В отдельные месяцы вегетации он снижается до 0,5...0,6.

$$\alpha = O_c / E, (1)$$

где  $O_c$  – сумма осадков за месяц, мм;  $E$  – суммарное испарение за месяц, мм.

Коэффициент естественного увлажнения нами определен за вегетационный период подекадно, начиная с 1995 по 2020 г., что позволило выявить периодичность наступления засушливых периодов при изменении климата в сторону потепления [1, 7].

Анализ полученных результатов показывает, что во все годы (25 лет) в вегетацию наблюдались засушливые периоды разной степени продолжительности и интенсивности.

В табл. 2 приведены средние значения коэффициента увлаженности территории и количество декад с коэффициентом 0...0,8, когда естественное увлажнение очень незначительно или отсутствует совсем.

Анализируя полученные результаты, приходим к выводу, что даже в годы с коэффициентом увлажнения  $\geq 1$ , в вегетацию наблюдаются периоды с низким

Таблица 2

**Средние значения коэффициента увлажненности территории и количество декад с коэффициентом 0...0,8**

Год	Коэффициент увлажнения	Количество декад
1995	0,59	9
1996	1,02	8
1997	0,8	11
1998	1,58	6
1999	0,72	12
2000	1,3	8
2001	0,99	10
2002	0,48	13
2003	1,54	7
2004	1,3	7
2005	0,72	10
2006	0,9	10
2007	0,52	12
2008	1,27	7
2009	0,97	7
2010	0,7	10
2011	0,67	11
2012	0,92	7
2013	2,65	8
2014	0,65	10
2015	1,34	8
2016	1,15	5
2017	1,05	6
2018	0,65	12
2019	0,69	10
2020	1,82	6

коэффициентом увлажнения территории, что говорит о необходимости орошения.

Осадки представляют только одну, хотя и очень важную часть условий роста растений в вегетационный период. Поскольку во все без исключения годы урожай сельскохозяйственных культур формируется за счет осадков, выпавших в основные фазы их развития, то для предотвращения отрицательного воздействия засушливых периодов на рост и развитие культур, для получения гарантированных урожаев применяется орошение [6, 7, 11, 12].

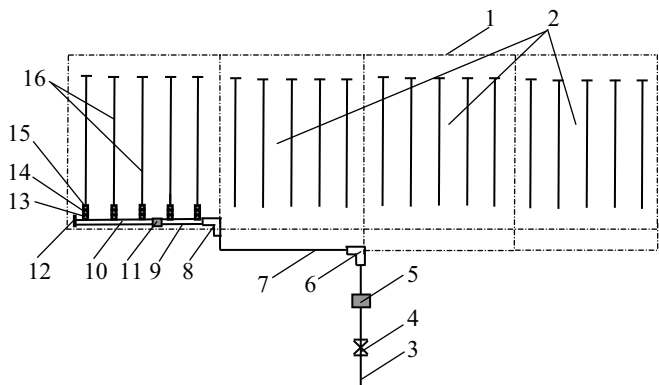
Орошение в засушливые периоды вегетации удобнее осуществлять передвижными системами, которые восполняют дефицит влаги в почве и могут быть перемещены с одного участка севооборота на другой [2, 6, 7, 11].

Передвижные дождевальные системы состоят из передвижной насосной станции, сборно-разборных трубопроводов и дождевальных машин барабанного типа. Такое устройство оросительной сети позволяет производить орошение на тех полях, где оно необходимо в данный момент времени. Дождевание требует больших объемов воды на полив, что не всегда возможно в засушливые периоды.

Капельное орошение имеет ряд преимуществ, по сравнению с дождеванием, и стало широко применяться для орошения различных групп культур. Прежде всего это меньшие объемы воды на орошение, что важно, при дефиците воды в засушливый период, и обмелении источников орошения [13, 14].

Раскладка и сбор капельной линии занимает меньше времени, что ведет к уменьшению трудозатрат на производство полива, возможность орошения нескольких участков.

Нами предложена передвижная система капельного орошения (рисунок) [8]. На рисунке показан общий вид устройства капельного орошения на территории опытного участка в границах 1, разделенных на последовательно поливаемые участки 2. Состоит из полиэтиленовых труб, магистрального напорного трубопровода 3 с входным краном 4, сетчатого фильтра 5, с подсоединенным к нему, через шарнирно установленный уголок 6, распределительного трубопровода 7 с поворотным уголком 8 и подсоединяемым к нему переносного участка трубопровода 9, выполненного из мягкого плоскостворачиваемого ПВХ-шланга 10 с быстроразъемными соединениями 11, заглушкой 12 и установ-



**Передвижная система капельного орошения**



ленных на звеньях 10 водовыпусков 13 с патрубками 14 с быстроразъемными соединениями 15, для подсоединения поливных трубопроводов капельного орошения 16 с заглушками 17.

Передвижная система капельного орошения эксплуатировалась вдоль открытого канала. Длина участка около 1000 м, ширина 700 м. В 2020 г. основные возделываемые овощные культуры – репчатый лук, картофель.

Комплект капельного орошения применялся на мелкоконтурном участке площадью 3,75 га, состоящий из четырех последовательно поливаемых участков (модулей) площадью 0,94 га на посевах репчатого лука.

Разработанная технология позволяет оперативно, в течение суток, осуществить сборку, перемещение, установку и ввод в эксплуатацию модуля системы капельного полива. Это достигается тем, что все трубопроводы капельного орошения, а именно, магистральный, распределительный, участковый выполнены передвижными, разборными, снабжены быстроразъемными подсоединениями друг к другу с любого торца, состоящими из звеньев труб равной длины и диаметра, оснащенных водовыпусками с патрубками и быстроразъемными соединениями с поливными трубопроводами. Предусмотрена возможность их укладки поочередно с двух сторон.

Перемещение капельных линий с одного участка на другой должно осуществляться с помощью бестраншейного трубоукладчика линий поливных трубопроводов. Количество бухт капельных линий на укладчике может быть различным (4...12 шт.) и определяется агротехническими особенностями (расстояние между рядов, количество растений в ряду) и режимом орошения культуры [8].

Все компоненты системы капельного орошения производятся в России, что немаловажно при импортозамещении.

Исследования проводились на опытном участке с посевом лука. Так как основная масса корней лука в период наибольшего роста размещается в пределах пахотного слоя, поэтому оптимальные условия для роста и развития растений нужно создавать в 20...30-сантиметровом слое почвы. В Нечерноземной зоне эти культуры поливают небольшими нормами (200 м<sup>3</sup>/га) с интервалом 20...25 дней. В сухую и теплую погоду межполивной период сокращается до 12...15 дней. Репчатый лук во влажной и избыточно-влажной зонах поливают 1...3 раза [9].

Так как при капельном орошении увлажняется не вся площадь поля, а только зона действия корневой системы, то норму полива при капельном орошении можно уменьшить в 1,5...2 раза по сравнению с дождеванием.

Норма орошения дождеванием при обеспеченности 75% в Московской области для овощных культур составляет 950 м<sup>3</sup>/га с учетом потерь воды (коэффициент потерь воды на поле 1,17) оросительная норма возрастает до 1100 м<sup>3</sup>/га [10].

Для условий Московской области оросительная норма при капельном орошении 550...600 м<sup>3</sup>/га, что составляет половину от оросительной нормы при дожде-

вании. Уменьшение поливной нормы в 2 раза является немаловажным фактором при дефиците осадков в засушливые периоды вегетации и заборе воды на орошение из открытых водоисточников.

### Выводы

1. По результатам исследований установлено, что неравномерное выпадение осадков, сумма за декаду в основном варьируется от 0 до 28 мм, местами до 32–51 мм, приводит к атмосферной засухе средней и сильной интенсивности.

2. Снижение урожайности с.-х. культур в засушливые годы достигает 40% и более по сравнению с благоприятными годами по увлажнению.

3. Определен коэффициент естественного увлажнения за вегетационный период подекадно, начиная с 1995 по 2020 г., который позволил выявить периодичность наступления засушливых периодов за вегетацию при изменении климата в сторону потепления. Анализ полученных результатов показывает, что во все годы (25 лет) в вегетацию наблюдались засушливые периоды разной степени продолжительности с коэффициентом увлажнения 0,48 – 0,8, что говорит о необходимости применения орошения в Нечерноземной зоне РФ.

4. Орошение в засушливые периоды вегетации целесообразно осуществлять передвижными системами, которые восполняют дефицит влаги в почве и могут быть перемещены с одного участка севооборота на другой.

5. Разработанная технология капельного орошения позволяет оперативно, в течение суток, осуществить сборку, перемещение, установку и ввод в эксплуатацию модуля системы капельного полива.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубенок Н.Н., Климахина М.В. Обоснование необходимости страхового орошения сельскохозяйственных культур в Нечерноземной зоне РФ // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 4. С. 46–47. EDN MSRIZT.
2. Ольгаренко Г.В. Основные направления разработки отечественных технических средств микроорошения для мелкоконтурных участков // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 5. С. 82–85. EDN VZYEWN.
3. Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. Л.: Гидрометеиздат, 1937. С. 5–27.
4. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1960. 622 с.
5. Панов Н.П., Мамонтов В.Г. Почвенные процессы в орошаемых черноземах и каштановых почвах и пути предотвращения их деградации. М.: Россельхозакадемия, 2001. 253 с.
6. Ольгаренко Г.В. Технологическое оборудование для орошения мелкоконтурных участков сельскохозяйственных предприятий, фермерских и личных подсобных хозяйств // Вестник Московского государственного областного социально-гуманитарного института. 2011. № 1(11). С. 104–106. EDN FRJXFE.
7. Жатканбаева А.О., Козыкеева А.Т., Мустафаев Ж.С. Оценка эффективности использования оросительной воды при мобильной системе капельного орошения // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения) с международным участием (г. Новочеркасск, 06–23 ноября 2018 г.). Вып. 16. Ч. 1. Новочеркасск: Лик, 2018. С. 17–22. EDN YUCHGX.
8. Отчет о выполнении НИР «Проведение исследований, разработка технологий и подготовка технических предложений на модули передвижной системы капельного орошения сельскохозяйственных культур рядкового сева». № госрегистрации ААА-А-А20–120062390069–8, 2020.
9. ГОСТ Р 58331.3–2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных куль-

тур. Общие требования. Введ. 2019–03–15. М.: Стандартиформ, 2019. 25 с.

10. Режим орошения, способы и техника полива овощных и бахчевых культур в различных зонах РФ. Руководство. М.: Россельхозакадемия, 2010. 82 с.

11. Mobile power supply for drip irrigation systems / A. Rajabov, A. Bokiev, N. Nuralieva, S. Sulstonov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kari Niyozov street, 39-house, Tashkent City, 23–25 апреля 2020 г. P. 012109. DOI 10.1088/1757-899X/883/1/012109. EDN UQROTU.

12. Mode of rice drip irrigation / I.P. Kruzhilin, M.A. Ganiev, V.V. Melikhov [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, No. 24. P. 7118–7123. EDN XXNHRJ.

13. Institutional and management implications of drip irrigation introduction in collective irrigation systems in Spain / M. Ortega-Reig, C. Sanchis-Ibor, M. García-Mollá [et al.] // Agricultural Water Management. 2017. Vol. 187. P. 164–172. DOI 10.1016/j.agwat.2017.03.009. EDN YZZHHL.

14. Simulation of drip irrigation on slope lands / V. Alekseev, S. I. Chuchkalov, V. Philippov [et al.] // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019), Kazan, 13–14 ноября 2019 г. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 00218. DOI 10.1051/bioconf/20201700218. EDN JIHCJF.

#### REFERENCES

1. Dubenok N.N. Klimakhina M.V. Justification of the need for insurance irrigation of agricultural crops in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2010. No. 4. Pp. 46–47.

2. Olgarenko G.V. Main directions of development of domestic technical means of micro-irrigation for small-contour plots // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2016. Vol. 30, No. 5. Pp. 82–85. EDN VZYEWN.

3. Selyaninov G.T. Methodology of agricultural climate characteristics. L: Hydrometeoizdat, 1937. Pp. 5–27.

4. Kostyakov A.N. Fundamentals of land reclamation. M.: Selkhozgiz, 1960. 622 p.

5. Panov N.P., Mamontov V.G. Soil processes in irrigated chernozems and chestnut soils and ways to prevent their degradation. M.: Russian Agricultural Academy, 2001. 253 p.

6. Olgarenko G.V. Technological equipment for irrigation of small-scale plots of agricultural enterprises, farms and personal subsidiary farms // Bulletin of the Moscow State Regional Socio-Humanitarian Institute. 2011. № 1(11). Pp. 104–106. EDN FRJXFE.

7. Zhatkanbayeva A.O., Kozykeeva A.T., Mustafayev Zh.S. Evaluation of the efficiency of irrigation water use with a mobile drip irrigation system // Melioration and water management: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov readings) with international participation, Novocherkassk, November 06–23, 2018. Vol. 16. Part 1. Novocherkassk: Lik, 2018. Pp. 17–22. EDN YUCHGX.

8. Report on the implementation of research and development «Research, technology development and preparation of technical proposals for modules of a mobile drip irrigation system for row crops». State registration No. AAAA20–120062390069–8, 2020.

9. GOST R 58331.3–2019. Reclamation systems and structures. Water demand for irrigation of agricultural crops. General requirements. Introduction. 2019–03–15. М.: Стандартиформ, 2019. 25 p.

10. Irrigation regime, methods and techniques for watering vegetable and melon crops in various zones of the Russian Federation. Manual. M.: Russian Agricultural Academy, 2010. 82 p.

11. Mobile power supply for drip irrigation systems / A. Rajabov, A. Bokiev, N. Nuralieva, S. Sulstonov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tashkent City, 23–25 апреля 2020 г. Kari Niyozov street, 39-house, Tashkent City, 2020. P. 012109. DOI 10.1088/1757-899X/883/1/012109. EDN UQROTU.

12. Mode of rice drip irrigation / I.P. Kruzhilin, M.A. Ganiev, V.V. Melikhov [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, No. 24. P. 7118–7123. EDN XXNHRJ.

13. Institutional and management implications of drip irrigation introduction in collective irrigation systems in Spain / M. Ortega-Reig, C. Sanchis-Ibor, M. García-Mollá [et al.] // Agricultural Water Management. 2017. Vol. 187. P. 164–172. DOI 10.1016/j.agwat.2017.03.009. EDN YZZHHL.

14. Simulation of drip irrigation on slope lands / V. Alekseev, S. I. Chuchkalov, V. Philippov [et al.] // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019), Kazan, 13–14 ноября 2019 г. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 00218. DOI 10.1051/bioconf/20201700218. EDN JIHCJF.

**Дубенок Николай Николаевич**, академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, кафедра сельскохозяйственных мелиораций, ndubenok@rgau-msha.ru; **Калиниченко Роман Владимирович**, канд. с.-х. наук, доцент, кафедра землеустройства и лесоводства, kalinichenko\_rv@mail.ru; **Климакина Марина Владимировна**, канд. с.-х. наук, доцент, кафедра землеустройства и лесоводства, mklimkhina@rgau-msha.ru; **Гемонов Александр Владимирович**, канд. с.-х. наук, доцент, кафедра землеустройства и лесоводства, agemonov@yandex.ru (ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова).

УДК 631.675; 636.033

## УДОБРИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ ОДНОЛЕТНИХ ТРАВ СВИНОВОДЧЕСКИМИ СТОКАМИ



Л.В. КИРЕЙЧЕВА, Т.Н. ТКАЧЁВА

**Ключевые слова:** свиноводческие стоки, горохо-овсяная смесь, режим орошения, доза внесения азота, баланс азота.

**Keywords:** pig runoff, pea-oat mixture, irrigation regime, nitrogen application dose, nitrogen balance.

В статье приведены многолетние результаты обоснования удобри-тельно-увлажнительного режима орошения горохо-овсяной смеси стоками свиноводческого комплекса племенного совхоза «Заднепровский», расположенного вблизи г. Орша Витебской области Республики Бела-русь, особенностью которого является установление норм орошения природной водой для поддержания влажности не ниже 75% НВ в зави-симости от складывающегося гидротермического режима вегета-ционного периода, так и для утилизации стоков. Рассмотрены варианты внесения азота 200, 300 и 400 кг/га со сточными водами, а в качестве

контроля – полив природной водой. Установлено, что наилучшим вари-антом оказался режим орошения с внесение со стоками азота 300 кг/га, что не уступает утилизации стоков многолетними травами. При этом средняя за период исследования урожайность составила 230 ц/га, что на 10,8% больше, чем полив природной водой. По результатам ба-ланса общего азота установлено, что вариант внесения 300 кг/га азо-та обеспечивает снижение в 1,32 раза поступления азота за пределы почвенного слоя, чем другие варианты, м является более экологичным.

The article presents the long-term results of the justification of the soothing and humidifying irrigation regime of the pea-oat mixture with the effluents of the pig-breeding complex of the breeding farm «Zadneprovsky», located near the town of Orsha, Vitebsk region of the Republic of Belarus, a feature of which is the establishment of irrigation norms with natural water to maintain humidity not lower than 75% НВ, depending on the developing hydrothermal regime of the growing season, and for the disposal of wastewater. Variants of nitrogen application of 200, 300 and 400 kg/ha with wastewater are considered, and irrigation with natural water is used as a control. It was found that the best option was the irrigation regime with the introduction of nitrogen effluents of 300 kg/ha, which is not inferior to the disposal of effluents by perennial grasses. At the same time, the average yield during the study period was 230 c/ha, which is 10,8% more than watering with natural water. According to the results

*of the total nitrogen balance, it was found that the option of applying 300 kg/ha of nitrogen provides a 1.32-fold reduction in nitrogen intake outside the soil layer than other options, which is more environmentally friendly.*

**Введение.** Рост потребления продовольствия населением приводит к необходимости увеличения производства сельскохозяйственной продукции, что напрямую сказывается на использовании земельных и водных ресурсов. В результате хозяйственной деятельности на предприятиях агропромышленного комплекса образуются различные категории сточных вод, которые необходимо утилизировать. Среди них наибольшую опасность представляют стоки крупных промышленных свиноводческих комплексов, переведенных на бесподстилочное содержание животных. Основной прием их утилизации — орошение многолетних трав и культур, используемых на корм животных.

В мировой практике более 30% очищенных сточных вод, включая и животноводческие стоки, применяются для орошения сельскохозяйственных культур. Степень очистки обычно определяется в соответствии с принципом «соответствия назначению», устанавливая цели по качеству воды в зависимости от потребностей конечных пользователей, что отражено в различных законодательных актах и руководствах по повторному использованию воды. Однако, несмотря на использование современных технологий очистки, обеззараживания и водоподготовки, свиноводческие стоки оказывают существенное влияние на агроэкосистему: ухудшают водно-физические и агрохимические свойства и микробиологический режим почв, загрязняют поверхностные и грунтовые воды, а также сельскохозяйственную продукцию.

В Республике Беларусь в настоящее время действует 118 комплексов по производству товарной свинины и 12 субъектов племенного животноводства, занимающихся разведением племенных свиней. Их мощность колеблется от 12 до 108 тыс. голов. На свиноводческих комплексах Беларуси ежегодно образуется около 40 млн м<sup>3</sup> стоков, которые требуют утилизации. Причем технология утилизации имеет свои особенности по сравнению с другими видами сточных вод, они, как правило, используются на удобрительные поливы. При использовании навозных стоков для орошения, согласно действующим нормативным документам, допускается выращивание кормовых культур. Особое место при этом в севообороте должны занимать многолетние и однолетние травы. Выращивание многолетних трав на полях орошения, согласно многочисленным исследованиям [1–3 и др.], следует рассматривать как обязательное мероприятие, позволяющее принимать стоки круглый год и равномерно распределять их по площади. О положительном влиянии удобрительного орошения навозными стоками на урожай кормовых культур свидетельствуют исследования. Значительный вклад в решение проблемы рационального использования жидкой органики на полях орошения внесли В.С. Брезгунов [4], П.Ф. Тиво [5], М.Г. Голченко [6], Л.А. Саскевич [7], и многие другие.

Однако длительное использование многолетних трав приводит к накоплению в них нитратов, микро-

элементов и тяжелых металлов. Например, по данным А.В. Шуравилина и др. [8] за 20-летний период орошения свиноводческими стоками содержание Cu увеличилось с 0,84 до 1,08; Zn — с 3,5 до 5,3; Pb — с 0,34 до 0,48; Mn — с 3,8 до 5,7; Mo — с 0,18 до 0,34; Co — с 0,06 до 0,15 мг/кг. Кроме того, периодически требуется залужение травостоя. Снизить негативное воздействие возможно путем чередования выращиваемых культур и строгого нормирования внесения стоков в почву. Существует несколько способов снижения нагрузки при орошении стоками животноводческих комплексов:

- разбавление животноводческих стоков чистой водой [9], что приводит к большому ее перерасходу;
- чередование орошение стоками в течение одного года, а затем 2 года чистой водой [10]. Недостатком этого способа является большая норма годового внесения азота 850 кг/год со стоками, а это резко повышает содержание в почве биогенных элементов, приводит к загрязнению почвы, нарушению ее микробиологического режима, миграции биогенных веществ ниже почвенного слоя, вызывая загрязнение грунтовых вод;
- поочередная подача стоков нормой внесения азота 200...300 кг/га в течение 4 лет, а затем в течение 2 лет орошение чистой водой, что позволяет восстановить агрохимические свойства почвы. При этом стоки вносятся дробно, а долив производят чистой водой [11]. Все это позволяет в какой-то мере уменьшить загрязнение почвы, однако полностью не решает проблему утилизации стоков, так в период полива чистой водой стоки необходимо утилизировать, что требует увеличение площади орошения, а это не всегда возможно [12].

Цель настоящих исследований — обоснование удобрительно-увлажнительного режима орошения горохо-овсяной смеси подготовленными стоками свиноводческого комплекса на основе баланса азота в почве при различной норме внесения азота со свиноводческими стоками в зависимости от изменения гидротермического режима вегетационного периода.

**Материалы и методы.** Опыты проводили на оросительной системе племенного совхоза «Заднепровский», расположенного вблизи г. Орша Витебской обл. Респ. Беларусь. Животноводческий комплекс рассчитан на выращивание и откорм 54 тыс. голов свиней в год, годовой выход навозных стоков колеблется от 268,7 до 508,6 тыс. м<sup>3</sup> в зависимости от количества поголовья свиней. Подготовленные и обеззараженные стоки подаются на орошение многолетних трав на площади 1199 га, орошение осуществляется широкозахватными колесными дождевателями ДКН-80 и дальнеструйными дождевальными аппаратами ДД-30.

Для исследования была выбрана однолетняя горохо-овсяная смесь в качестве промежуточной культуры, так как горох полевой — пелюшка (*Pisum arvense* L.) является наиболее продуктивной однолетней бобовой культурой. Овес с достаточно прочным стеблем служит опорой для пелюшки. Благодаря совпадению продолжительности основных фаз вегетации овса и пелюшки, смешанные посевы этих культур дают максимальную эффективность. Бобово-злаковые кормовые смеси полнее используют атмосферные осадки и менее

Таблица 1

Основные метеопараметры вегетационного периода (апрель—август) по годам исследования

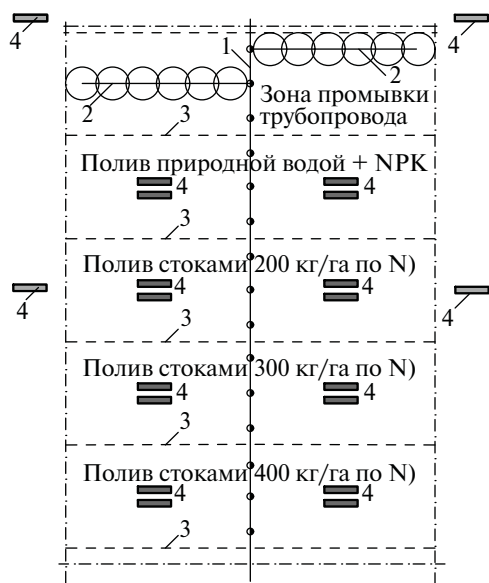
Год	Осадки, мм	Суммарное испарение, мм					Дефицит увлажнения, мм				
		Вариант					Вариант				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2002	166,8	193,8	259,6	267,9	268,5	294,7	27,0	92,8	71,1	101,7	128,1
2003	229,4	258,4	279,7	308,6	336,8	363,7	29,0	50,3	79,2	107,4	134,3
2004	174,5	194,6	231,2	243,1	267,4	293,1	20,1	56,7	68,6	92,9	118,6
2017	203,6	259,3	283,9	285,6	308,7	328,4	55,7	80,3	82,0	105,1	124,8

остро реагируют на дефицит водного баланса. При различных сроках посева дают возможность получать высококачественный корм, хорошо поедаемый животными, уровень продуктивности достигает 70...75 ц/га кормовых единиц при повышенном содержании протеина. Горохо-овсяная смесь обогащает и структурирует почву и является хорошим предшественником для большинства культур, включая многолетние травы.

Опыты проводились в 2002–2004 гг. и в 2017 г. в различные периоды по влагообеспеченности на делянках площадью 60 м<sup>2</sup> в 4-кратной повторности по вариантам:

- 1 – без орошения (контроль 1);
- 2 – орошение природной водой при снижении предполивной влажности до уровня 75 % НВ (контроль 2);
- 3 – орошение навозными стоками свиного комплекса годовой нормой по азоту 200 кг/га + дополнительное увлажнение природной водой при снижении влажности почвы ниже 75 % НВ;
- 4 – то же с годовой нормой по азоту 300 кг/га;
- 5 – годовой нормой по азоту 400 кг/га + дополнительное увлажнение природной водой при снижении влажности почвы ниже 75 % НВ.

Полив осуществлялся машиной ДКН-80, расположение делянок соответствовало схеме полива. Между



Размещение опытных делянок:

- 1 – поливной трубопровод; 2 – поливное крыло ДКН-80; 3 – границы вариантов орошения; 4 – учетные делянки

делянками располагались защитные полосы шириной 10 м с целью исключения поступления оросительной воды. Схема опытного участка приведена на рисунке.

Метеорологические показатели и дефицит природного увлажнения по годам исследований приведен в табл. 1.

Объем стоков определялся нормой внесения азота по вариантам опыта. Учитывая средний химический состав стоков, приведенный в табл. 2, рассчитывался их объем подачи на орошение. Так, при норме 200 кг/га азота необходимо подать 500 м<sup>3</sup>/га, при 300 кг/га – 750 м<sup>3</sup>/га, а при 400 кг/га – 990 м<sup>3</sup>/га. Внесение стоков проводилось частями: весной в начале вегетации и перед очередной фазой развития горохо-овсяной смеси в равных долях.

В зависимости от дефицита увлажнения и объема подачи стоков полив свежей водой осуществлялся для создания в корнеобитаемом слое, мощностью 35...40 см необходимой влажности не ниже 75 % НВ. Для определения влажности почвы использовался термостатно-весовой метод, пробы отбирались послойно через 20 см до глубины 1 м. В процессе исследований водопотребление горохо-овсяной смеси определялось на основе водного баланса. Урожайность горохо-овсяной смеси учитывалась методом сплошной уборки делянок.

**Результаты и обсуждение.** По гидротермическим показателям, самыми засушливым были 2002 и 2004 г., за вегетационный период выпало всего 166,8 и 174,5 мм

Таблица 2

Средненный за период вегетации химический состав стоков свиноводческого комплекса СГЦ «Заднепровский», мг/л

рН	Азот		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	Взв. вец.	ХПК, мгО <sub>2</sub> /л
	общий	аммиачный								
7,6	637	480	412	156	95	58	168	166	1465	1753

Таблица 3

Фактические месячные осадки по годам исследования

Год	Сумма осадков, мм					Сумма за вегетационный период
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	
2002	0	46,6	64,2	56,0	0	166,8
2003	0,8	121,3	73,7	33,6	0	229,4
2004	0	25,3	48,4	60,1	40,7	174,5
2017	8,0	36,4	47,2	112,0	0	203,6
Среднемноголетнее значение	–	–	–	–	–	193,6

осадков, что меньше среднемноголетнего значения на 28,6 и 19,1 мм (табл. 3).

В 2002 г. на контроле (вариант 1 без орошения) с первой декады мая горохо-овсяная смесь находилась в условиях недостаточного увлажнения. Во варианте 2 за весь вегетационный период проведено три полива природной водой поливной нормой 20 мм и оросительная норма составила 60 мм. В последующих вариантах 3...5 проведены лишь удобрительные поливы соответствующими нормами по азоту для каждого из вариантов, так как влажность почвы не опускались ниже 75 % НВ. В варианте 3 проведено три удобрительных полива. Разовые поливные нормы в этом варианте составляли в среднем 17 мм, а оросительная норма составила 50 мм. В варианте 4 также осуществлено три удобрительных полива оросительной нормой 75 мм, а поливная норма 25 мм. В варианте 5 осуществлено четыре удобрительных полива с поливными нормами 20...25 мм, а оросительная составила 99 мм.

Наиболее благоприятный гидротермический режим складывался в 2003 и 2017 г., в которых дефицит увлажнения был минимальный. В 2003 и 2017 г., несмотря на повышенное количество осадков, вегетационные периоды были теплее и наблюдались наиболее высокие дефициты влажности воздуха в вегетационный период, что приводило к увеличению интенсивности суммарного испарения. В вегетационный период 2017 г. весенние запасы и осадки в апреле обеспечили высокую влажность почвы 84 % НВ. Во варианте 2 (контроль 2 – орошение природной водой) осуществлено два полива нормой 17 мм каждый – 12 и 25 мая, когда запасы опускались ниже 80 % НВ. В вариантах 3...5 первый удобрительный полив был проведен 8 мая нормами 17 мм, 18 мм и 19 мм соответственно. Очередные поливы по вариантам 1...3 проведены 22 мая нормами 18 мм, 19 мм, 17 мм и 10 июня, на вариантах 4 и 5 – нормами 17 мм при возобновлении следующей фазы развития растений. Запасы в этот период находились в пределах 76...79 % НВ. Последний полив животноводческими стоками был осуществлен 25 июня на варианте 5 нормой 17 мм.

Таким образом, в зависимости от складывающихся гидротермических условий и необходимости утилизации стоков по вариантам опытов были проведены удобрительно-увлажнительные поливы, обеспечивающие необходимый режим влажности почвы для полноценного развития горохо-овсяной смеси. В табл. 4 приведены объемы стоков и свежей воды при осуществлении режимов орошения.

Наибольший суммарный объем воды затрачен в варианте 5, в зависимости от гидротермического режима года он составил от 670 до 1010 м<sup>3</sup>/га. Водный и питательный режим обеспечил высокую урожайность горохо-овсяной смеси (табл. 5).

Таблица 4

**Объемы стоков и свежей воды для реализации удобрительно-увлажнительных режимов орошения горохо-овсяной смеси**

Год	Вариант опыта	Объем стоков, м <sup>3</sup> /га	Объем свежей воды, м <sup>3</sup> /га	Суммарный объем поданной воды, м <sup>3</sup> /га
2002	2	–	600	600
	3	500	–	500
	4	750	–	750
	5	990	–	990
2003	2	–	400	400
	3	500	–	500
	4	760	–	760
	5	1010	–	1010
2004	2	–	400	400
	3	490	–	490
	4	730	–	730
	5	980	–	980
2017	2	–	340	340
	3	340	–	340
	4	500	–	500
	5	670	–	670

Наибольшая урожайность наблюдалась в варианте 4 с орошением свиноводческими стоками 300 кг/га по азоту. Этот вариант по урожайности и удельным затратам воды на единицу продукции – 2,17 м<sup>3</sup>/га, против 2,93 м<sup>3</sup>/га в варианте 5 определен как наилучший.

Для оценки возможного загрязнения почвы азотом и его миграции в нижележащие слои был составлен баланс общего азота в почве для всех лет исследования и всех вариантов опыта: рассматривалось исходное содержание азота в почве, поступление со стоками и минеральными удобрениями, вынос с урожаем горохо-овсяной смеси и миграция в нижележащие слои. В табл. 6 приведены результаты баланса по вариантам 4 и 5 для 2002 и 2017 г.

Проанализировав данные табл. 6, можно сказать, что наиболее экологически благоприятным относительно миграции азота за пределы почвенного слоя является вариант 4, т. е. орошение стоками с внесением 300 кг/га азота. Кроме того, орошение стоками способствовало снижению кислотности почвы: за период с 2002 по 2017 г. реакция почвенного раствора pH повысилась с 4,2...4,5 до 5,3...6,5. Полученные результаты

Таблица 5

**Динамика урожайности горохо-овсяной смеси по вариантам опыта, ц/га**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				В среднем за 4 года	Прибавка	
	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2017 г.		ц/га	%
Без орошения	208,4	214,4	202,3	207,5	208,15	–	–
Орошение природной водой	218,2	224,2	212,7	217,3	218,10	9,95	4,78
Орошение стоками N <sub>200</sub> и долив природной водой	228,1	226,3	222,4	227,3	226,03	17,88	8,59
То же стоками N <sub>300</sub>	231,3	236,7	230,4	224,2	230,65	22,5	10,81
То же стоками N <sub>400</sub>	232,5	234,8	232,1	217,8	229,30	21,15	10,16
НСР <sub>05</sub> , %	2,45	3,59	4,32	3,78	3,54	–	–

Таблица 6

## Баланс общего азота для вариантов 4 и 5 в 2002 и 2017 г.

Год	Содержание общего азота, %	Вариант опыта	
		4	5
2002	Сточные воды (природная вода)	3,25	4,33
	Исходное содержание в почве	0,16	0,16
	Минеральные удобрения	6,1	6,1
	Вынос растениями	2,67	2,76
	Остаток в почве	0,16	0,142
	Вынос за пределы почвенного слоя	5,68	7,69
	Невязка, %	1,00	-0,002
2017	Сточные воды (природная вода)	3,0	3,99
	Исходное содержание в почве	0,19	0,19
	Минеральные удобрения	4,12	4,12
	Вынос растениями	2,31	2,07
	Остаток в почве	0,1	0,06
	Вынос за пределы почвенного слоя	3,9	5,17
	Невязка, %	0,82	0,74

согласуются с литературными данными, однако выполненные исследования позволили более четко обосновать норму внесения азота не более 300 кг/га.

**Заключение.** Орошение подготовленными и обеззараженными животноводческими стоками является необходимым мероприятием для их утилизации, с другой стороны, это дополнительный источник водных ресурсов, который все шире применяется в мире. Использование сточных вод для орошения кормовых культур обеспечивает прибавку урожая зеленой массы за счет остаточного количества биогенных веществ, однако сдерживающим фактором остается возможность при длительном их орошении загрязнения агроэкосистемы и прилегающей территории. Снизить нагрузку позволяет научно-обоснованный режим орошения и чередование культур в севообороте.

В статье приведено обоснование режима орошения однолетней горохо-овсяной смеси на оросительной системе крупного промышленного свиноводческого комплекса «Заднепровский» включенный в севооборот многолетних трав при длительном их использовании как предшествующая культура. Разработанный удобрительно-увлажнительный режим орошения, особенностью которого является установление норм орошения природной и сточной водой как по водопотреблению растений в зависимости от гидротермических условий года, так и для утилизации животноводческих стоков при норме внесения азота 300 кг/га. При этом наблюдалось стабильное повышение урожайности горохо-овсяной смеси на 10,8%, улучшение состояния почвы и снижение выноса азота за пределы почвенного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Желязко В.И. О пригодности сточных вод предприятий АПК Беларуси для орошения // Вопросы мелиорации. 2003. № 5–6. С. 143–151.
2. Голченко М.Г., Желязко В.И., Михальченко Н.Н. Способы повышения экологической безопасности утилизации стоков животноводческих комплексов // Тезисы докладов междунар. конф. «Со-

временные проблемы изучения использования и охраны природных комплексов Полесья» (22–25 сентября 1998 г.). Минск, БелСЭНС, 1998. С. 161.

3. Грилис С.В., Спасов В.П. Многолетние травы как экологическое звено при утилизации сточных вод // Аграрная наука. 1998. № 2. С. 15–18.

4. Геоэкологические проблемы в зоне влияния животноводческих комплексов Беларуси / В.С. Брезгунов, В.С. Осипенко, Е.А. Котлерова [и др.] // Матер. VI съезда Белор. геогр. общества. Минск, 1999. С. 173–175.

5. Тиво П.Ф. Экологические аспекты применения животноводческих стоков и азотных удобрений на многолетних травах: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06 01 04. Минск, 1995. С. 149–150.

6. Голченко М.Г., Желязко В.И. Орошение сточными водами. М.: Агропромиздат, 1988. 104 с.

7. Саскевич Л.А., Тиво П.Ф. Эффективно использовать бесподстилочный навоз // Агропанорама. 2000. № 5. С. 27–30.

8. Шуравилин А.В., Меркурьев В.С., Михалева Т.А. Влияние многолетнего орошения животноводческими стоками на урожайность многолетних трав и их качество // Вестник РУДН, серия Агронимия и животноводство. 2008. № 3. С. 52–57.

9. А.с. 1639515, А 01 С 25/00, БИ 13, 1991, Тостоусов В.П. Удобрения и качество урожая. М. Агропромиздат, 1987. С. 24–27.

10. Голченко М.Г., Желязко В.И. Орошение сточными водами. М., 1991. С. 33.

11. Кирейчева Л.В., Захарова О.А. Способ орошения животноводческими стоками, патент SU 2192738 от 20.11. 2002.

12. Кирейчева Л.В., Захарова О.А. Влияние циклического орошения сточными водами на свойства серых лесных почв // Почвоведение. 2002. № 9. С. 115–120.

## REFERENCES

1. Zhelyazko V.I. On the suitability of wastewater from agricultural enterprises of Belarus for irrigation // Issues of land reclamation. 2003. № 5–6. Pp. 143–151.
2. Golchenko M.G., Zhelyazko V.I., Mikhilchenko N.N. Ways to improve the environmental safety of waste disposal of livestock complexes // Abstracts of reports of the International Conference. «Modern problems of studying the use and protection of natural complexes of Polesie» (September 22–25, 1998). Minsk, BelSENS, 1998. P. 161.
3. Grilis S.V., Spasov V.P. Perennial grasses as an ecological link in wastewater disposal // Agrarian science. 1998. No. 2. Pp. 15–18.
4. Geoecological problems in the zone of influence of livestock complexes of Belarus / V.S. Brezgunov, V.S. Osipenko, E.A. Kotlerova et al. // Mater. VI Congress of Belor. geographical society. Minsk, 1999. Pp. 173–175.
5. Tivo P.F. Ecological aspects of the use of livestock effluents and nitrogen fertilizers on perennial grasses: dis. ... Doctor of Agricultural Sciences: 06 01 04. Minsk, 1995. Pp. 149–150.
6. Golchenko M.G., Zhelyazko V.I. Irrigation with sewage. M.: Agropromizdat, 1988. 104 p.
7. Saskevich L.A., Tivo P.F. Effectively use bespodstilochny manure // Agropanorama. 2000. No. 5. Pp. 27–30.
8. Shuravilin A.V., Merkuriev V.S., Mikhaleva T.A. The effect of long-term irrigation with livestock runoff on the yield of perennial grasses and their quality // Bulletin of the RUDN, Agronomy and Animal Husbandry series. 2008. No. 3. Pp. 52–57.
9. Copyright certificate 1639515, A 01 From 25/00, BI 13, 1991, Tostousov V.P. Fertilizers and crop quality. M. Agropromizdat, 1987. Pp. 4–27.
10. Golchenko M.G., Zhelyazko V.I. Irrigation with sewage. M., 1991. P. 33.
11. Kireicheva L.V., Zakharova O.A. Method of irrigation with livestock effluents, patent SU 2192738 dated 20.11.2002.
12. Kireicheva L.V., Zakharova O.A. The influence of cyclic irrigation with wastewater on the properties of gray forest soils // Soil science 2002. No. 9. Pp. 115–120.

**Кирейчева Людмила Владимировна**, доктор техн. наук, профессор, [Kireychevalw@mail.ru](mailto:Kireychevalw@mail.ru) (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»); **Ткачёва Тамара Николаевна**, ст. преподаватель кафедры ГТС и водоснабжения, [tamaratkacheva60771@gmail.com](mailto:tamaratkacheva60771@gmail.com) (Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия).

УДК 631.67

## АДАПТИВНОЕ НОРМИРОВАНИЕ ОРОШЕНИЕМ

Т.А. ПАНКОВА, А.В. КРАВЧУК, С.С. ОРЛОВА, О.В. МИХЕЕВА, Е.Н. МИРКИНА

**Ключевые слова:** нормирование, орошение, культура, модель, адаптация, теория, зависимости, факторы, водопотребление, испарение, влажность.

**Keywords:** rationing, irrigation, culture, model, adaptation, theory, dependencies, factors, water consumption, evaporation, humidity.

В статье рассматривается проблема широкого развития орошения на территории Саратовского Заволжья, что привело к ухудшению мелиоративного состояния земель, которое возможно приостановить путем разработок совершенного нормирования орошения путем автоматизированных программ. Поэтому актуальным является вопрос повышения эффективности нормирования орошения путем определения общего водопотребления растений с учетом водного режима почвы, состояния деятельной поверхности, метеоусловий и биологических особенностей культуры. В статье приводятся математические зависимости, применяемые для разработки автоматизированной системы адаптивного нормирования орошения на примере культуры люцерны в условиях сухостепного Заволжья Саратовской области. При выборе метода определения испарения было проведено сравнение результатов расчета испарения по методам Н.Н. Иванова и метода Будыко—Зубенко. Приводятся известные зависимости динамики водного режима расчетного слоя почвы, водопотребления, коэффициентов, характеризующих биологические особенности культуры в процессе роста и развития, состояния активной поверхности, расчетной нормы полива, условие поддержания запасов влаги активного слоя почвы в оптимальном диапазоне, обеспечивая минимальную потерю воды и оптимальное влагообеспечение культуры, заложенные в основу автоматизированной расчетной программы адаптивного нормирования орошением. Адаптивное нормирование орошением заключается в определении суммарного водопотребления сельскохозяйственной культурой учитывая водный режим почвы, состояние деятельной поверхности, метеорологических сведений и биологических характеристик растения (культуры). Предложена программа адаптивного регулирования полива на примере культуры — люцерны, которая позволит повысить эффективность использования оросительной воды на территории Саратовского Заволжья, и как результат позволит улучшить экологическую ситуацию в данном регионе.

This article discusses the problem of the widespread development of irrigation in the Saratov Trans-Volga region, which deals with the deterioration of the reclamation state of lands, which may suspend the process of perfect regulation of irrigation by conventional programs. Therefore, the issue of increasing the efficiency of irrigation regulation of determining the total water consumption of plants, taking into account the water position of the area, the state of the active surface, weather conditions and biological characteristics of the crop, is topical. The article presents mathematical dependencies used to develop an automated system for adaptive irrigation rationing on the example of alfalfa culture in the conditions of the dry steppe Trans-Volga region of the Saratov region. When choosing a method for determining evaporation, a comparison was made of the results of calculating evaporation using the methods of N. N. Ivanov and the Budyko—Zubenok method. The known dependences of the dynamics of the water regime of the calculated soil layer, water consumption, coefficients characterizing the biological characteristics of the crop in the process of growth and development, the state of the active surface, the calculated irrigation rate, the condition for maintaining the moisture reserves of the active soil layer in the optimal range, ensuring minimal water loss and optimal moisture supply are given. crops that form the basis of the automated calculation program for adaptive rationing by irrigation. Adaptive rationing by irrigation consists in determining the total water consumption of an agricultural crop, taking into account the water regime of the soil, the state of the active surface, meteorological information and the biological characteristics of the plant (crop). A program of adaptive irrigation regulation is proposed on the example of a crop — alfalfa, which will improve the efficiency of irrigation water use in the Saratov Trans-Volga region, and as a result will improve the ecological situation in this region.

**Введение.** Главным ресурсом поддержания эффективности мелиорируемых земель при выращивании сельскохозяйственных культур в степной и сухостеп-

ной зонах служит орошение, но масштабное развитие орошения влечет нередко к экологическим неблагоприятным ситуациям: повышение уровня грунтовых вод, понижение плодородия земель, засоление почвы, возникновении водной эрозии. Все перечисленные отрицательные процессы являются результатом того, что в структуре водопотребления при орошении происходит непроизводительная потеря воды (50...60 % от водозабора). Недостаток естественной влаги в степной и сухостепной зонах негативно сказывается на устойчивости сельскохозяйственного производства. Важным средством повышения продуктивности в зоне недостаточного увлажнения, наряду с использованием научно обоснованных систем сухого земледелия, является орошение, позволяющее оптимизировать водный режим почвы, уменьшить дефицит воды в агроценозах и нейтрализовать последствия засух. Это определило расширение площади орошаемых земель в мире.

Сухостепное Заволжье находится в зоне рискованного земледелия, где возделывать сельскохозяйственные культуры без орошения невозможно. В то же время широкое развитие ирригации в 1980-е годы привело к резкому ухудшению экологической ситуации в нашем регионе. Снижение мелиоративного состояния земель является результатом низкого качества управления орошения. Как отмечает А.В. Кравчук, Н.А. Пронько, В.В. Корсак, А.С. Фалькович [12–15] и другие ученые ошибка была допущена еще в начале широкой ирригации сельскохозяйственных земель области, известно также, что большое количество оросительных систем функционируют не в проектных режимах и нагрузки на мелиоративные земли превышают допустимые. Причиной такого неблагоприятного состояния орошаемых земель [18, 21–22] и низкой урожайности орошаемых культур может быть недостаточно совершенное регулирование орошения, при котором определение общего водопотребления осуществляется только лишь с учетом биологических свойств растения и погодных условий, учитываемых для конкретных условий среды. Использование такой модели для оценки влияния влагообеспеченности сельскохозяйственного поля на величину общего водопотребления направлено только на получение максимального урожая и приводит к перерасходу воды.

Управление водным режимом орошаемых земель, безусловно, сопряжено с трудностями, но современный уровень средств вычислительной техники применяемых компьютерных технологий позволяет преодолеть немного эти трудности и позволяет применять методы математического моделирования для управления процессами при орошении сельскохозяйственных культур путем разработанных компьютерных программ. Решением данной проблемы может быть также достигнуто путем адаптивного нормирования ороше-

нием, основанного на определении общего водопотребления с учетом складывающегося водного режима почвы, состояния активной поверхности, погодных условий и биологических особенностей растений и направлено на получение заданного урожая культуры.

Современный уровень развития компьютерных технологий, методов математического моделирования и вычислительной техники позволяет применять для оперативного управления орошением математические модели на основе расчетных зависимостей водно-балансового метода. Эффективность управление при их использовании зависит от того, насколько реально они отражают фактическую динамику водного режима посевов, достоверно оценивают величины суммарного испарения и другие элементы водного баланса.

**Цель исследования** – повышение эффективности использования оросительной воды путем адаптивного нормирования полива люцерны для условий сухостепного Заволжья.

**Методика исследований.** Проведя анализ работ российских и зарубежных ученых, было установлено, что результатом увеличения технического уровня систем гидромелиорации, может быть решено от 30 до 40% актуальных экологических проблем, другая же часть может быть устранена только лишь за счет повышения эффективности управления водными ресурсами. Однако, всем известно, что управление водным режимом орошаемых земель связано с большим количеством трудностей, в связи с тем, что динамика влагообеспеченности посевов напрямую зависит от большого количества случайных и непредсказуемых факторов. Однако новый этап развития возможностей цифровой вычислительной техники и компьютерных технологий позволяет нам преодолевать сложившиеся трудности и применять методы математического моделирования для управления технологическими процессами при орошении. Серьезные проблемы, вызванные неправильным подходом в орошении, не позволяют отказаться от ирригации, так как альтернативой орошения на территории нашей области ничего не может быть. Можно только лишь приостановить дальнейшее снижение плодородия почвы, попытаться обеспечить и повысить сельскохозяйственное произ-

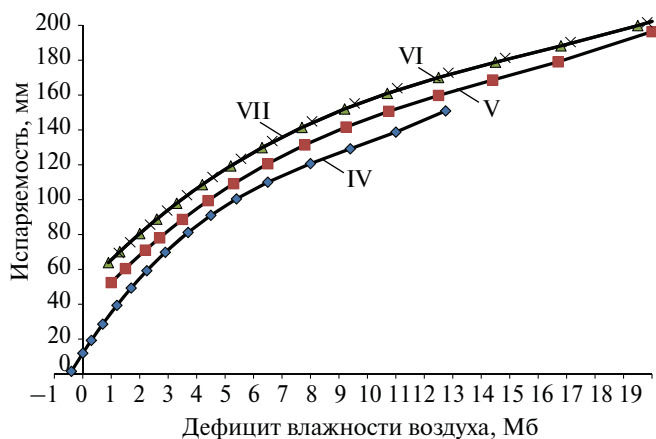


Рис. 1. Зависимости испарения от недостатка влажности воздуха для степной зоны по месяцам года

водство, снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции путем рационального использования воды, адаптивного размещения сельскохозяйственных культур, а именно выращивать такие культуры, которые будут расходовать большее количество влаги, что будет приводить к понижению уровня грунтовых вод и снижению содержания солей, тем самым приводя к уменьшению площади засоления поливных земель, прогнозированием водно-солевого режима занимались Н.А. Пронько, А.С. Фалькович [17], В.В. Корсак [4] на территории Саратовского Заволжья такой культурой является люцерна. Именно на примере этой культуры будет адаптирована модель С.В. Затицацкого [9–11], разработанная для условий сухостепного Заволжья.

Растение–культура в процессе своего роста и развития напрямую зависит от водопотребления [3], которое в свою очередь зависит от водного режима почвы, воздушного режима почвы, температурного режима и режима питания. Известна зависимость общего водопотребления сельскохозяйственной культуры, показывающая, что общий расход воды является функцией от климатических факторов, запасов влаги в почве и биологических характеристик растения–культуры [19, 20].

Прежде всего, потребление воды растением напрямую зависит от испарения с орошаемого поля, подстилающая поверхность которого существенно изменяется в вегетационный период роста и развития культуры. Для выбора точной методики определения испарения было проанализировано два метода: метод Н.Н. Иванова и метод Будыко–Зубенко.

Метод, предложенный Н.Н. Ивановым, показывает, испарение зависит от температуры воздуха и относительной влажности:

$$E = 0,0018(25 + t)^2 (100 - \varphi),$$

где  $t$  – температура воздуха, °С;  $\varphi$  – относительная влажность, %.

Метод определения испарения по Будыко–Зубенко, представляет собой графический метод, выражающийся в криволинейных зависимостях испарения и недостаточной влажности воздуха, рассчитан-

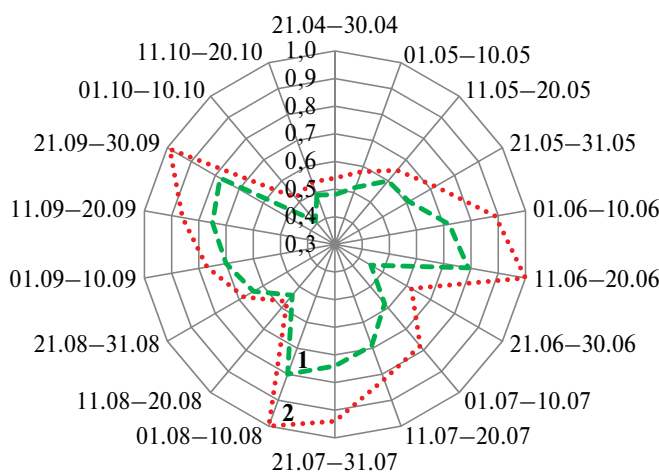


Рис. 2. Сравнение коэффициентов, рассчитанных по методам Н.Н. Иванова (1) и Будыко–Зубенко (2)



ного по месяцам (рис. 1). Криволинейные зависимости описываются уравнением:

$$E = ad_{\phi}^3 - bd_{\phi}^2 + cd_{\phi} + k,$$

где  $E$  – испарение, мм;  $d_{\phi}$  – недостаточная влажность воздуха, мБ;  $a, b, c, k$  – эмпирические коэффициенты.

Сравнение результатов расчета испаряемости по методу Будыко–Зубенок и методу Н.Н. Иванова показывает, что более точные коэффициенты для условий сухостепного Заволжья получены по методу Будыко–Зубенок (рис. 2).

За время своего роста и развития культура люцерны потребляет различное количество влаги, например, в период посева до отрастания подстилающую поверхность характеризуют как открытую поверхность почвы, которая в процессе роста культуры изменяет свое состояние, и оказывает влияние на влажность почвы, которая должна находиться в определенных пределах в течение каждой фазы растения–культуры, что является основным параметром при нормировании орошения. Для поддержания оптимальной влажности почвы и получения необходимого урожая, необходимо стремиться к рациональному и экономному расходу поливной воды путем контроля нормирования орошения при снижении топливно-энергетических ресурсов на орошение. Т.И. Сафронова и В.И. Степанов [16] считают, что основной технологический критерий контроля нормированием поливов является динамика содержания влаги в активном слое почвы, на изменчивость которой влияет структура корневой системы, плотность почвы, пористость почвы, величина увлажнения почвы в результате орошения и выпадения осадков, глубина залегания грунтовых вод и, конечно же, природно-климатические условия места возделывания культуры.

Действительное наличие влаги в определенном слое почвы определяется экспериментально, затем проводится интерполяция значения влажности почвы с учетом орошения и осадков и затем определяется среднее значение запасов влаги за необходимый временной интервал. Динамика водного режима расчетного слоя почвы описывается известным уравнением:

$$W_k = W_n + P + \sum m \pm q - ET,$$

где  $W_k$  – запасы влаги в почве на конец расчетного периода, мм;  $W_n$  – запасы влаги в почве на начало расчетного периода, мм;  $P$  – количество осадков, мм;  $\sum m$  – сумма поливных норм, мм;  $q$  – влагообмен активного слоя почвы с подстилающими грунтами, мм.

Вместе с определением необходимых для растения запасов влаги в почве определяется водопотребление, по модели, предложенной С.В. Затинацким [1, 2]. Данная модель разработана для условий сухостепного Заволжья, учитывает водный режим почвы, погодные условия, биологические особенности растения–культуры и состояние активной поверхности почвы:

$$ET = \frac{EA_n}{\left(1 + 10^{\gamma - \beta \frac{W_{act} - W_{pwp}}{W_{FC} - W_{pwp}}}\right)},$$

где  $ET$  – общий расход воды, мм;  $E$  – испарение, мм;  $W_{act}$  – фактические запасы влаги, мм;  $W_{pwp}$  – запасы влаги почвы, соответствующие влажности увядания, мм;  $W_{FC}$  – запасы влаги почвы, соответствующие наименьшей влагоемкости, мм;  $A_n, \gamma$  и  $\beta$  – эмпирические коэффициенты, определяющие состояние активной поверхности и биологических особенностей культуры в процессе роста и развития:

$$\beta = \frac{\sum \left( lq \frac{A_n}{ET/E} - 1 \right) \sum W}{n} - \sum W lq \left( \frac{A_n}{ET/E} - 1 \right);$$

$$\gamma = \frac{\sum lq \left( \frac{A_n}{ET/E} - 1 \right) - \sum W \beta}{n}.$$

Для определения коэффициента состояния активной поверхности, используется зависимость:

$$A_n = \frac{k_6 \sum d_{\phi} \left( 1 + 10^{\gamma - \beta \overline{W_{act}}} \right)}{E},$$

где  $k_6$  – биоклиматический коэффициент, мм/мБ;  $\sum d_{\phi}$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мБ;  $\overline{W_{act}}$  – относительные запасы продуктивной влаги в почве, %.

Используя экспериментальные данные по водопотреблению люцерны, было определено, как будет определяться зависимость суммарного водопотребления к испаряемости от относительных запасов продуктивной влаги в почве в течение вегетационного периода люцерны [1, 3]:

$$ET/E = A_n / \left( 1 + 10^{\gamma - \beta \overline{W_{act}}} \right), \tag{1}$$

где  $ET/E$  – отношение общего расхода воды к испарению, мм.

Эмпирическая зависимость (1) уточняет положение о прямой пропорциональности между потреблением воды и запасами влаги в почве при поддержании влажности в расчетном слое почвы [8].

Верхним пределом оптимальной влажности для растений является максимальная влажность и запас влаги, который соответствует наименьшей влагоемкости почвы (полной полевой влагоемкости)  $W_{FC}$ , при увлажнении почвы выше которой избыток влаги приводит к вымыванию питательных веществ растений, эрозии почвы, пополнению запасов подземных вод и снижению плодородия земли [5–7]. Поэтому максимальная норма полива, мм, не должна превышать значения влажности с наименьшей влагоемкостью:

$$m_{nt} = 100 h_w \rho (\omega_{FC} - b \omega_{cr}), \tag{2}$$

где  $m_{nt}$  – расчетная норма полива, мм;  $h_w$  – расчетная глубина пропитки почвы, м;  $\rho$  – плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;  $\omega_{FC}$  – влажность почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости, % по массе;  $\omega_{cr}$  – влажность, соответствующая допустимому уровню высыхания;  $b$  – принимается в зависимости от гранулометрического состава почвы.

Из уравнения (2) следует, что величина нормы полива зависит от слоя влажности  $h_w$  и порога влажности перед поливом  $\omega_{cr}$ .

Поддержание запасов влаги активного слоя почвы в оптимальном диапазоне должно происходить за счет соблюдения условия:

$$W_{FC} \geq W_{act} > W_{cr} \quad (3)$$

При таком поддержании запасов влаги в соответствии с выражением (3) будет обеспечена минимизация потерь воды и оптимальное влагообеспечение растения—культуры.

Несоответствие между расчетной оценкой и фактической влагообеспеченностью растений приводит к потере всех преимуществ компьютерного управления, к развитию экологически неблагоприятных процессов на орошаемых землях, снижению эффективности орошения в целом и нерациональному использованию поливной воды.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Управление орошением с использованием математических моделей требует предварительного теоретического обоснования и экспериментального определения норм водопотребления сельскохозяйственных культур, параметров модели, организации информационного обеспечения, позволяющего получать точные количественные характеристики влагообеспеченности сельскохозяйственных культур и регулировать водный режим почвы в соответствии с меняющимися стадиями органогенеза потребности в растения в воде. Вышеизложенное указывает на то, что для рационального использования оросительной воды с учетом экологических ограничений необходимо провести работу по совершенствованию информационного обеспечения компьютерных технологий управления орошением, уточнению методов расчета определения общего испарения, водопотребления на основе исследований агрометеорологического и водно—теплого баланса в различных почвенно-климатических и гидрогеологических условиях. На основе представленных зависимостей и моделей была разработана программа адаптивного регулирования полива люцерны. Алгоритм программы заключается в ежедневном определении всех показателей адаптивного нормирования полива люцерны на весь вегетационный период: запасы влаги в почве, испарение, общее водопотребление культуры, норма полива, количество поливов, норма полива и дни полива.

В программе присутствует три типа данных, которые вводятся вручную, вычисляются автоматически по заданному алгоритму (дата вегетационного периода и запасы влаги в почве).

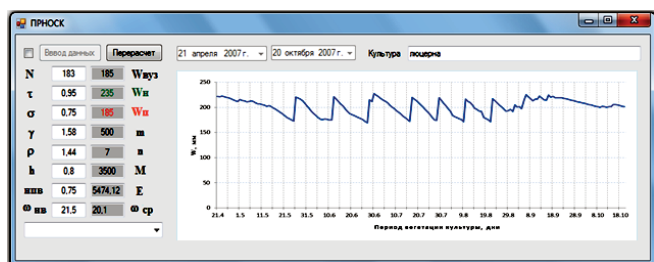


Рис. 3. Графическая часть программы

В результате адаптивного нормирования полива люцерны норма полива и дни полива устанавливаются в соответствии с графической частью программы (рис. 3), которая представляет собой кривую динамики запасов влаги в почве в течение всего вегетационного периода культуры.

**Заключение.** Реализованное качество управления зависит не только от уровня обеспеченности потребителей коммуникациями, вычислительной техникой, а также от того, насколько точно модели позволяют оценить динамику водного баланса сельскохозяйственных культур, точность и надежность информационного обеспечения. Для определения общей экономической эффективности использования программы адаптивного нормирования орошением проведено соотношение полученных результатов и затрат на возделывание культуры—люцерны, который показал, что возделывая культуру люцерны в условиях Саратовского Заволжья применяя предложенную методику и программу позволит повысить урожайность в среднем на 15 % и снизить затраты поливной воды на 11 % и затраты на формирование 1 т зеленой массы на 19 %. Рациональное использование водных ресурсов обеспечит высокую экономическую эффективность и экологическую устойчивость. Компьютерные программы являются надежным инструментом для решения задач планирования и управления режимом орошения, но только при оперировании достоверной информацией отражающей состояние агроценоза и высокую точность расчета оптимального режима для конкретной культуры и конкретных условий.

Предложенная методика позволяет определять общее водопотребление культуры с учетом формирования водного режима расчетного слоя почвы, погодных условий внешней среды, состояния активной поверхности почвы и биологических характеристик культуры в различные фазы вегетационного периода.

Представленная методика и программа позволит оптимально управлять орошением и получать от него максимальный эффект, прежде всего направленный на решение экологических проблем сухостепного Заволжья. Программа предназначена для специалистов отдельных фермерских хозяйств и для разработки планов водопользования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Затинацкий С.В., Панкова Т.А. Ресурсосберегающая математическая модель нормирования орошения // Научное обозрение. 2013. № 11. С. 10–13.
2. Модели валидации в техническом нормировании (на примере ресурсосберегающих моделей водопотребления) / С.В. Затинацкий, Т.А. Панкова, Э.Ю. Шмагина, А.В. Кочетков // Наукоедение. 2014. № 5. EDN: 27TVN514.
3. Определение суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур в аридных зонах / В.В. Корсак, Р.В. Прокопец, А.Н. Никишанов, Е.В. Аржанухина, М.Р. Юдина // Научная жизнь. 2016. № 1. С. 41–51.
4. Сценарии глобального потепления и прогнозы изменений агроклиматических ресурсов Поволжья / В.В. Корсак, А.В. Кравчук, Р.В. Прокопец, А.Н. Никишанов, Е.В. Аржанухина // Аграрный научный журнал. 2018. № 1. С. 51–55.
5. Кравчук А.В. Оперативное определение поливной нормы для каштановых и темно-каштановых почв Заволжья // Мелиорация и водное хозяйство. 2007. № 2. С. 42–43.

6. Кравчук А.В. Роль верхнего порога влажности при назначении режимов орошения сельскохозяйственных культур // Научное обозрение. 2015. № 3. С. 29–32.

7. Кравчук А.В., Корсак В.В., Кудайбергенова И.Р. Параметры увлажнения почвы в проведении экологических режимов орошения культур // Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2018. № 11. С. 126–130.

8. Панкова Т.А., Затицкий С.В. Моделирование режима орошения // Fundamental and applied sciences today II (Vol. 1): материалы докладов II Международной научно-практической конференции. М.: SPS Academic, 2013. С.115–118.

9. Панкова Т.А. Повышение эффективности использования водных ресурсов при орошении люцерны на темно-каштановых почвах сухостепного Заволжья. – Саратов: ФГБУН НИЦ «Наука» РАН, 2017. 110 с.

10. Панкова Т.А. Нормирование орошения люцерны в условиях Саратовского Заволжья // Аграрная наука и образование: проблемы и перспективы: сборник статей национальной научно-практической конференции, Саратов, 20–21 марта 2021 г. / Под редакцией Е.Б. Дудниковой. Саратов: Центр социальных агроинноваций СГАУ, 2021. С. 269–271.

11. Управление водным режимом почвы культур севооборотного участка в зависимости от погодных условий на орошаемых землях Саратовской области / Т.А. Панкова, С.С. Орлова, О.В. Михеева, Е.Н. Миркина // Научная жизнь. 2022. Т. 17. № 4(124). С. 515–525.

12. Пронько Н.А., Корсак В.В., Фалькович А.С. Изменения агроландшафтов Саратовского Заволжья при широкомасштабных изменениях водного баланса территорий и способы предупреждения их деградации // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 8. С. 64–71.

13. Пронько Н.А., Корсак В.В., Фалькович А.С. Орошение в Поволжье: не повторять ошибок // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 4. С. 16–19.

14. Пронько Н.А., Корсак В.В., Фалькович А.С. Информационно-советующая система прогнозирования засоления мелиорируемых угодий сухостепного Поволжья // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы XI Национальной конференции с международным участием, Саратов, 22–23 апреля 2021 г. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2021. С. 140–144.

15. Пронько Н.А., Корсак В.В., Фалькович А.С. Прогнозирование изменения мелиоративного состояния – основа предотвращения деградации орошаемых земель Саратовского Заволжья // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы XII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 21–22 апреля 2022 г. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2022. С. 230–237.

16. Сафронова Т.И., Степанов В.И. Математическое моделирование в задачах агрофизики. Краснодар: КубГАУ, 2012. 110 с.

17. Фалькович А.С., Пронько Н.А. Прогноз водно-солевого режима почвогрунтов в системе проектирования и мониторинга объектов мелиорации // Аграрный научный журнал. 2010. № 10. С. 62–69.

18. Состояние государственного учета орошаемых земель Саратовской области / В.М. Янюк, В.В. Корсак, Т.В. Кузниченкова, Р.Н. Абушаев // Правовые, экономические и экологические аспекты рационального использования земельных ресурсов: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Саратов, 24 июня 2021 г. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2021. С. 151–158.

19. Increasing Efficiency of Water Resources Use in Forage Crops Irrigation / F.K. Abdrazakov, T.A. Pankova, S.V. Zatinatsky [et al.] // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2017. Vol. 8. No 1. P. 283–293.

20. Assignment of Irrigation Norms for Available Water Reserves Taking Into Account Soil Heterogeneity as a Water Saving Approach to Crop Irrigation / F.K. Abdrazakov, O.V. Mikheeva, T.A. Pankova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tashkent, Uzbekistan, 23–25 апреля 2020 г. Vol. 883. Tashkent: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 012078.

21. Influence of irrigation methods on agrophysical properties and productivity of dark chestnut soils of dry steppe on the left bank of the Volga river / V. Korsak, N. Pronko, O. Karpova, V. Shadskikh, V. Kizhaeva // Advances in Dynamical Systems and Applications. 2021. Vol 16. No 1. Pp. 121–132.

22. Results of the analysis of water stress regimes for irrigated crops based on remote sensing data / A. Zeyliger, O. Ermolaeva, D. Antonov, F. Serebrennikov, A. Kravchuk, S. Zatinatsky // Advances in Science, Technology and Innovation. 2022. Pp. 319–322.

## REFERENCES

1. Zatinatsky S.V., Pankova T.A. Resource-saving mathematical model of irrigation rationing // Scientific Review. 2013. No. 11. P. 10–13.

2. Validation models in technical regulation (on the example of resource-saving models of water consumption) / S.V. Zatinatsky, T.A. Pankova, E.Yu. Shmagina, A.V. Kochetkov // Naukovedenie. 2014. No. 5. EDN: 27TVN514.

3. Determination of the total water consumption of agricultural crops in arid zones / V.V. Korsak, R.V. Prokopets, A.N. Nikishanov, E.V. Arzhanukhina, M.R. Yudina // Scientific life. 2016. No. 1. S. 41–51.

4. Scenarios of global warming and forecasts of changes in agro-climatic resources of the Volga region / V.V. Korsak, A.V. Kravchuk, R.V. Prokopets, A.N. Nikishanov, E.V. Arzhanukhina // Agrarian Science Magazine. 2018. No. 1. S. 51–55.

5. Kravchuk A.V. Operational determination of the irrigation norm for chestnut and dark chestnut soils of the Trans-Volga region // Melioration and water management. 2007. No. 2. P. 42–43.

6. Kravchuk A.V. The role of the upper threshold of humidity in the appointment of irrigation regimes for agricultural crops // Scientific Review. 2015. No. 3. S. 29–32.

7. Kravchuk A.V., Korsak V.V., Kudaibergenova I.R. Soil moisture parameters in carrying out ecological regimes of crop irrigation // Bulletin of the Scientific and Methodological Council for Nature Management and Water Use. 2018. No. 11. P. 126–130.

8. Pankova T.A., Zatinatsky S.V. Irrigation regime modeling // Fundamental and applied sciences today II (Vol. 1): proceedings of the II International scientific and practical conference. М.: SPS Academic, 2013. P.115–118.

9. Pankova T.A. Improving the efficiency of water resources use during irrigation of alfalfa on dark chestnut soils of the dry steppe Zavolzhye. Saratov: FSBI of SSPC «Nauka» of the RAS, 2017. 110 p.

10. Pankova T.A. Rationing of alfalfa irrigation in the conditions of the Saratov Trans-Volga region // Agrarian science and education: problems and prospects: Collection of articles of the national scientific and practical conference, Saratov, March 20–21, 2021 / Under ed. by E.B. Dudnikova. Saratov: LLC «Center for Social Agro-Innovations SSAU», 2021. P. 269–271.

11. Management of the water regime of the soil of crop rotation plot depending on weather conditions on irrigated lands of the Saratov region / T.A. Pankova, S.S. Orlova, O.V. Mikheeva, E.N. Mirkina // Scientific life. 2022. T. 17. No. 4(124). S. 515–525.

12. Pronko N.A., Korsak V.V., Falkovich A.S. Changes in agrolandscapes of the Saratov Trans-Volga region under large-scale changes in the water balance of territories and ways to prevent their degradation, Vestn. N.I. Vavilov. 2013. No. 8. P. 64–71.

13. Pronko N.A., Korsak V.V., Falkovich A.S. Irrigation in the Volga region: do not repeat mistakes // Melioration and water management. 2014. No. 4. Pp. 16–19.

14. Pronko N.A., Korsak V.V., Falkovich A.S. Modern problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Materials XI National Conference with international participation, Saratov, April 22–23, 2021. Saratov: Saratov State Agrarian University N.I. Vavilov, 2021. S. 140–144.

15. Pronko N.A., Falkovich A.S., Korsak V.V. Forecasting changes in the ameliorative state – the basis for preventing the degradation of irrigated lands of the Saratov Trans-Volga region // Modern problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply : Proceedings of the XII National Conference with International Participation, Saratov, April 21–22, 2022. Saratov: FGBOU VO Saratov State Agrarian University, 2022. P. 230–237.

16. Safronova T.I., Stepanov V.I. Mathematical modeling in problems of agrophysics. Krasnodar: Ed. KubGAU, 2012. 110 p.

17. Falkovich A.S., Pronko N.A. Forecast of the water-salt regime of soils in the system of design and monitoring of land reclamation facilities // Agrarian scientific journal. 2010. No. 10. P. 62–69.

18. The state of state accounting of irrigated lands in the Saratov region / V.M. Yanyuk, V.V. Korsak, T.V. Kuznichenkova, R.N. Abushaev // Legal, economic and environmental aspects of the rational use of land resources: Collection of articles of the VI International Scientific

and practical conference, Saratov, June 24, 2021. Saratov: Saratov State Agrarian University, 2021. P. 151–158.

19. Increasing Efficiency of Water Resources Use in Forage Crops Irrigation / F.K. Abdrazakov, T.A. Pankova, S.V. Zatinatsky [et al.] // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2017. Vol. 8. No 1. P. 283–293.

20. Assignment of Irrigation Norms for Available Water Reserves Taking Into Account Soil Heterogeneity as a Water Saving Approach to Crop Irrigation / F.K. Abdrazakov, O.V. Mikheeva, T.A. Pankova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tashkent, Uzbekistan, 23–25 апреля 2020 г. Vol. 883. Tashkent: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 012078.

21. Influence of irrigation methods on agrophysical properties and productivity of dark chestnut soils of dry steppe on the left bank of the Volga river / V. Korsak, N. Pronko, O. Karpova, V. Shadskikh, V. Kizhaeva //

Advances in Dynamical Systems and Applications. 2021. Vol. 16. No 1. Pp. 121–132.

22. Results of the analysis of water stress regimes for irrigated crops based on remote sensing data / A. Zeyliger, O. Ermolaeva, D. Antonov, F. Serebrennikov, A. Kravchuk, S. Zatinatsky // Advances in Science, Technology and Innovation. 2022. Pp. 319–322.

**Панкова Татьяна Анатольевна**, канд. техн. наук, доцент; **Кравчук Алексей Владимирович**, доктор техн. наук, профессор; **Орлова Светлана Сергеевна**, канд. техн. наук, доцент; **Михеева Ольга Валентиновна**, канд. техн. наук, доцент; **Миркина Елена Николаевна**, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК», [vtaija@mail.ru](mailto:vtaija@mail.ru), [pankova-sgau@yandex.ru](mailto:pankova-sgau@yandex.ru) (ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов).

УДК 631.674.5; 631.672.4

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ООО АГРОФИРМА «ЧИСТОПОЛЬСКАЯ»



**Р.Х. СУНГАТУЛЛИН, М.М. ХИСМАТУЛЛИН, А.Р. ВАЛИЕВ, А.М. САБИРОВ**

**Ключевые слова:** орошаемый участок, проектирование, дождевальная машина, оросительная система, реконструкция, насосная станция, водозаборное устройство, трубопровод, оросительная сеть, водохранилище, источник орошения.

**Keywords:** irrigated area, design, sprinkler machine, irrigation system, reconstruction, pumping station, water intake device, pipeline, irrigation network, reservoir, irrigation source.

В статье рассмотрены вопросы проектирования энергоэффективных и малозатратных оросительных систем при их реконструкции с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных посевов. В частности рассмотрены пути решения проблем в выборе водисточников и способах их подачи на орошаемый участок, размещения насосной станции на берегу р. Камы входящего в Куйбышевское водохранилище.

The article discusses the issues of designing energy-efficient and low-cost irrigation systems during their reconstruction in order to increase the productivity of agricultural crops. In particular, the ways of solving problems in the selection of water sources and methods of their supply to the irrigated area, the placement of a pumping station on the bank of the Kama River, which is part of the Kuibyshev reservoir, are considered.

**Введение.** В последние годы в Республике Татарстан на основании принятого Постановления Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» (с изменениями и дополнениями) и Указа Президента Российской Федерации от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» осуществляется масштабная реконструкция и строительство новых оросительных систем.

Республика Татарстан в природно-климатическом отношении расположена в зоне рискованного земледелия. В связи с этим благодаря огромной по-

мощи и внимания со стороны руководства в республике осуществляется поэтапное восстановление и модернизация существующих оросительных систем. Так, если в 2016 г. орошаемых земель в республике было на площади 10 тыс. га, то на 2023 г. уже введены новые и реконструированы на площади 35 тыс. га. Ежегодно на цели мелиорации в республике вместе федеральным центром выделяются средства до 2 млрд рублей.

Одним из таких реконструируемых объектов является орошаемый участок ООО Агрофирма «Чистопольская», расположенный в Чистопольском районе Республики Татарстан.

В административном отношении объект реконструкции – оросительная система на площади 472,5 га (нетто) находится на территории Данауровского сельского поселения Чистопольского района Республики Татарстан. Село Галактионово расположено на берегу р. Кама Куйбышевского водохранилища, в 11 км к западу от г. Чистополь.

В геоморфологическом отношении площадка изысканий расположена на левобережье р. Кама (на береговом склоне). Поверхность площадки изысканий характеризуется абсолютными отметками 62...136 м БС и уклоном на север до 3...5° в сторону р. Кама. Территория представляет собой земли сельскохозяйственного назначения. Река Кама расположена на расстоянии 130 м к северу от орошаемых площадей. В ноябре 2021 г. урез воды в р. Кама зафиксирован на отметке 50,10 м БС.

Рельеф местности орошаемых участков имеет разный уклон, в основном 2...3° в сторону р. Кама (север). Участок делит региональная дорога, идущая к н.п. Галактионово, параллельно автодороге расположены: линии электропередач и газораспределительная сеть.

Заказчиком проектно-сметной документации выступает ООО Агрофирма «Чистопольская». Разработчи-

ком проекта строительства оросительной системы площадью орошения 472,5 га с учетом расширения в перспективе до 583,5 га являлся ОАО ТК «Татмелиорация».

**Способы и методы реализации проекта.** Источником водоснабжения оросительной системы было решено принять Куйбышевское водохранилище (р. Кама) у с. Галактионово.

Проектом предусматривался:

- строительство электрифицированной насосной станции с устройством КТП;
- устройство водозаборного сооружения на берегу р. Кама у с. Галактионово;
- установку насосно-силовых агрегатов, шкафов управления, запорно-регулирующей арматуры;
- строительство съезда к насосной станции;
- оросительную сеть принять из полиэтиленовых труб ПЭ 100 ГОСТ 18599–2001;
- применить дождевальную технику – д.м. кругового действия Valley;
- предусмотреть работу дождевальных машин с электроприводом и устройством КТП, прокладкой кабеля к узлам подключения согласно технических условий.

Технико-экономические показатели реконструируемого линейного объекта, определенные путем расчетов, представлены в таблице.

Площадка строительства представляет собой земли сельскохозяйственного назначения. Строительство оросительной системы будет производиться на земельных участках находящихся на территории Данауровского сельского поселения.

#### Описание принципиальных проектных решений, обеспечивающих надежность линейного объекта

**Строительство оросительной сети.** Схема оросительной сети в плане обусловлена принятой техникой полива, рельефом местности, площадью и конфигурацией участка.

Выбор трассы трубопроводов оросительной сети произведен из условий обеспечения наиболее экономичного варианта. Общая протяженность оросительной сети – 9552 м.

Трубы приняты из полиэтиленовых труб ПЭ100 ГОСТ18599–2001. Трубы укладываются на естественный грунт ненарушенной структуры без включений (СП 31.13330.2021 г. п.11.30). Оросительная сеть состоит из магистрального трубопровода МТ, распределительных трубопроводов РТ-1, РТ-2, РТ-3 и поливных трубопроводов ПТ-1, ПТ-2.

От магистрального трубопровода МТ на ПК 11+83 отходят распределительные трубопроводы РТ-1, РТ-2.

От распределительного трубопровода РТ-2 отходят на ПК7+65 распределительный трубопровод РТ-3 и ПК15+31 поливной трубопровод ПТ-1.

От распределительного трубопровода РТ-3 на ПК 4+76 отходит поливной трубопровод ПТ-2.

Начальным пунктом линейного сооружения является ПК0+00 магистрального трубопровода (МТ) и разграничением учета объемов работ между пристанционным напорным трубопроводом насосной станции и оросительной сети.

Конечный пикет магистрального трубопровода МТ соответствует началу распределительных трубопроводов РТ-1 и РТ-2. Конечные пикеты распределительных трубопроводов РТ-1, РТ-2, РТ-3 а также поливных трубопроводов являются конечными пунктами линейного объекта.

По трубопроводу МТ с ПК11+08 по ПК11+80, предусмотрен переход под автодорогой  $L = 72$  м методом горизонтально направленного бурения (ГНБ) полиэтиленовой трубой  $d = 630 \times 57,2$  в футляре  $d = 800 \times 47,4$ . По трубопроводу РТ-2 с ПК6+08

#### Технико-экономические характеристики линейного объекта

Параметры	Показатели
Площадь « Нетто орошения», га: проектируемая	472,5
с учетом перспективы	583,4
Способ полива	Дождевание
Способ подачи воды	Механический
Коэффициент полезного действия сети	0,98
Источник орошения	Куйбышевское водохранилище
Проектная отметка НПУ, м	52,43 БС
Максимальные проектные отметки ФПУ, м	54,75 БС
Насосная станция	Электрифицированная, передвижная на фундаменте
Марка насоса	NSC250–200–660
Количество насосов	3
Расход, м <sup>3</sup> /ч	553
Напор оборудования м	152
Электродвигатель	5АИ
Мощность, кВт	355
Класс капитальности	IV
Уровень ответственности	Нормальный
Здание	Металлическое неутепленное
Размеры, м	5,0×6,0
Техника	Дождевальные машины кругового действия
Valley $R = 315$ м, $Q = 18,74$ л/с	1
Valley $R = 370$ м, $Q = 43,20$ л/с	1
Valley $R = 520$ м, $Q = 83,42$ л/с	
Valley $R = 580$ м, $Q = 103,42$ л/с	3
Valley $R = 610$ м, $Q = 113,93$ л/с	1
Valley $R = 625$ м, $Q = 88,40$ л/с	1
Оросительная сеть, всего, м	9552
в т. ч. полиэтиленовые трубы ПЭ100 ГОСТ 18599–2001, м	
SDR17 0200×11,9	855
SDR17 0315×18,7	3137
SDR17 0355×21,1	1480
SDR17 0500×29,7	2897
SDR11 0630×57,2	1183
Расчетный расход проектируемой сети, $Q_{\max}$ , л/с	460,3
Потребный напор, $H_{\text{расч}}$ , м	150

по ПК7+37, предусмотрен единый переход под автодорогой, лесополосами и подземными коммуникациями  $L = 129$  м методом горизонтально направленного бурения (ГНБ) полиэтиленовой трубой  $d500 \times 29,7$  в футляре  $d710 \times 42,1$ .

Общая площадь проектируемого участка орошения согласно проведенных гидравлических расчетов принята 472,5 га, с учетом перспективы — 583,4 га.

Тип поливной техники принят согласно задания на проектирование, выбор модификации произведен из расчета возможного вовлечения площадей в орошение в соответствии с представленным заказчиком участками земель сельскохозяйственного назначения. Проектом приняты дождевальные машины кругового действия Valley различных модификаций (см. таблицу).

Тип и модификация дождевальной техники приняты из расчета максимального вовлечения площадей в орошение. На основе составленного графика водоподдачи произведен гидравлический расчет сети. (График водоподдачи приложен). Гидравлическим расчетом определены оптимальные диаметры и материал трубопроводов с учетом допустимых скоростей, свободных напоров дождевальной техники и потерь в сети при расчетных расходах (схема гидравлического расчета и гидравлический расчет приложены).

Прокладка трубопроводов оросительной сети осуществляется открытым способом, срезка растительного грунта 0,3 м с последующим возвратом. Глубина заложения труб принята 2 м до дна траншеи, трубы укладываются на естественный грунт.

Обратная засыпка производится местным грунтом без включений, во избежание повреждения труб обратную засыпку траншеи на высоту 0,3 м от поверхности трубы производится с подбивкой пазух слоями 0,1...0,15 м вручную (суглинок с коэффициентом уплотнения грунта 0,95).

Дождевальные машины к закрытой оросительной сети подключаются с помощью узлов подключения (ГВ). Выход на поверхность осуществляется стальной трубой ГОСТ 10704—91 0219×6 мм. В проекте предусмотрено 8 узлов подключения (ГВ). Центральная опора дождевальной машины располагается на расстоянии 5 м от выхода на поверхность земли и устанавливается на фундаментную плиту. Фундамент состоит из монолитной плиты размером 3800×3800 мм из бетона В15 F150 W6, с армированием (010A400 ГОСТ 34028—2016) Под фильтр предусматривается укладка ж/б плиты 2П30-18-30 В15 F150 W6 на основание из ПГС толщиной 100 мм.

Узел монтируется в следующей последовательности: для сброса воздуха Nelson ACV200P; манометр ГОСТ 2405—88 МПТ160 с трехходовым краном 14М-1 0 20-16; задвижка 30ч6бр 0200-10; регулятор давления «после себя» АСТА, фильтр сетчатый АВВРА-У-3016-Д.

На оросительной сети предусмотрены: в ремонтных целях — колодцы (КР) с установкой запорной арматуры 1500 мм — 3 шт., 2000 мм — 3 шт. Высота колодцев 2730 мм. Также на сети установлены колодцы КР в сочетании с мокрым колодцем в количестве 2 шт. Высота колодцев 2730 мм/3030 мм.

Для защиты от гидравлического удара предусмотрена установка 3-х колодцев с обратным клапаном (КОК), разделяющие трубопровод на независимые участки при обратном токе воды. Установка обратных клапанов предусматривается в колодцах  $d = 2000$  мм. Высота данных колодцев 2730 мм.

Для опорожнения сети в межвегетационный период в пониженных точках рельефа местности на трубопроводах предусмотрены опоражнивающие колодцы (КО-/МК-) 1500 мм / 1000 мм в сочетании сухой с мокрым с установкой в сухом колодце запорной арматуры — 8 шт. Высота колодцев 2730 мм / 3030 мм. Вода из мокрого колодца удаляется на рельеф местности погружным насосом, который подключается к дизельному генератору.

Также для опорожнения сети в пониженных точках рельефа местности предусмотрены стояки опорожнения СО в количестве 3 шт. Стояки опорожнения запроектированы из стальных труб  $d = 159 \times 4,5$  ГОСТ 10704—91 и выступают над поверхностью земли  $h = 0,5$  м. В верхней части стояка установлена заглушка с фланцевым соединением ГОСТ 12836—67 159×4,5. На надземной части стояка также предусматривается установка вентиля.

Опорожнение трубы на начальном этапе предусмотрено через вентиль. Остатки воды откачиваются погружным насосом через открытую заглушку. Во избежание повреждения выступающая часть стояка опорожнения ограждается стеновым кольцом КС 10-6 В15F150W6.

Колодцы КР-, КР/МК-, КО-/МК-, КОК выполнены из круглых сборных ж/бетонных изделий серии 3.900-3, (ГОСТ 8020—2016) класс бетона ж/б изделий В15 F150 W6.

Прокладка труб в стенках колодцев предусматриваются с пробивкой отверстий, в кожухе из стальных патрубков ГОСТ 10704—91 длиной 0,3 м. В заделке отверстий используется монолитный бетон В10 F100 W4, цементный раствор, асбестоцементный раствор, просмоленая пакля. Подготовка под плиту днища предусматривается из щебня М600 фр. 20...40 мм  $t = 0,15$ , коэф. размят. 0,75). Для монтажа ж/б элементов используется цементный раствор, устройство опор под запорную и предохранительную арматуру из бетона В7.5 F100 W4. Стены колодца покрываются битумной гидроизоляцией. Тип люка — чугунный легкий.

Для автоматического удаления воздуха из оросительной сети в период ее заполнения и впуска воздуха в оросительную сеть при образовании в ней вакуума устанавливаются мембранные вантузы ВМТ. Вантузы устанавливаются на трубопроводе при помощи П/Э тройников с выходом на поверхность стальной трубой ГОСТ 10704—91 на которую монтируется вантуз. На сети установлены вантузы ВМТ-50  $d = 50-16$  — 2 шт. и ВМТ-100  $d = 100-16$  — 6 шт. Во избежание повреждения выступающая часть ограждается стеновым кольцом КС 10-6 В15F150W6.

Проектом предусматриваются культуротехнические мероприятия в местах пересечения трубопровода в лесополосах.

**Источник орошения.** Согласно задания на проектирование и ввиду отсутствия других источников водоснабжения источником орошения предусматривается Куйбышевское водохранилище. Проектные отметки Куйбышевского водохранилища: НПУ – 52,43 м БС; максимальные ФПУ – 54,75 м БС.

**Насосная станция.** Насосная станция согласно п. 9.13 СП 100.13330.2016 по надежности подачи воды относится к III категории, п. 9.3.4 СП 100.13330.2016 резервные агрегаты не предусматриваются. Насосная станция относится к IV классу капитальности в соответствии СП 58.13330.2019.

Насосная станция по подаче – является малой насосной станцией, по напору – высоконапорной. Площадки насосной станции насыпные. Площадка № 1 расположена на отметке 55,25 м, площадка № 2 на отметке 53,225. Размеры площадки № 1 – 3,5×13,4 м, площадки № 2 – 18×18,1 м Крепление площадок насосных станций – бетонное (В25 F150 W6)

В качестве насосного оборудования приняты 3 комплекта насосов марки NSC250-200-660 с электродвигателем 5АИ мощностью 355 кВт (рис. 1).

Водозаборное сооружение насосной станции предназначено для забора расчетного количества воды и состоит из водозаборных устройств Riverscreen 12" и всасывающих алюминиевых трубопроводов на понтонах (рис. 2).

Под техническое оборудование и рабочее место обслуживающего персонала предусмотрено здание (навес) одноэтажное металлическое размерами в плане 5×6 м, высотой 2,5...3 м. Крепление площадок насосных станций – бетонное (В25 F150 W6).

Подача воды на орошаемый участок осуществляется в один подъем, передвижной насосной станцией с забором воды из Куйбышевского водохранилища. Нормальный подпорный уровень НПУ = 52,43 м, минимальный уровень забора воды 50,16 м, форсированный подпорный уровень ФПУ = 54,75 м, намыв волны 55,83 м.

Станция наземного типа, расположена на берегу Куйбышевского водохранилища. В состав узла сооружений входит: водозаборное сооружение; площадка станций с размещенным на ней оборудованием; напорный трубопровод.



**Рис. 1.** Монтаж электрифицированного насосного оборудования на верхней площадке насосной станции, 05.08.2022

Все сооружения насосной станции относятся к IV классу капитальности и III категории надежности в соответствии СП 58.13330.2019, СП 31.13330.2021 и ВСН 33-2.2.12–87.

Водозаборное сооружение насосной станции предназначено для забора расчетного количества воды и состоит из самоочищающихся сетчатых фильтров для забора воды и защиты насосов от мусора, находящегося в водоеме, и всасывающего трубопровода.

Всасывающий трубопровод принят из алюминиевых труб и имеет непрерывный подъем к насосам. Количество линий выбрано согласно СП 31.13330.2021 для сооружений III категории надежности, диаметр трубы определен из расчета допустимых скоростей движения воды во всасывающем трубопроводе и равен 350 мм.

Высотная компоновка площадки станции выполняет условия обеспечения благоприятного гидравлического режима на входе в насосы. Насосы установлены не под заливом. Заполнение насосных агрегатов водой предусмотрено насосами BEST 4MA и, идущим в комплекте, гибким шлангом.

Для обеспечения требуемого расчетного расхода 460,3 л/с с расчетным напором 150 м на орошаемый участок в качестве насосного оборудования станции принято 3 рабочих насоса марки CNP 3NSC250-200-660 Др.к. = 622 мм с электродвигателем 5АИ мощностью 355 кВт и частотой вращения 1500 об/мин. Насосное оборудование поставляется с гидроизоляцией, поэтому установка насосного оборудования предусмотрена на открытой местности площадки.

Отметка уровня воды Куйбышевского водохранилища непостоянна, в связи с этим, проектом предусмотрена двухуровневая площадка насосной станции. Забор воды насосной станцией с верхней площадки производится выше отметки воды 52,145 м, с нижней площадки – ниже отметки 52,145 м до отметки 50,16 м. Уровни забора воды из Куйбышевского водохранилища основаны на отчете «Определение отметки р. Кама у с. Галактионово» и исходя из благоприятного гидравлического режима на входе в насосы.

Верхняя площадка расположена на отметке 55,25 м и имеет размеры 18×18,1 м. На территории верхней



**Рис. 2.** Водозаборные устройства Riverscreen 12" с всасывающими алюминиевыми трубопроводами на понтонах

площадки расположены фундаменты для монтажа насосных агрегатов, обвязка насосного оборудования, глухой металлический навес, разворотная площадка и общий коллектор, ведущий к магистральной трубе системы ОРС. Всаивающая линия состоит из водозаборного поверхностного устройства Riverscreen 12", стального перехода 325×10–350×11 ГОСТ 17378–2001, всасывающих алюминиевых трубопроводов Ду350  $L=9$  м (в количестве 2 шт.), и, соединяющего их, трубопровода напорно-поворотного-фланцевого, с углом изгиба до 40°. Всаивающая линия опирается на понтоны. Обвязка насосного оборудования представлена из стального перехода 219×8–325×10 ГОСТ 17378–2001, стального патрубка Ду325  $L=0,3$  м ГОСТ10704–91, обратного межфланцевого клапана Ду300, гибкой вставки Ду300, шиберной задвижки Ду300 Ру16 и стальных труб Ду325×6 мм ГОСТ10704–91, длиной 1,9 м, ведущих к общему коллектору Ду 530×6 ГОСТ10704–91.

Всаивающая и напорная линия описаны для одного насосного агрегата, всего насосов – 3шт.

При снижении уровня воды в Куйбышевском водохранилище до отметки 52,145 мБС, всасывающая линия и насосные агрегаты демонтируются, а затем монтируются на нижней площадке.

Нижняя площадка расположена на отметке 53,225 м и имеет размеры 3,5×13,4 м. На территории нижней площадки расположены фундаменты под насосные агрегаты и лестница для спуска и обслуживания площадки. После монтажа насосных агрегатов, монтируется всасывающая линия. Всаивающая линия состоит из водозаборного поверхностного устройства Riverscreen 12", стального перехода 325×10–350×11 ГОСТ 17378–2001, всасывающих алюминиевых трубопроводов Ду350  $L=9$  м, и, соединяющих их, гибкой вставки Ду350, с углом изгиба до 15°. Всаивающая линия опирается на понтоны. Напорная линия состоит из стального перехода 219×8–325×10 ГОСТ 17378–2001, двух стальных отводов Ду325 ГОСТ 17375–2001, и стальных патрубков Ду325  $L=1,2$  м и  $L=3$  м ГОСТ10704–91. Стальной патрубок Ду325  $L=3$  м ГОСТ10704–91 присоединяется к стальному патрубку Ду325  $L=0,3$  м ГОСТ10704–91, расположенному на верхней площадке.

Всаивающая и напорная линия описаны для одного насосного агрегата, всего насосов – 3 шт.

Всаивающий трубопровод состоит из водозаборного поверхностного устройства типа Riverscreen 12", всасывающего алюминиевого трубопровода Ду350, и подвижных гибких вставок Ду350.

Riverscreen – самоочищающиеся сетчатые фильтры для забора воды и защиты насосов от мусора, находящегося в водоеме. Идеальное решение для работы в сельскохозяйственной отрасли, при заборе воды из озер, рек, оросительных каналов.

Риверскрины защищают от загрязнения и износа не только сам насос, но и всю дальнейшую систему фильтрации, тем самым значительно увеличивают срок их службы и эффективность.

Водозаборное поверхностное устройство Riverscreen 12" имеет размеры барабана 660×220 мм,

максимальный поток 915 м/ч, понтон 3+1 и всасывающая линия 9 м.

Глухой металлический навес, размерами в плане 5×6 м и высотой 2,5...3 м, необходим в качестве укрытия, позволяющего защитить от осадков и талых вод расходомер АКРОН-01 и техническое оборудование.

Для измерения расхода и объема воды установлен ультразвуковой расходомер АКРОН-01. Расходомер АКРОН-01 Ду 500 мм включает в себя первичный преобразователь ПП-1 и электронный блок БЭ-1, соединенные радиочастотным кабелем. ПП-1 состоит из двух ультразвуковых излучателей и устройства для их крепления на трубе. ПП-1 установлен на прямолинейном участке трубопровода на наружной поверхности, очищенной от грязи, краски и ржавчины. Расходомер АКРОН-01 имеет жидкокристаллический дисплей, на который выводится вся информация.

Общий коллектор представлен стальной трубой Ду530×6 мм ГОСТ 10704–91, длиной 110,4 м. Диаметр трубопровода определен по производительности насоса из расчета допустимых скоростей при оптимальных значениях КПД насоса. Пристанционный напорный трубопровод монтируется к магистральному трубопроводу сети ОРС с помощью НСПС из го100SDR11 630×530 мм ТУ 22.21.29-030-73011750–2018.

Опорожнение системы предусмотрено через линию опорожнения, включающую в себя стальной трубопровод Ду159×5,0 ГОСТ10704–91, чугунной задвижки 30ч6бр Ду150 Ру16.

Площадка под насосную станцию спланирована с учетом отвода атмосферных осадков.

Автоматизация технологического процесса насосной станции оросительной системы предусматривает:

- поддержание заданного давления в напорных водоводах станции с помощью 3 насосов с преобразователями частоты (Н1.1–Н1.3);
- автоматическую ротацию насосных агрегатов (Н1.1–Н1.3) с целью равномерной загрузки;
- управление насосами Н1.1–Н1.3 в дистанционном режиме осуществлять со шкафа управления СУПН. Питание шкафа СУПН осуществляется напряжением 380 В переменного тока.

**Съезд к насосной станции.** Проектом предусмотрен съезд для подъезда к насосной станции в целях ее эксплуатации. Протяженность съезда составила 37,6 м и шириной 6 м. В качестве покрытия технологического съезда проектом предусмотрена отсыпка щебнем  $t=0,3$  м, М600 фр. 20–40 F150, коэф. разм. 0,75.

Для въезда и выезда с поля используются существующие полевые дороги. Вдоль трубопроводов предусматривается монтажная полоса, совмещенная с эксплуатационной дорогой шириной 4,5 м с выравниванием по трассе грейдером или бульдозером, которая может ежегодно распахиваться.

**Наблюдательные скважины.** Проектом предусмотрена установка наблюдательных скважин для наблюдения за уровнем грунтовых вод на участке орошения. Глубина наблюдательной скважины может изменяться в зависимости от глубины водоносных грунтов. Гидрогеологиче-



ская обстановка на участке орошения хорошая. В целях наблюдения за режимом подземных вод предусматриваются устройство 5 наблюдательных скважин.

**Заключение.** С учетом требований современного развития науки и техники, технологий в области строительства оросительных систем, применения дождевальных машин, использования насосных станций с мая по октябрь 2022 г. была построена на заявленной площади оросительная система с насосной станцией.

Оросительная система была запущена в конце мая 2023 г. для орошения раннего картофеля на площади 472,5 га, т. к. вегетационный период складывался в республике засушливым. В результате полива овощных культур были получен высокий и качественный урожай раннего картофеля (300 ц/га) превышающий в 3 раза выращенный урожай на богаре (100 ц/га).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» (с изменениями и дополнениями).
2. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации».
3. Сабиров А.М., Джумаева Г.Ш. Применение железобетонных труб в гидромелиорации и водоотведении // Проблемы, идеи и инновации в агропромышленном комплексе: международная научно-практическая конференция (г. Чистополь, 16–17 декабря 2013 г.). Казань: Казанский университет, 2014. С. 157–162.
4. Состояние плотины в РТ/ А.М. Сабиров, В.А. Корольков, А.А. Нуруллин, М.М. Хисматуллин // Наука и практика. Проблемы, идеи, инновации: сборник материалов 4-й Межд. науч.-практ. конф. Чистополь: Альмедиа, 2009. С.326–328.
5. Состояние мелиоративной отрасли в Республике Татарстан и основные пути ее развития / А.М. Залаков, Д.И. Файзрахманов, М.М. Хисматуллин, А.М. Сабиров, А.Ш. Зарипов // Вестник Казанского ГАУ. 2015. № 4(38). С. 10–15.
6. Бабиков Б.В. Гидротехнические мелиорации. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: ЛТА, 2002.
7. Маслов Б.С., Минаев И.В., Губер К.В. Справочник по мелиорации. М.: Агропромиздат, 189. 384 с.
8. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв: учебник. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2003. 448 с.

9. Режим орошения, способы и техника полива овощных и бахчевых культур в различных зонах РФ. Руководство. М.: ГНУ ВНИИ орошечного хозяйства, 2010. 84 с.

10. СП 100.13330.2016. Мелиоративные системы и сооружения. М.: Министерство стр-ва и ЖКХ РФ, 2015.

11. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения, акт. ред. СНиП 2.04.02–84.

#### REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation No. 717 of July 14, 2012 «On the State Program for the Development of Agriculture and regulation of agricultural Products, raw materials and food markets» (with amendments and additions).
2. Decree of the President of the Russian Federation No. 20 dated 21.01.2020 «On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation».
3. Sabirov A.M., Dzhumayeva G.Sh. Application of reinforced concrete pipes in hydraulic reclamation and drainage // Problems, ideas and innovations in the agro-industrial complex: international scientific and practical conference (Chistopol, December 16–17, 2013). Kazan.: Kazan University, 2014. Pp. 157–162.
4. The state of dams in the Republic of Tatarstan / A.M. Sabirov, V.A. Korolkov, A.A. Nurullin, M.M. Hismatullin Nauka i praktika. Problems, ideas, innovations: 4 international scientific and practical conference. Chistopol. Almedia Publishing House, 2009. Pp. 326–328.
5. The state of the reclamation industry in the Republic of Tatarstan and the main ways of its development / A.M. Zhalakov, D.I. Fayzrakhmanov, M.M. Hismatullin, A.M. Sabirov, A.S. Zaripov // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2015. № 4(38). Pp. 10–15.
6. Babikov B.V. Hydraulic reclamation. 3rd ed., reprint. and add. St. Petersburg: LTA, 2002.
7. Maslov B.S., Minaev I.V., Guber K.V. Handbook of land reclamation. M.: Agropromizdat, 189. 384 p.
8. Seidelman F.R. Soil reclamation. Textbook. 3rd ed., ispr. and add. M.: Publishing House of Moscow State University, 2003. 448 p.
9. Irrigation regime, methods and techniques for watering vegetable and melon crops in various zones of the Russian Federation. Manual. M.: Wildebeest Research Institute of Vegetable Growing, 2010. 84 p.
10. SP 100.13330.2016. Meliorative systems and structures. M.: Ministry of Construction and Housing of the Russian Federation, 2015.
11. SP 31.13330.2021. Water supply. Outdoor networks and structures act. ed. SNiP 2.04.02–84.

**Сунгатуллин Рустем Хизбуллович**, ген. директор, [info@tatmeleo.ru](mailto:info@tatmeleo.ru); **Сабиров Айрат Мансурович**, доктор с.-х. наук, профессор Казанского ГА, гл. специалист, [sabairat@mail.ru](mailto:sabairat@mail.ru) (ОАО ТК «Татмелиорация»); **Хисматуллин Марс Мансурович**, директор, [rezi-almet@yandex.ru](mailto:rezi-almet@yandex.ru) (ФГБУ «Управление «Приволжскмелиоводхоз»); **Валиев Айрат Расимович**, доктор техн. наук, профессор, ректор, [ayratvaliev@mail.ru](mailto:ayratvaliev@mail.ru) (ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»).

## ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ «МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО»

Оформить подписку на журнал можно в почтовых отделениях связи.

Индекс журнала в каталоге ОАО Агентства «Роспечать» – **70508**

Подписаться на журнал можно через ГК «Урал-Пресс», а также через редакцию.

Для оформления подписки через редакцию нужно сделать заказ по электронной почте: [mivh@mail.ru](mailto:mivh@mail.ru).

В заказе следует указать:

- полное название организации (для юридического лица) или ФИО (для физлица);
- сколько экземпляров каждого номера Вам необходимо;
- точный почтовый адрес (с обязательным указанием почтового индекса);
- контактные телефоны, факс, электронный адрес (для отправки счета);
- для юридических лиц – реквизиты для оформления бухгалтерских документов (ИНН, КПП, юридический адрес).

После получения заказа будет выслан счет, оплатив который Вы получите по почте заказанные экземпляры (по мере их выхода из печати или вышедшие ранее). По желанию подписчика возможно получение журналов в редакции.

Телефон для справок: +7(499) 976–48–39.