



**Учредители:**

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

Издается с апреля 1949 года

# МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

№ 4  
июль—август  
2025

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТРАНИЦА РЕДАКТОРА

Гулюк Г.Г. Эффективная мелиорация –  
обеспечение продовольственной безопасности . . . . . 2

### ГИДРОТЕХНИКА, ГИДРАВЛИКА

Вайнберг М.В., Шепелев А.Е. Состояние  
пунктов водоучета на оросительных системах  
Южного и Северо-Кавказского федеральных  
округов. . . . . 3

Хитров Я.И., Качаев А.Е., Турапин С.С.  
Верификация численного моделирования  
фильтрации грунтовой плотины  
на водопроницаемом наклонном основании . . . . . 8

### МЕЛИОРАЦИЯ И УРОЖАЙ

Желязко В.И., Набздоров С.В. Опыт орошения  
сахарной свеклы на территории Республики  
Беларусь. . . . . 13

### МЕЛИОРАЦИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ

Волков А.Д., Несмачный П.Ю., Китаев Д.А.  
Анализ рекультивируемых и нарушенных  
земель при разработке карьеров . . . . . 19

### НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАЦИИ

Абдразаков Ф.К., Чумакова С.В., Горюнов Д.Г.  
Математическая модель оптимизации  
обновления парка мелиоративных машин . . . . . 22

Рябцев П.В., Колесниченко К.В. Регулирование  
мелиоративных режимов почв с применением  
численного моделирования оттока дренажных вод . . 28

Щедрин В.Н., Медведева Л.Н., Куприянов А.А.,  
Куприянова С.В. Научные устремления:  
развитие аквакультуры на объектах  
мелиорации в Волго-Донском междуречье . . . . . 33

### ОРОШЕНИЕ

Кудратов Т.У., Якубов М.А. Роль дренажа  
в регулировании водообмена орошаемых  
земель на засоленных землях. . . . . 38

### ИНФОРМАЦИЯ

Евгению Никитовичу Белоконеву – 85 лет . . . . . 42  
Михаилу Владимировичу Глистину – 75 лет . . . . . 43  
Серажутдину Аминовичу Курбанову – 75 лет . . . . . 44

## CONTENTS

### EDITOR'S PAGE

Gulyuk G.G. Effective land reclamation – ensuring  
food security . . . . . 2

### HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS

Vaynberg M. V., Shepelev A. Ye. The condition of  
water accounting points on irrigation systems of the  
South and North Caucasus federal districts . . . . . 3

Khitrov Ya.I., A Kachaev.E., Turapin S.S.  
Verification of numerical modeling of water  
saturation of an earth dam on a permeable inclined  
foundation . . . . . 8

### MELIORATION AND HARVEST

Zhelyazko V.I., Nabzdorov S.V. Experience of  
irrigation of sugar beet in the territory of the  
Republic of Belarus . . . . . 13

### MELIORATION OF AGROLANDSCAPES

Volkov A.D., Nesmachniy P. Yu., Kitaev D.A.  
Analysis of reclaimed and disturbed lands during  
quarrying. . . . . 19

### SCIENTIFIC ENSURING MELIORATION

Abdrzakov F.K., Chumakova S.V., Goryunov  
D.G. Mathematical model for optimization of the  
renewal of the melioration machine fleet . . . . . 22

Ryabtsev P.V., Kolesnichenko K.V. Regulation of  
meliorative regimes using numerical modelling of  
drainage water outflow . . . . . 28

hchedrin V.N., Medvedeva L.N., Kupriyanov  
A.A., Kupriyanova S.V. Scientific aspirations:  
development of aquaculture at irrigation sites in the  
Volga-Don interriver region. . . . . 33

### IRRIGATION

Kudratov T.U., Yakubov M.A. The role of drainage  
in regulation of water exchange of irrigated lands  
on saline lands . . . . . 38

### INFORMATION

E.N. Belokonev is 85 years old . . . . . 42  
M.V. Glistin is 75 years old . . . . . 43  
S.A. Kurbanov is 75 years old . . . . . 44

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 сои-  
скание 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. 5,12. Тираж 1000 экз.

Верстка Т.Б. Самсонова

Адрес редакции: 127434, Москва, Б. Академическая, д. 44, корп. 2.  
Тел./факс (499) 976-48-39. 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. ДУБЕНКО,  
Д.В. КОЗЛОВ, А.В. КОЛГАНОВ, И.П. КРУЖИЛИН, А.П. ЛИХАЦЕВИЧ,  
Я.П. ЛОБАЧЕВСКИЙ, С.Г. МИТИН, П.А. МИХЕЕВ, В.И. ОЛЬГАРЕНКО,  
Г.В. ОЛЬГАРЕНКО, Н.Н. СОЛОДЧУК, Т.Г. СТЕПАНОВА, В.И. ТРУХАЧЁВ,  
М.М. ХИСМАТУЛЛИН, В.А. ШЕВЧЕНКО, В.Н. ЩЕДРИН, В.П. ЯКУШЕВ,  
С.В. ЯХНЮК

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов публикаций.

## ЭФФЕКТИВНАЯ МЕЛИОРАЦИЯ – ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



**Г.Г. ГУЛЮК**

*Уважаемые мелиораторы России!*

**Д**ень знаний 2025 года вызывает в памяти яркие моменты эпохи золотой мелиорации Советского Союза. Это время оставило много воспоминаний, полных значимости и важности, которые стоит вспомнить. Министерство мелиорации в СССР представляло собой мощ-

ную и эффективную структуру, которая открывала огромные перспективы для развития сельскохозяйственных угодий. Оно играло ключевую роль в улучшении состояния земель и повышении их производительности.

Важно отметить, что мелиорация земель была одной из основных задач, на которую ориентировались территориальные власти. Каждый регион республик и областей имел хорошо организованные органы управления, отвечающие за мелиорацию и водное хозяйство. Областные и районные управления мелиорации играли важную роль в реализации проектов, связанных с улучшением земельных ресурсов. Разрабатывались программы развития мелиорации, жесткие планы с соответствующими финансовыми ресурсами. Крупные производства, строительные организации, проектные институты, дирекции областных организаций обеспечивали проектирование и мелиоративное строительство. Огромное внимание уделялось образованию на уровне территорий, областных центров. Создавались крупные индустриальные базы, заводы, оборудование и ремонтные предприятия.

Несколько показателей по Вологодской области: осушение – 16 тыс. га; культуртехнические работы – 50 тыс. га; строительство территориальных

баз, освоение капитальных вложений – 65 млн рублей, 1,5 тысячи работающих.

Огромный интерес руководства был к сотрудникам с мелиоративным или, в порядке исключения, агрономическим образованием. Не могу не остановиться на условиях образования Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. 2025 г. особенный – 160 лет со дня основания прославленной академии. По заявлению ректора, академика РАН, доктора сельскохозяйственных наук, доктора экономических наук, профессора Владимира Ивановича Трухачёва – это не просто 160 лет истории, это 160 лет научных открытий, воспитание поколения аграриев, ученых и государственных деятелей, которые внесли и продолжают вносить неоценимый вклад в развитие России.

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – признанный лидер, единственный аграрный вуз России, который вошел в мировой рейтинг лучших вузов в 2024 г. – 1401-е место в мире, 41...47-я позиция в России. В предметной области России сельское и лесное хозяйство занимает 251-е место в мире, 3-е место в России. По итогам 2024 г. РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева улучшил свои позиции на 79 пунктов и занял 167-е место в мире, 4-е место в стране. По итогам научного агрегированного рейтинга 2025 г. РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева показал лучший результат среди аграрных вузов и вошел в Премьер-лигу российских университетов.

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева вошел в пилотный рейтинг университетов стран БРИКС, который впервые опубликован в 2024 г. и расположился на 251-й позиции в мире и 67-й позиции по стране.

В текущие годы подано более 110 тыс. заявлений о поступлении, из них половина на бакалавриат и специалитет. Огромная значимость РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева подтверждается ее размещением в Северном административном округе Москвы. Академия занимает 555 га в 9 км от Красной площади. Территория Тимирязевки в 2,5 раза больше княжества Монако и в 11 раз больше города-государства Ватикан.

Кампус Академии насчитывает 334 объекта недвижимости, из которых: 31 учебный корпус, 13 общежитий, 18 объектов



**Главное здание Тимирязевской академии**

культурного наследия, 137 квартир, 2 столовых, 8 буфетов. Город в городе по своей инфраструктуре – 9 улиц и 13 переулков. В университете трудится более 600 человек профессорско-преподавательского состава, из которых 91 % – доктора наук.

Научно-исследовательская работа является одной из приоритетных задач университета – сегодня в агроуниверситете функционируют: 53 научные школы, 43 исследовательских центра и лаборатории, 7 диссертационных советов. В прошлом году запустили в работу 12 новейших аудиторий и центров.

Студентам предоставляются благоустроенные общежития. На протяжении 100 лет Тимирязевка выпускает востребованных и высококвалифицированных специалистов.

За последние годы разработано более 20 новых образовательных программ бакалавриата и магистратуры, в том числе по наиболее востребованным специальностям в IT-сфере, управлении предприятием и финансовому менеджменту.

Численность студентов выросла почти в 2 раза до 2900 человек, средний балл поступающих по всем направлениям подготовки составляет 73,8, по отдельным направлениям 79,6.

Теперь о самом главном!

Завершился прием студентов в Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им А.Н. Костякова РГАУ-МСХА им. Тимирязева. Приемная комиссия в институте едва заполнила выделенное количество бюджетных мест в основном абитуриентам г. Москвы. Такое отношение нетерпимо при недостаточной обеспеченности мелио-

раторах областных, районных, государственных бюджетных организаций, не говоря уже о ситуации в сельскохозяйственных организациях землепользователей.

Проходной балл	2024/2025	2025/2026
Минимальный	154	179
Средний	181,2	196,5
Максимальный	228	230

Безусловно, не оправдан набор на 3 места в магистратуру по требованиям Департамента мелиорации, руководителей областных учреждений.

Убедительно прошу усилить работу по набору в 2026/2027 гг. Каждое ФГБУ должно направить не менее 2 абитуриентов. Обратиться в Министерство сельского хозяйства территории с просьбой направить 3–4 абитуриентов, руководителям землепользователей в каждом хозяйстве, имеющим более 100 тыс. га орошаемых или осушенных земель.

Министерство сельского хозяйства России прошу увеличить бюджетные места институту по мелиорации земель и количество мест в магистратуру.

Уважаемые директора ФГБУ по мелиорации земель! Прошу проявить инициативу и в следующих наборах увеличить в целом набор до 10 мест, а в магистратуру до 20. Пора идти в школы для профориентации. Поверьте, отношение к земле, мелиорации, безусловно, привлечет соответствующее внимание к плодородию земель и росту эффективности, обеспечению продовольственной безопасности.

Главный редактор журнала  
«Мелиорация и водное хозяйство»

Г.Г. Гулюк

УДК 626/627

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-4-3-7

## СОСТОЯНИЕ ПУНКТОВ ВОДОУЧЕТА НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ЮЖНОГО И СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГОВ

М.В. ВАЙНБЕРГ, А.Е. ШЕПЕЛЕВ

**Ключевые слова:** гидрометрическая сеть, пункт водоучета, средство измерения, оросительная система, сооружение, рейка, уровень безопасности.

**Keywords:** hydrometric network, water metering station, measuring instrument, irrigation system, structure, rail, security level.

**Аннотация.** В 2025 г. сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» проведен сбор, анализ и систематизация массива информационных данных эксплуатационных организаций, подведомственных Департаменту мелиорации Минсельхоза России, относящихся к Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам, о состоянии гидрометри-

ческой сети. Согласно результатам опроса основными средствами измерений на пунктах водоучета являются стационарные гидрометрические рейки (61%) и градуированные сооружения (17%). Касательно технического состояния пунктов водоучета установлено, что у 51% от общего количества пунктов уровень безопасности оценивается как нормальный. К пунктам водоучета, характеризующим пониженный и неудовлетворительный уровень безопасности, относятся 303 единицы (21%) и 323 единицы (23%) соответственно. В рамках мероприятий по оптимизации системы технологического водоучета и повышению точности гидрометрических исследований на мелиоративных каналах управлениями представле-

ны предложения по проведению реконструкции 122 пунктов водоучета, требуется капитальный ремонт 73 пунктов водоучета. Кроме того, необходимо строительство 398 новых дополнительных пунктов водоучета. Оборудование пунктов водоучета находится на низком уровне. Такая ситуация является следствием длительного недофинансирования отрасли. Тем не менее, существует заинтересованность эксплуатационных организаций в реконструкции, капитальном ремонте существующих пунктов водоучета, либо в строительстве новых.

**Abstract.** In 2025, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems employees collected, analyzed and systematized an array of information data from operating organizations subordinate to the Department of Land Reclamation of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, related to the Southern and North Caucasus federal districts, on the presence of water metering points on irrigation systems. According to the survey results, the main measuring instruments at water accounting points are stationary hydrometric rails (61%) and graduated structures (17%). Regarding the technical condition of water accounting points, it was found that 51% of the total number of points have a safety level assessed as normal. Water accounting points that characterize a reduced and unsatisfactory level of safety include 303 units (21%) and 323 units (23%), respectively. As part of measures to optimize the system of technological water accounting and improve the accuracy of hydrometric studies on reclamation channels, the departments submitted proposals for the reconstruction of 122 water accounting points, major repairs are required to 73 water accounting points. In addition, it is necessary to build 398 new additional water accounting points. The equipment of water accounting points is at a low level. This situation is a consequence of the long-term underfunding of the industry. Nevertheless, there is an interest from operating organizations in the reconstruction, major repairs of existing water metering points, or in the construction of new ones.

**Введение.** Основной целью использования оросительных систем является максимальное удовлетворение потребностей орошаемых земель сельскохозяйственного назначения в водных ресурсах с минимальными затратами и воздействием на окружающую среду [1, 2].

Методы управления водохозяйственными объектами, применяемые в период, когда располагаемые водные ресурсы Южного и Северо-Кавказского федеральных округов значительно превосходили спрос на них, на современном этапе развития оросительных систем становятся неприемлемыми, так как удовлетворение потребности в орошении сельскохозяйственных культур сегодня зависит не только от наличия воды в используемом водоеме, но и решений вопросов по установлению требуемого объема водоподдачи, для обеспечения водопотребителей и водопользователей в данной системе [3, 4].

Существующие на настоящий момент принципы управления технологическими процессами

водораспределения на большинстве оросительных систем юга страны соответствуют технологиям 70–80-х годов прошлого столетия [5]. Перспективное и текущее планирование деятельности водопотребления осуществляется на основании предыдущего опыта эксплуатации, квалификации, а иногда, и интуиции специалистов учреждений по мелиорации земель, а вычисления по объемам водоподдачи, в большинстве своем, выполняются с использованием упрощенных методов водоучета и водоизмерения, что приводит к принятию субоптимальных решений [6–8].

Для решения данной проблемы, необходимо проведение исследований направленных на изучение вопросов связанных с текущим состоянием водоучета на оросительных системах и гидротехнических сооружениях с последующей выработкой решений по устранению вышеуказанных негативных последствий.

**Обсуждение.** В 2025 г. сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» проведен сбор, анализ и систематизация массива информационных данных эксплуатационных организаций, подведомственных Департаменту мелиорации Минсельхоза России, относящихся к Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам, о состоянии гидрометрической сети (табл. 1).

Как видно из представленных сведений наиболее развитая гидрометрическая сеть на оросительных системах представлена в ФГБУ «Управления «Кубаньмелиоводхоз» и ФГБУ «Дагмелиоводхоз», а наименьшая гидрометрическая сеть в ФГБУ «Управление «Адыгеямелиоводхоз».

Таблица 1

Пункты водоучета на оросительных системах

Управление	Количество пунктов водоучета
Адыгеямелиоводхоз	5
Астраханмелиоводхоз	23
Ростовмелиоводхоз	94
Саратовмелиоводхоз	10
Ставропольмелиоводхоз	102
УЭБСК	21
УЭТКГ и ЧВ	65
Севосетинмелиоводхоз	8
Кубаньмелиоводхоз	475
Дагмелиоводхоз	487
Ингушмелиоводхоз	12
УЭММККаббалкмелиоводхоз	57
Волгоградмелиоводхоз	57
Калммелиоводхоз	9
Чеченмелиоводхоз	10
Итого	1435

Таблица 2

## Средства измерений на оросительных системах

Управление	Средство измерения					
	Рейка	Градуированное сооружение	Стационарный расходомер	Гидрометрическая вертушка	Косвенное измерение	Иное
Адыгейямелиоводхоз	2	1	1	—	1	—
Астраханмелиоводхоз	1	2	2	1	17	—
Ростовмелиоводхоз	63	1	14	—	16	—
Саратовмелиоводхоз	3	—	6	—	—	1
Ставропольмелиоводхоз	63	31	2	6	—	—
УЭБСК	4	4	4	—	9	—
УЭТКГ и ЧВ	44	—	—	20	1	—
Севосетинмелиоводхоз	5	3	—	—	—	—
Кубаньмелиоводхоз	166	202	2	40	65	—
Дагмелиоводхоз	424	3	—	33	25	2
Ингушмелиоводхоз	12	—	—	—	—	—
УЭММККаббалкмелиоводхоз	57	—	—	—	—	—
Волгоградмелиоводхоз	23	—	20	8	2	4
Калммелиоводхоз	—	—	—	7	1	1
Чеченмелиоводхоз	10	—	—	—	—	—
Итого	877	247	51	115	137	8

Как известно пункт водоучета (ПВ), представляет собой гидрометрический пост на оросительной системе, оборудованный техническими устройствами и приборами для проведения водоизмерения. В табл. 2 представлена информация о наличии средств измерений на объектах государственных оросительных систем Российской Федерации, относящихся к Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам.

Данные таблицы показывают, что основными средствами измерений на пунктах водоучета оросительных систем являются стационарные гидрометрические рейки (61 %) и градуированные гидротехнические сооружения (17 %). Для пересчета уровня в объем ( $Q=f(H)$ ) используются разработанные при вводе в эксплуатацию градуировочные таблицы. На 137 пунктах водоучета (9 %) измерения производятся косвенным способом, при котором расход воды определяется по времени работы насосных агрегатов исходя из их производительности. И лишь 4 % пунктов водоучета оборудованы расходомерами-счетчиками, позволяющими мгновенно производить измерение объемного расхода и суммарного (интегрального) объема (количества) транспортируемой по оросительной сети воды.

В соответствии со стандартами, применяемыми на территории Российской Федерации, условием эффективной эксплуатации оросительных систем и рационального использования воды является организация гидрометрической сети для учета и измерения воды. К организации и контролю водоучета на сети в первую очередь относят пункты водоучета и их техническое состояние [9, 10].

В табл. 3 представлены данные технического состояния пунктов водоучета, расположенных на оросительных системах эксплуатационных организаций, подведомственных Департаменту мелиорации Минсельхоза России, относящихся

к Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам [11] по состоянию на 2025 г.

Согласно результатам опроса, проведенного среди эксплуатационных организаций касательно технического состояния гидрометрической сети, установлено, что у 51 % от общего количества пунктов водоучета уровень безопасности оценивается как нормальный. К пунктам водоучета, характеризующим пониженный и неудовлетворительный уровень безопасности относятся 303 единицы (21 %) и 323 единицы (23 %) соответственно. К аварийному (опасному) уровню безопасности, при котором дальнейшая эксплуатация гидротехнических сооружений пунктов водоучета в проектном режиме недопустима, относится 75 единиц или порядка 5 % от общего количества пунктов на сети.

Как показывают результаты опроса текущего состояния пунктов водоучета на оросительных системах Минсельхоза России, относящихся к Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам, уровень технического состояния гидрометрической сети остается низким [8, 12]. Однако в настоящий момент с целью повышения эффективности водоучета и водораспределения, а также рационального водопотребления ведется разработка предложений по восстановлению и совершенствованию гидрометрической сети на оросительных системах Минсельхоза России [13].

По итогам опроса подведомственных эксплуатационных организаций по совершенствованию

Таблица 3

## Техническое состояние пунктов водоучета на оросительных системах

Управление	Общее кол-во ПВ	Уровни безопасности ПВ			
		Нормальный	Пониженный	Неудовлетворительный	Аварийный
Адыгемелиоводхоз	5	5	—	—	—
Астраханмелиоводхоз	23	10	—	8	5
Ростовмелиоводхоз	94	92	—	1	1
Саратовмелиоводхоз	10	10	—	—	—
Ставропольмелиоводхоз	102	38	12	52	—
УЭБСК	21	21	—	—	—
УЭТКГ и ЧВ	65	65	—	—	—
Севосетинмелиоводхоз	8	1	—	1	6
Кубаньмелиоводхоз	475	164	214	96	1
Дагмелиоводхоз	487	241	57	127	62
Ингушмелиоводхоз	12	12	—	—	—
УЭММККаббалкмелиоводхоз	57	14	16	27	—
Волгоградмелиоводхоз	57	57	—	—	—
Калммелиоводхоз	9	4	4	1	—
Чеченмелиоводхоз	10	—	—	10	—
Итого	1435	734	303	323	75

Таблица 4

## Мероприятия по совершенствованию гидрометрической сети на оросительных системах

Управление	Общее кол-во ПВ	Мероприятия		
		Реконструкция	Капитальный ремонт	Новое строительство
Адыгемелиоводхоз	5	3	1	—
Астраханмелиоводхоз	23	—	—	9
Ростовмелиоводхоз	94	5	—	—
Саратовмелиоводхоз	10	1	2	—
Ставропольмелиоводхоз	102	33	—	—
УЭБСК	21	—	—	1
УЭТКГ и ЧВ	65	1	—	—
Севосетинмелиоводхоз	8	7	—	1
Кубаньмелиоводхоз	475	—	—	5
Дагмелиоводхоз	487	—	6	—
Ингушмелиоводхоз	12	4	—	—
УЭММККаббалкмелиоводхоз	57	46	26	126
Волгоградмелиоводхоз	57	2	15	19
Калммелиоводхоз	9	2	—	2
Чеченмелиоводхоз	10	18	23	235
Итого	1435	122	73	398

гидрометрической сети на оросительных системах разработаны и представлены мероприятия, приведенные в табл. 4.

В рамках мероприятий по оптимизации системы водоучета и повышению точности гидрометрических измерений на оросительных системах управлениями представлены предложения по восстановлению гидрометрической сети, ко-

торые включают проведение капитального ремонта 73 пунктов водоучета. А также мероприятия направлены на совершенствование сети, которые требуют реконструкции гидрометрических сооружений и переоснащения техническими средствами измерений в количестве 122 единицы, кроме того необходимости в строительстве 398 новых дополнительных с передовыми средствами водоизмерения пунктов водоучета. Для решения вопросов по оптимизации системы водоучета и повышению точности гидрометрических измерений наиболее востребованными в строительстве дополнительных пунктов водоучета являются оросительные системы ФГБУ «Управление «Чеченмелиоводхоз» и ФГБУ «УЭММККаббалкмелиоводхоз».

**Выводы**

1. По результатам проведенного опроса эксплуатационных организаций, подведомственных Департаменту мелиорации Минсельхоза России, относящихся к Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам, основными средствами измерений на пунктах водоучета являются стационарные гидрометрические рейки (61 %) и градуированные сооружения (17 %). Для пересчета уровня

в объем ( $Q=f(H)$ ) используются разработанные градуировочные таблицы при вводе в эксплуатацию.

2. На 9 % (137 ПВ) гидрометрической оросительной сети измерения производятся косвенным способом, при котором расход воды определяется по времени работы насосных агрегатов исходя из их производительности.

3. Техническое оснащение средствами измерений пунктов водоучета находится на низком уровне. Такая ситуация является следствием длительного недофинансирования отрасли. Однако, в настоящий момент с целью повышения эффективности водоучета и водораспределения, а также рационального водопотребления ведется разработка предложений по восстановлению и совершенствованию гидрометрической сети на оросительных системах Минсельхоза России.

4. В рамках мероприятий по оптимизации системы водоучета и повышения точности гидрометрических измерений посредством внедрения передовых средств на оросительных системах, управлениями представлены предложения по проведению реконструкции 122 пунктов водоучета, требующих капитального ремонта 73 пунктам водоучета. Кроме того необходимости в строительстве 398 новых дополнительных пунктов водоучета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Щедрин, В.Н., Васильев С.М., Слабунов В.В. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. Новочеркасск: Геликон, 2013. 657 с.
2. Бочкарев В.Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах. Новочеркасск ФГБНУ «РосНИИПМ», 2012. 227 с. Деп. в ВИНТИ 27.04.12, № 196-В2012.
3. Актуальные вопросы развития мелиоративной отрасли и использования водных ресурсов в АПК / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, Г.А. Сенчуков, В.Д. Гостищев // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 8–11.
4. Чураев А.А., Юченко Л.В. К вопросу проектирования пункта водоучета на мелиоративном объекте // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. Т. 91, № 3. С. 90–100.
5. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, С.М. Васильев, А.А. Чураев. В 2 ч. Ч. 1. Новочеркасск: Геликон, 2013. 283 с.
6. James C.S. Flow-measuring structures // Hydraulic Structures. 2020. P. 243–282.
7. Шевченко В.А., Бондарик И.Г., Бубер А.Л. Водоучет: концепции и инструменты // Сельский механизатор. 2019. № 4. С. 27.
8. Шепелев А.Е., Юченко Л.В. Анализ средств водоизмерения на пунктах водоучета мелиоративных систем Минсельхоза России // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1(73). С. 43–46.
9. Чураев А.А., Юченко Л.В. О техническом состоянии пунктов водоучета на открытой оросительной сети // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 4. С. 69–83.
10. Fatxulloev A., Gafarova A., Hamroqulov J. Improvement of water accounting for irrigation systems // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. and Eng. 2021. 1030. 012145. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012145.
11. Вайнберг М.В., Чураев А.А. Состояние пунктов водоучета на государственных мелиоративных системах // Пути

повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 3(71). С. 31–35.

12. Бондарева Г.И., Сапожников И.И. Проблемы метрологического обеспечения оросительных систем // Сельский механизатор. 2021. № 6. С. 2–4.

13. Средства водоучета при реализации современных систем управления водораспределением / И.А. Демичев, В.П. Петров, Е.А. Павлов, О.Р. Цыганок // Наука и молодежь: сборник научных трудов. Новочеркасск, 2023. С. 8–13.

#### REFERENCES

1. Shhedrin, V.N., Vasil'ev S. M., Slabunov V.V., 2013. Basic rules and regulations for the operation of reclamation systems and structures, water accounting and maintenance work. Pt. 2, Novocherkassk, Helikon Publ., 657 p.
  2. Bochkarev V.Ya., 2012. New Technologies and Measuring Instruments, Methods of Organizing Water Accounting on Irrigation Systems. Novocherkassk, 227 p., deposited in VINITI on 27.04.2012, no. 196-V2012.
  3. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Senchukov G.A., Gostishchev V.D., 2021. Land Reclamation and Water Management, no. 4, pp. 8–11.
  4. Churaev A.A., Yuchenko L.V., 2023. On the issue of designing a water accounting point at a reclamation facility. Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture, no. 3 (91), pp. 90–100.
  5. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasiliev S.M., Churaev A.A., 2013. Irrigation Systems of Russia: from Generation to Generation: monograph. Pt. 1, Novocherkassk, Helikon Publ., 283 p.
  6. James C. S. Flow-measuring structures // Hydraulic Structures. 2020. P. 243–282.
  7. Shevchenko V.A., Bondarik I.G., Buber A.L., 2019. Water metering: concepts and tools. Rural Mechanizer, no. 4, p. 27.
  8. Shepelev A.E., Yuchenko L.V., 2019. Analysis of water measuring instruments at water metering points of drainage systems of the Ministry of Agriculture of Russia. Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture, no. 1(73), pp. 43–46.
  9. Churaev A. A., Yuchenko L. V., 2022. About the technical condition of water accounting points on an open irrigation network. [Ecology and water management, no.4. pp. 69–83.
  10. Fatxulloev A., Gafarova A., Hamroqulov J. Improvement of water accounting for irrigation systems // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. and Eng. 2021. 1030. 012145. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012145.
  11. Vajnberg M.V., Churaev A.A., 2018. The state of water accounting points on state land reclamation systems. Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture, no. 3(71), pp.31–35.
  12. Bondareva G.I., Sapozhnikov I.I., 2021. Problems of metrological support of irrigation systems. Rural machine operator, no.6, pp. 2–4.
  13. Demichev I.A., Petrov V.P., Pavlov E.A., Cyganok O.R., 2023. SWater accounting tools for the implementation of modern water distribution management systems. Science and youth. Collection of scientific papers, Novocherkassk, pp. 8–13.
- Вайнберг Мария Владимировна**, науч. сотрудник, oamsrosniipm@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4794-3458; SPIN-code: 9100-8338; **Шепелев Александр Евгеньевич**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, oamsrosniipm@yandex.ru, SPIN-code: 8732-0086, ORCID ID: 0000-0001-8739-8573 (Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск, Россия).

# ВЕРИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ НА ВОДОПРОНИЦАЕМОМ НАКЛОННОМ ОСНОВАНИИ

Я.И. ХИТРОВ, А.Е. КАЧАЕВ, С.С. ТУРАПИН

**Ключевые слова:** наклонное основание, фильтрация, сатурация, кривая депрессии, грунтовая плотина, водонасыщение, гидротехническое сооружение.

**Keywords:** inclined foundation, filtration, saturation, depression curve, earth dam, water saturation, hydraulic structure.

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения надежной эксплуатации грунтовых плотин IV класса опасности в условиях меняющегося уровня грунтовых вод, сейсмических и климатических нагрузок, а также выполнения требований Водной стратегии России до 2035 г. Объектом исследования является зонированная грунтовая плотина с железобетонным ядром, расположенная на водонасыщенном наклонном основании в Куменском районе Кировской области. В модель включены физико-механические свойства грунтов, полученные из полевых изысканий. Для анализа использованы численное моделирование методом конечных элементов в программном комплексе Midas GTS NX и аналитические расчеты, выполненные по методикам Г.Н. Каменского и Н.Н. Павловского. Результаты показали удовлетворительное согласование численных и аналитических кривых депрессии (разница  $\leq 0,06$  м), при этом в нижнем бьефе наблюдается смещение кривой депрессии в зону наклонного основания, указывающее на недостаточную гидроизоляцию ядра и необходимость его усиления. Анализ изополей сатурации выявил потенциальную неустойчивости на переходах слоев грунта. Ядро гидротехнического сооружения защищает низовой откос от избыточного водонасыщения, но его конструкцию следует усовершенствовать (шпунтование, дренажная призма) для повышения коэффициента прочности и устойчивости откоса. Полученные результаты исследования могут быть применены при проектировании, реконструкции или капитальном ремонте грунтовых плотин.

**Abstract.** The relevance of the study is due to the need to ensure reliable operation of class IV hazard earth dams under conditions of changing groundwater levels, seismic and climatic loads, as well as compliance with the requirements of the Water Strategy of Russia until 2035. The object of the study is a zoned earth dam with a reinforced concrete core located on a water-saturated inclined foundation in the Kumensky district of the Kirov region. The model includes physical and mechanical properties of soils obtained from field surveys. For the analysis, numerical modeling by the finite element method in the MidasGTSNX software package and analytical calculations performed according to the methods of G.N. The results showed satisfactory agreement between the numerical and analytical depression curves (the difference is  $\leq 0.06$  m), while in the downstream pool there is a shift in the depression

curve to the inclined foundation zone, indicating insufficient waterproofing of the core and the need for its strengthening. The analysis of saturation isofields revealed potential instability zones at the transitions of soil layers. The core of the hydraulic structure protects the downstream slope from excess water saturation, but its design should be improved (grooving, drainage prism) to increase the strength factor and stability of the slope. The obtained research results can be used in the design, reconstruction or major repairs of earth dams.

**Введение.** Конструктивные исполнения грунтовых плотин IV класса опасности требуют тщательного проектирования и анализа при их эксплуатации, так как они подвержены различным внешним воздействиям, включая меняющийся уровень грунтовых вод, сейсмическую активность, атмосферные осадки и иные динамические нагрузки (от автомобильного или иного транспорта) [1]. Поддержание таких объектов гидротехнического назначения в рабочем состоянии является важнейшей задачей водной стратегии России на период до 2035 г. [2].

В последние десятилетия численное моделирование стало основным инструментом для анализа поведения гидротехнических сооружений (ГТС) подобного рода с большим сроком эксплуатации (25 лет и более). Численные модели объектов гидротехнического назначения в мелиорации позволяет инженерам прогнозировать их работоспособность во времени, тем самым обеспечивать их дальнейшую безопасность на всем жизненном цикле [3].

Применение метода конечных элементов (МКЭ) [4] позволяет проводить детализированный анализ различных показателей устойчивости и прочности грунтовой плотины, что является критически важным для предотвращения аварий и разрушений гидротехнических сооружений [5].

В составе государственных и частных мелиоративных систем находятся различные по конструкции и назначению грунтовые плотины. Они обеспечивают безопасное использование водных ресурсов в водохранилищах для мелиорации и рыбозаведения [6].

Актуальность настоящего исследования заключается в проверке адекватности результатов численного моделирования фильтрации эксплуатируемой более 25 лет грунтовой плотины с ядром на наклонном водопроницаемом основании для выявления

возможных в дальнейшем прогрессирующих обрушений ее откосов, а также получения информации об их реальном состоянии на момент проведения работ по реконструкции или капитальному ремонту.

**Цель исследования** заключается в проведении сравнительного анализа результатов численного моделирования и аналитических расчетов фильтрации зонированной грунтовой плотины с ядром, расположенной на водопроницаемом (водонасыщенном) наклонном основании. Основные задачи исследования включают:

- оценку фильтрационной способности конструкции (по положению кривой депрессии) при различных уровнях воды в водохранилище, как численно, так и аналитически;
- численное определение сатурации в теле плотины при различном уровне воды в водохранилище.

**Методы и объект исследования.** Объектом исследования является грунтовая плотина с непроницаемым (железобетонным) ядром на водонасыщенном (водопроницаемом) основании, входящая в состав мелиоративной системы, расположенной в Куменском районе Кировской области. Расчетная модель гидротехнического сооружения в конечных элементах представлена на рис. 1. Для достижения поставленных целей использовались методы численного моделирования с применением программного обеспечения Midas GTS NX, которые в последую-

щем верифицировались с аналитическими решениями задачи фильтрации по известным методиками ее расчета.

Для создания модели плотины использованы данные о геометрии, свойствах грунта и условиях эксплуатации. Модель состоит из различных слоев грунта с различными физико-механическими свойствами (таблица), которые взяты из геолого-геодезических изысканий перед началом реконструкции объекта исследования.

В модели заданы граничные условия, такие как уровень грунтовых вод, нагрузки от воды без учета сейсмичности района моделирования [7]. Эти параметры выбраны на основе данных из аналитических расчетов по этому объекту и практики анализа аналогичных сооружений. Моделирование проводилось для нескольких сценариев при динамических нагрузках, возникающих в результате изме-

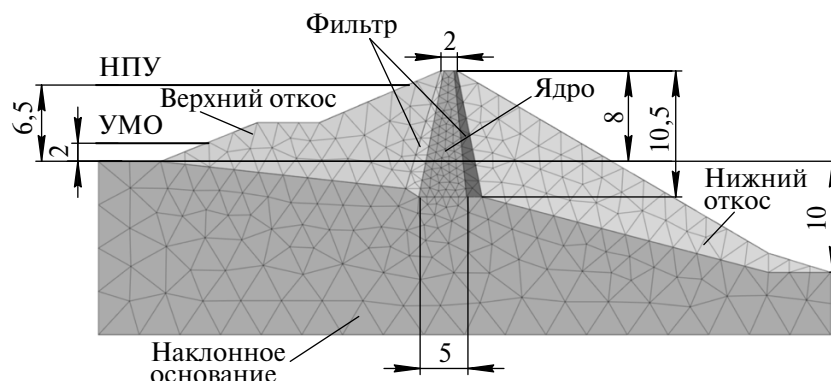


Рис. 1. Расчетная модель гидротехнического сооружения без подтопления нижнего бьефа в конечных элементах

#### Физико-механические свойства грунтов исследуемой плотины

Параметр	Величина			
	Наклонное основание	Откосы	Ядро	Фильтр
Удельный вес грунта при естественной влажности, кН/м <sup>3</sup>	17	16	22	18
Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии, кН/м <sup>3</sup>	21	20	25	22
Начальный коэффициент пористости	0,5	0,5	0,5	0,5
Эффективный модуль Юнга, кН/м <sup>2</sup>	50·10 <sup>3</sup>	20·10 <sup>3</sup>	1,5·10 <sup>3</sup>	50·10 <sup>3</sup>
Коэффициент Пуассона	0,3	0,33	0,35	0,3
Модуль сдвига, кН/м <sup>2</sup>	19,23·10 <sup>3</sup>	7519	555.600	19,23·10 <sup>3</sup>
Касательный одометрический модуль деформации, кН/м <sup>2</sup>	6,73·10 <sup>3</sup>	29,63·10 <sup>3</sup>	2407	6,73·10 <sup>3</sup>
Параметр референсного давления, кН/м <sup>2</sup>	1	5	5	1
Угол внутреннего трения, рад	35	31	0	35
Угол дилатансии, рад	5	1	0	5
Скорость прохождения поперечных волн, м/с	105,3	67,9	18,46	106,2
Скорость прохождения продольных волн, м/с	197,1	134,8	38,42	198,2
Коэффициент фильтрации по оси X	0,01	1	0,1·10 <sup>-3</sup>	0,01
Коэффициент фильтрации по оси Y	0,01	1	0,1·10 <sup>-3</sup>	0,01
Глубинный параметр неравномерности распределения дилатансии, м	10·10 <sup>3</sup>	10·10 <sup>3</sup>	10·10 <sup>3</sup>	10·10 <sup>3</sup>
Удельный параметр неравномерности распределения дилатансии, 1/м	5,33·10 <sup>-6</sup>	0,13·10 <sup>-3</sup>	0,18·10 <sup>-3</sup>	5,72·10 <sup>-5</sup>
Реологический модуль	1000·10 <sup>12</sup>	1000·10 <sup>12</sup>	1000·10 <sup>12</sup>	1000·10 <sup>12</sup>

нения уровня воды в водохранилище: при полном водохранилище; при уровне воды в водохранилище на отметке мертвого уровня и устоявшемся уровне воды на отметке 2,5 м (такая отметка водного уровня берется с учетом максимально возможных атмосферных осадков в период проведения работ по капитальному ремонту или реконструкции для данной местности). Временной промежуток изменения уровня воды в водохранилище относится к измерениям через 0, 24, 48, 72, 96 и 120 ч. При реконструкции необходимо спускать водохранилище до уровня мертвого объема (УМО), соответственно, нормальный подпорный уровень воды (НПУ) является началом отсчета и отметка 2,5 м – устоявшийся уровень воды (см. рис. 1).

После проведения расчетов проанализировано положение кривой депрессии в теле плотины и сатурация ее тела. Особое внимание уделялось зонам перехода между различными слоями грунта, так как именно здесь могут возникать в дальнейших численных и аналитических расчетах в реальном объекте потенциальные зоны неустойчивости.

Верификация положения кривой депрессии, полученной в результате численного моделирования в исследуемой плотине, проводилась в со-

ответствии с методикой, изложенной в работе [8, с. 376] при наклонном водоупоре по приближенной формуле Г.Н. Каменского [9, с. 265] и методу Н.Н. Павловского [9, с. 266].

**Основная часть.** На рис. 2 показаны изополя степени насыщения для начальной стадии при установившемся режиме фильтрации и последующем снижении уровня воды. Максимальное значение, равное 1, наблюдается в красной зоне. Следовательно, в этой зоне устанавливается стационарная фильтрация для всех материалов, из которых выполнена плотина.

Обратим внимание на ядро плотины. Часть ядра плотины находится в зоне сатурации с показателем, равным 1. Это говорит о том, что конструкция ядра недостаточно изолирует нижний откос от избыточного влагонасыщения, следовательно, такая ситуация может привести к обрушению нижнего откоса, о чем свидетельствует синяя зона, расположенная на всей площади нижнего откоса.

Помимо прочего граница сатурации между максимально водонасыщенным наклонным основанием и нижним откосом устанавливает возможную зону обрушения откоса. Аналогичная ситуация может вызвать обрушение откоса в верхней

части верхнего откоса при устоявшемся уровне воды на отметке 2,5 м (рис. 2д, е), так как здесь образуются круглоцилиндрические поверхности, определяющие переход водонасыщенной зоны плотины (участок красного цвета) к неводонасыщенной (участок сине-зеленого цвета).

Кривые депрессии по телу плотины для различных стадий наполнения водохранилища показаны на рис. 3.

Характерной особенностью всех полученных линий кривых депрессии для различных уровней воды в водохранилище является то, что ниспадающая часть всех кривых находится в правой зоне ядра плотины (ближе к нижнему откосу), что также говорит о том, конструкция ядра (в том

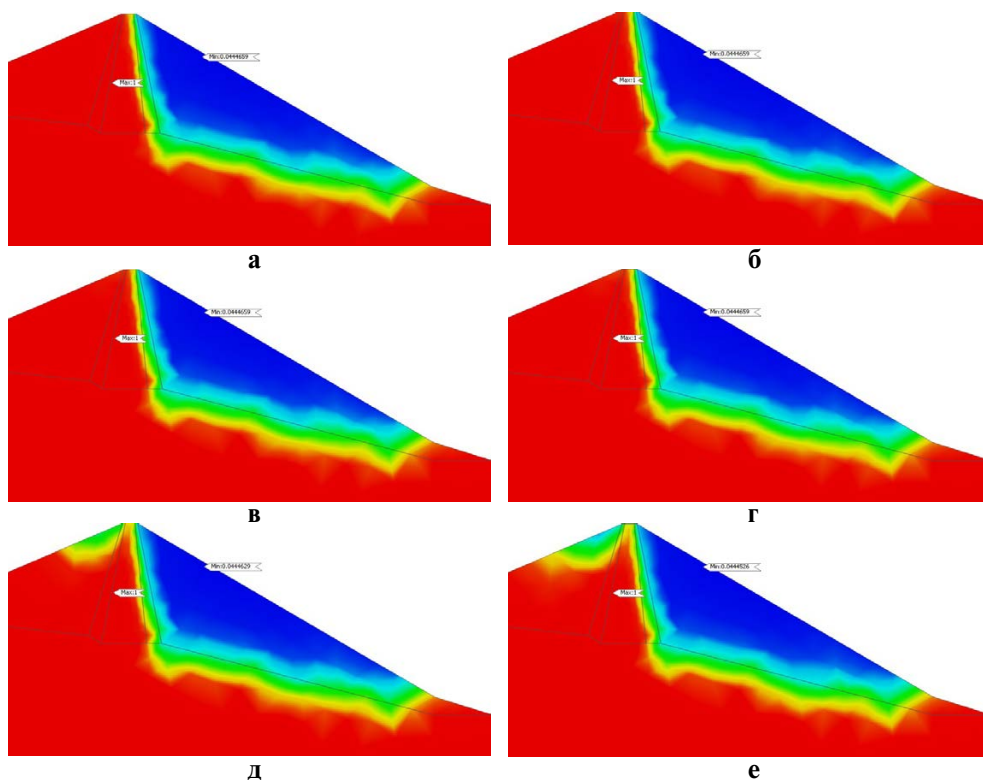
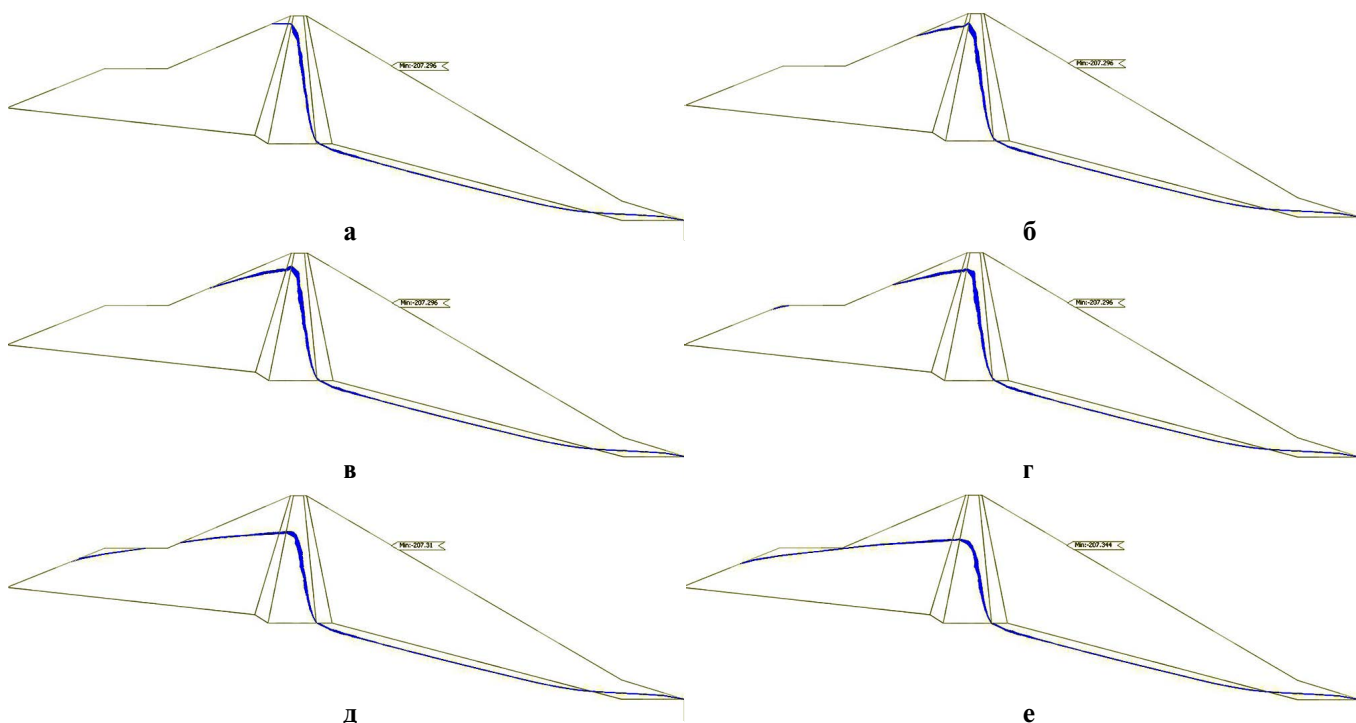


Рис. 2. Изополя сатурации (водонасыщения) в зонированной грунтовой плотине:

- а – полное водохранилище (0 ч); б – снижение уровня воды (24 ч);
- в – снижение уровня воды (48 ч); г – снижение уровня воды (72 ч);
- д – снижение уровня воды (96 ч – УМО); е – снижение уровня воды (120 ч) – устоявшийся уровень воды на отметке 2,5 м)



**Рис. 3. Кривая депрессии в исследуемой грунтовой плотине:**

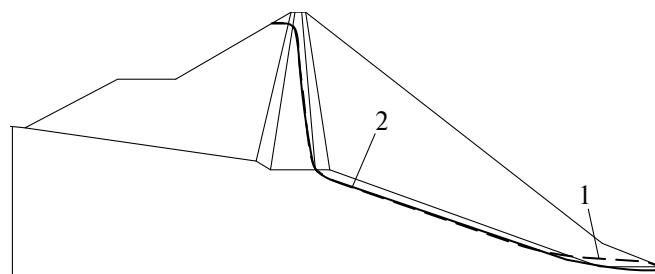
а – полное водохранилище (0 ч); б – снижение уровня воды (24 ч); в – снижение уровня воды (48 ч); г – снижение уровня воды (72 ч); д – снижение уровня воды (96 ч – УМО); е – снижение уровня воды (120 ч) – устоявшийся уровень воды на отметке 2,5 м

числе и материал ядра) плотины при капитальном ремонте или реконструкции объекта должна быть усовершенствована и больше гидроизолирована, в том числе за счет шпунтования основания ядра. Характер кривой депрессии, располагаемой под границей наклонного основания и нижнего откоса, совпадает с границей водонасыщения (сатурации), что говорит о необходимости изменения конструкции нижнего откоса и переустройства всего нижнего бьефа объекта. В нижней части нижнего откоса для данного исследуемого объекта необходимо предусмотреть дренажную призму, чтобы окончание кривой депрессии под нижним бьефом плотины находилось под границей наклонного основания и нижнего откоса [10].

Анализ численных данных с обязательной верификацией полученных результатов по параметрам фильтрации и сатурации объектов гидротехнического назначения в настоящее время является неотъемлемой частью реализации внедрения технологий BIM на всех треках строительной отрасли [11].

**Результаты и их обсуждение.** Проведем верификацию положения кривой депрессии по исследуемой плотине при максимальном уровне воды в водохранилище согласно методике изложенной в работах [8, с. 376; 9, с. 265; 9, с. 266]. Получим графический результат – на рис. 4 показано сравнение положения кривой депрессии в исследуемой

плотине при полном водохранилище с положением кривой депрессии, полученной в результате аналитического расчета. Максимальное расхождение положения кривой депрессии наблюдается в нижнем бьефе плотины и составляет по вертикальной оси 0,17 м (результаты аналитического расчета показывают, что кривая депрессии на этом участке находится в зоне наклонного основания, а не в зоне низового откоса, как это показано на результатах численного моделирования на рис. 4). На остальных участках сравнения кривых депрессии расхождение между ними по вертикальной оси не превышает 0,06 м. Кривые депрессии, полученные численными методами и аналитическим расчетом, практически совпадают (расхождение их по вертикальной коор-



**Рис. 4. Верификация положения кривой депрессии в теле исследуемой плотины:**

1 – численный расчет; 2 – аналитический расчет

динате не превышает 0,01 м) на участке верхового откоса, ядра и нисходящего наклонного основания плотины. Считаем данные результаты по верификации положения кривой депрессии весьма удовлетворительными и достаточно точными.

Подтвержденное положение кривой депрессии также говорит о том, что необходимо укреплять нижний бьеф плотины в месте ее сопряжения с наклонным основанием, как об этом сказано при анализе рис. 3.

Таким образом, в процессе численного моделирования объекта гидротехнического назначения получены не только числовые значения рассматриваемых в исследовании параметров, но и сделаны выводы о необходимых проектно-изыскательских работах по совершенствованию конструкции плотины с целью повышения ее надежности и безопасности при дальнейшей эксплуатации.

**Выводы.** Проведена оценка фильтрационной способности конструкции грунтовой плотины с ядром на наклонном водопроницаемом основании при различных уровнях воды в водохранилище по полученным кривым депрессии в ходе численного моделирования объекта. Установлено, что ядро плотины защищает нижний откос от избыточного водонасыщения и обрушения, однако положение кривой депрессии целесообразно сместить в сторону верхового откоса для повышения коэффициента прочности и устойчивости низового откоса плотины.

Результаты верификации параметров фильтрации и сатурации исследуемой плотины считаем удовлетворительными. Полученные данные при численном моделировании объекта могут быть использованы при проектных работах в рамках реконструкции или капитального ремонта объекта. Полученные в результате численного моделирования параметры плотины позволяют сделать вывод о необходимых проектных решениях, повышающих надежность и безопасность гидротехнического сооружения с большим сроком эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Симонович О.С., Снежко В.Л., Козлов Д.В. Периодичность ремонта низконапорных грунтовых плотин для сохранения их уровня безопасности // *Природообустройство*. 2020. № 1. С. 59–64.
2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. М., 2025. URL: <https://raww.ru/assets/modckeditor/default/0/novaya-vodnaya-strategiya-do-2035.pdf>
3. Качаев А.Е., Турапин С.С. Обоснование необходимости разработки комплексных расчетных моделей грунтовых плотин мелиоративных систем // *Наука и мир*. 2024. № 3. С. 1–5.
4. Гайджуров П.П., Аль-Хадж М.А., Аль-Джабоби С.Ф. Метод конечных элементов в строительстве // *Colloquium-Journal*. 2019. № 27–1(51). С. 23–27.

5. Качаев А.Е., Турапин С.С. Особенности реконструкции земляных плотин мелиоративных систем // *Наука и мир*. 2024. № 3. С. 6–10.

6. Шкура В.Н., Шевченко А.В. Комплекс рыбоводных гидротехнических сооружений для рыбохозяйственной мелиорации эвтрофных водохранилищ // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2022. № 5. С. 95–106.

7. Безопасная эксплуатация гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса / Г.В. Ольгаренко, С.С. Турапин, В.В. Каштанов, В.В. Савушкин, С.А. Гжибовский, В.В. Абрамов. Коломна: ИП Лавренов А.В., 2018. 228 с.

8. Гидротехнические сооружения (речные): учебник для высших учебных заведений / Л.Н., Рассказов В.Г. Орехов, Н.А. Анискин, В.В. Малаханов, А.С. Бестужева, М.П. Саинов, П.В. Солдатов, В.В. Толстикова. Ч. 1. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. 584 с.

9. Нестеров М.В. Гидротехнические сооружения: учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: ИНФРА-М, 2022. 601 с.

10. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты при вибродинамических воздействиях. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-264–2012. Введ. 28.05.12. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012. 114 с.

11. Сидоренко Д.А., Качаев А.Е. BIM-технологии в строительстве: что будет дальше? // *Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвященной 35-летию полета орбитального корабля-ракетоуплана многообразной транспортной космической системы «Буран», Рязань, 12–14 апреля 2023 г.* / Под ред. А.Н. Паршина. Рязань: Рязанский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», 2023. С. 490–492.

#### REFERENCES

1. Simonovich O.S., Snezhko V.L., Kozlov D.V. Frequency of repair of low-head earth dams to maintain their safety level // *Nature management*. 2020. No. 1. Pp. 59–64.
2. Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2035 [Electronic resource]. M., 2025. URL: <https://raww.ru/assets/modckeditor/default/0/novaya-vodnaya-strategiya-do-2035.pdf>
3. Kachaev A.E., Turapin S.S. Justification of the need to develop comprehensive calculation models of earth dams of reclamation systems // *Science and the World*. 2024. No. 3. Pp. 1–5.
4. Gaydzurov P.P., Al-Haj M. A., Al-Jabobi S.F. Finite element method in construction // *Colloquium-Journal*. 2019. No. 27–1 (51). Pp. 23–27.
5. Kachaev A.E., Turapin S.S. Features of the reconstruction of earthen dams of land reclamation systems // *Science and the World*. 2024. No. 3. Pp. 6–10.
6. Shkura V.N., Shevchenko A.V. Complex of fish-breeding hydraulic structures for fishery reclamation of eutrophic reservoirs // *Water management of Russia: problems, technologies, management*. 2022. No. 5. Pp. 95–106.
7. Olgarenko G.V., Turapin S.S., Kashtanov V.V., Savushkin V.V., Gzhibovsky S.A., Abramov V.V. Safe operation of hydraulic structures of the melioration complex. Kolomna: IP Lavrenov A.V., 2018. 228 p.
8. Rasskazov L.N., Orekhov V.G., Aniskina N.A., Malakhanov V.V., Bestuzheva A.S., Sainov M.P., Soldatov P.V., Tolstikov V.V. Hydraulic structures (river): Textbook for higher educational institutions. Part 1. 2nd edition, revised and supplemented. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2011. 584 p.
9. Nesterov M.V. Hydraulic structures: textbook. 2nd ed., corrected. and add. Moscow: INFRA-M, 2022. 601 p.
10. Foundations and bases of buildings and structures. Foundations under vibrodynamic influences. Design rules: ТКП 45-5.01-264–2012. Introduced 28.05.12. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2012. 114 p.

11. Sidorenko D.A., Kachaev A.E. BIM technologies in construction: what will happen next? // New technologies in the educational process and production: Proceedings of the XXI International scientific and technical conference dedicated to the 35th anniversary of the flight of the orbital rocket plane of the reusable transport space system «Buran», Ryazan, April 12–14, 2023 / Edited by A.N. Parshin. Ryazan: Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Polytechnic University», 2023. Pp. 490–492.

УДК 631.67(476)

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-4-13-19

## ОПЫТ ОРОШЕНИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В.И. ЖЕЛЯЗКО, С.В. НАБЗДОРОВ

**Ключевые слова:** сахарная свекла, водный режим, дождевание, режим орошения, поливная норма, оросительная норма, суммарное водопотребление, урожайность.

**Keywords:** sugar beet, water regime, sprinkling, irrigation regime, irrigation norm, irrigation norm, total water consumption, yield.

**Аннотация.** В статье представлены результаты трехлетних полевых исследований по изучению влияния орошения на урожайность и качество сахарной свеклы. При орошении сахарной свеклы на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах максимальная урожайность наблюдалась на варианте с нижней границей регулирования влажности 70% НВ в слое 0...40 см.

Исследованиями установлено, что орошение повышает водопотребление сахарной свеклы. На фоне естественного увлажнения из слоя почвы 0...40 см водопотребление за период вегетации в среднем за 3 года составило 3379 м<sup>3</sup>/га, при предполивной влажности 60% НВ – 3521 м<sup>3</sup>/га, при предполивной влажности 70% НВ – 3535 м<sup>3</sup>/га и при предполивной влажности 80% НВ – 3594 м<sup>3</sup>/га.

Сахаристость корнеплодов по вариантам опыта практически не различалась, разница составила менее 1%. Наибольший сбор очищенного сахара получен в варианте орошения с нижней границей регулирования влажности почвы 70% НВ и при дозах удобрений в пределах  $N_{90-120}P_{70-100}K_{150-260}$ . При увеличении дозы удобрений до  $N_{150}P_{110}K_{300}$  не наблюдалось роста сбора очищенного сахара. В целом можно сделать вывод, что орошение дает существенную прибавку урожая, не снижая содержания сахара в корнеплодах.

**Abstract.** The article presents the results of three-year field studies on the effect of irrigation on the yield and quality of sugar beet. When irrigating sugar beet on sod-podzolic light loamy soils, the maximum yield was observed in the variant with the lower limit of moisture regulation of 70% НВ in the 0–40 cm layer.

The studies have found that irrigation increases the water consumption of sugar beet. Against the background of natural moisture from the 0–40 cm soil layer, water consumption during the growing season on average for 3 years amounted to 3379 м<sup>3</sup>/ha, with a pre-irrigation moisture of 60% НВ – 3521 м<sup>3</sup>/ha, with

**Хитров Яков Ильич**, студент 4-го курса Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»; **Качаев Александр Евгеньевич**, науч. сотрудник отдела сельхозводоснабжения, doctor\_cement@mail.ru; **Турапин Сергей Сергеевич**, канд. техн. наук, врио директора, вед. науч. сотрудник, prraduga@yandex.ru (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия).

a pre-irrigation moisture of 70% НВ – 3535 м<sup>3</sup>/ha and with a pre-irrigation moisture of 80% НВ – 3594 м<sup>3</sup>/ha.

The sugar content of root crops in the experimental variants was practically the same, the difference was less than 1%. The highest yield of refined sugar was obtained in the irrigation variant with the lower limit of soil moisture regulation of 70% НВ and with fertilizer doses within the range of  $N_{90-120}P_{70-100}K_{150-260}$ . With an increase in the fertilizer dose to  $N_{150}P_{110}K_{300}$  no increase in the yield of refined sugar was observed. In general, it can be concluded that irrigation provides a significant increase in yield without reducing the sugar content in root crops.

**Введение.** Сахарная свекла является одной из государственно значимых продовольственных культур, используемых для производства сахара, что в настоящее время является одним из приоритетных направлений социально-экономического развития Республики Беларусь. Территория Республики Беларусь отличается неравномерным распределением атмосферных осадков в весенне-летне-осенние месяцы, а в последние годы возросло количество засух и увеличилась их продолжительность. В то же время анализ научно-исследовательских материалов и практического опыта возделывания сахарной свеклы указывает на недостаточную изученность влияния влагообеспеченности культуры на ее урожайность в условиях Беларуси.

Анализ результатов исследований, выполненных в Беларуси и в других странах, который показывают, что недостаток влаги в период появления всходов и интенсивного роста культуры вызывает снижение водопотребления и урожайности сахарной свеклы. Рассмотрены научные публикации, освещающие вопросы повышения эффективности возделывания сахарной свеклы в разных условиях, в том числе схожих по почвенно-климатическим условиям с Беларусью.

В работах российских ученых М.П. Багрова [1], А.О. Лымарь [2], И.П. Кружилина [3], Н.Н. Дубенка [4], Ю.А. Мажайского, А.С. Мушинского,

Т.Е. Ивановой, Е.А. Яковенко, И.М. Никульникова, А.А. Федоровского, И.И. Ененко, И.А. Мокальчук и других отмечена высокая эффективность орошения многих культур, включая сахарную свеклу. Однако единого мнения о величине предполивного порога влажности почвы нет, это же относится и к дозам внесения минеральных удобрений при орошении.

Результаты исследований разных авторов также показали, что недостаточная влагообеспеченность отрицательно сказывается на экономической эффективности возделывания сахарной свеклы и в условиях Беларуси, снижая водопотребление и сокращая усвоение и окупаемость удобрений (Н.П. Вострухин [4–6], Г.В. Пироговская [7], М.С. Брилев, В.И. Желязко, М.Г. Голченко, Н.Н. Лепетило и др.).

По результатам выполненного анализа литературных источников установлено, что эффективность совместного влияния уровня питания и влагообеспеченности на получение высоких и устойчивых урожаев и максимальной прибыли при возделывании сахарной свеклы в Беларуси до настоящего времени недостаточно изучена.

**Материалы и методы исследований.** Целью исследований являлась оценка естественной (природной) влагообеспеченности территории, где целесообразно выращивание сахарной свеклы и обоснование оптимальных режимов орошения этой культуры в сочетании с внесением различных доз удобрений.

Полевые исследования проведены в 2017–2019 гг. на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах опытно-производственного комплекса «Тушково-1» Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, расположенном в Горецком районе Могилевской области.

Влияние режимов орошения и удобрений на урожайность сахарной свеклы изучались с использованием общепринятой методики расчета водного баланса в слое почвы 0...40 см при воздействии двух задаваемых и контролируемых факторов А и В.

**Фактор А – орошение.** Цель – изучить влияние режимов орошения на влагообеспеченность, водопотребление и урожайность сахарной свеклы.

Варианты:

- А<sub>1</sub> – без орошения (контроль);
- А<sub>2</sub> – поддержание влажности почвы в слое 0...40 см при нижней границе регулирования 60 % НВ;
- А<sub>3</sub> – поддержание влажности почвы в слое 0...40 см при нижней границе регулирования 70 % НВ;

- А<sub>4</sub> – поддержание влажности почвы в слое 0...40 см при нижней границе регулирования 80 % НВ.

В указанных вариантах опыта в соответствии с рекомендациями ученых РУП «Опытная станция по сахарной свекле» для обеспечения сравнимости данных во все годы исследований азотные удобрения вносили в дозах, дополняющих содержание азота в почве до одного уровня – N<sub>90</sub>.

**Фактор В – удобрения.** Цель – изучить влияние доз внесения минеральных удобрений на урожайность сахарной свеклы на фоне разных режимов орошения.

Доза удобрений N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>180</sub>:

- В<sub>1</sub> – внесение удобрений без орошения (контроль);
- В<sub>2</sub> – орошение с поддержанием влажности почвы в расчетном слое 0...40 см при нижней границе регулирования 60 % НВ;
- В<sub>3</sub> – орошение с поддержанием влажности почвы в расчетном слое 0...40 см при нижней границе регулирования 70 % НВ;
- В<sub>4</sub> – орошение с поддержанием влажности почвы в расчетном слое 0...40 см при нижней границе регулирования 80 % НВ.

Доза удобрения N<sub>150</sub>P<sub>110</sub>K<sub>300</sub>:

- В<sub>5</sub> – внесение удобрений без орошения (контроль);
- В<sub>6</sub> – орошение с поддержанием влажности почвы в расчетном слое 0...40 см при нижней границе регулирования 60 % НВ;
- В<sub>7</sub> – орошение с поддержанием влажности почвы в расчетном слое 0...40 см при нижней границе регулирования 70 % НВ;
- В<sub>8</sub> – орошение с поддержанием влажности почвы в расчетном слое 0...40 см при нижней границе регулирования 80 % НВ.

Агротехника в опыте была общепринятой для условий региона. Полив вариантов производился широкозахватной дождевальная машиной Lindsay-Europe Omega «Zimmatik» [8].

**Результаты и обсуждение.** Анализ погодных условий в вегетационные периоды 2017, 2018 и 2019 г., показал, что хотя по средневегетационным гидротермическим коэффициентам (ГТК) влагообеспеченность периода исследований характеризуется как благоприятная. Однако из-за неравномерности в каждом из них наблюдались засушливые периоды, требующие дополнительного увлажнения сахарной свеклы.

Водный режим почвы в годы исследований складывался под влиянием погодных условий (выпадавших атмосферных осадков и температур воздуха) и водопотребления сахарной свеклы.

В целом почвенно-климатические условия Горецкого района являются типичными для северо-восточной части Республики Беларусь.

Сроки поливов назначались при снижении влажности почвы в слое 0...40 см до принятых в вариантах опыта нижних предполивных уровней. Величина поливной нормы, соответствующая водоудерживающей способности почвы при нижней границе регулирования влажности 80 % НВ, составила 250 м<sup>3</sup>/га, а в вариантах с 70 и 60 % НВ – 300 м<sup>3</sup>/га (табл. 1) [8–10].

За три года исследований количество поливов по вариантам опыта было различным: в варианте с нижним пределом регулирования 80 % НВ требовалось 2...3 полива, в варианте с нижним пределом регулирования 70 % НВ – 1...2 полива и в варианте с нижним пределом регулирования 60 % НВ – 1 полив. Средняя за три года оросительная норма по вариантам 80, 70 и 60 % НВ равнялась 667, 500 и 300 м<sup>3</sup>/га соответственно.

Для определения фактического водопотребления сахарной свеклы использовали материалы наблюдений за элементами водного баланса в 2017–2019 гг. Водопотребление определяли из водобалансового уравнения при глубоком расположении уровня грунтовых вод.

Результаты расчетов декадных величин водопотребления сахарной свеклы из слоя почвы 0...40 см в годы наблюдений за оросительный период (май–август) представлены в табл. 2.

Установлено, что по годам исследований водопотребление из слоя почвы 0...40 см изменялось в варианте без поливов от 239 до 311 мм и от 277 до 364 мм при орошении. Расчеты показали, что увеличения расчетного слоя почвы от 40 до 50 см существенно не влияло на величину водопотребления сахарной свеклы, которое независимо от мощности расчетного слоя возрастает только с повышением влагообеспеченности. При отсутствии орошения за вегетационный период водопотребление составило 3379 м<sup>3</sup>/га, в варианте 60 % НВ – 3521 м<sup>3</sup>/га, в варианте 70 % НВ – 3535 м<sup>3</sup>/га, в варианте 80 % НВ – 3594 м<sup>3</sup>/га [11, 12].

Наблюдения за приростом корнеплодов, согласно общепринятой методике, проводились в годы исследований, начиная с 1 июля через каждые 10 дней. Результаты взвешиваний показали существенное различие

Таблица 1

## Режимы орошения сахарной свеклы

Вариант опыта	Даты полива	Кол-во поливов	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га
<b>2017 г.</b>				
Без орошения	–	–	–	–
80 % НВ	16.06	3	250	750
	11.07		250	
	11.08		250	
70 % НВ	12.06	2	300	600
	19.08		300	
60 % НВ	26.06	1	300	300
<b>2018 г.</b>				
Без орошения	–	–	–	–
80 % НВ	04.06	3	250	750
	10.08		250	
	17.08		250	
70 % НВ	11.06	2	300	600
	13.08		300	
60 % НВ	17.08	1	300	300
<b>2019 г.</b>				
Без орошения	–	–	–	–
80 % НВ	02.06	2	250	500
70 % НВ			250	
60 % НВ	06.06	1	300	300
80 % НВ	11.06	1	300	300

Таблица 2

## Декадное водопотребление сахарной свеклы, мм

Варианты опыта	Декады											
	Май		Июнь			Июль			Август			
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
<b>2017 г.</b>												
Без орошения	5	16	14	20	24	24	26	32	30	30	18	
60 % НВ	5	18	16	22	24	24	28	46	40	34	20	
70 % НВ	5	16	14	22	26	28	30	48	40	40	22	
80 % НВ	5	16	16	22	26	32	36	52	44	42	22	
<b>2018 г.</b>												
Без орошения	5	22	26	28	30	28	38	50	38	24	22	
60 % НВ	5	23	27	30	34	36	42	40	38	28	26	
70 % НВ	5	24	28	32	34	40	48	46	34	26	26	
80 % НВ	5	25	30	33	33	38	52	40	36	27	27	
<b>2019 г.</b>												
Без орошения	6	20	26	30	30	30	32	44	32	30	30	
60 % НВ	6	22	28	32	36	36	38	44	36	30	30	
70 % НВ	8	24	30	34	36	36	40	50	36	30	28	
80 % НВ	8	26	30	38	40	40	40	50	34	32	26	
<b>Среднее по годам</b>												
Без орошения	5	19	22	26	28	27	32	42	33	28	23	
60 % НВ	5	21	24	28	31	32	36	43	38	31	25	
70 % НВ	6	21	24	29	32	35	39	48	37	32	25	
80 % НВ	6	22	25	31	33	37	43	47	38	34	25	

в формировании урожайности по вариантам увлажнения. Наибольшие различия в динамике уве-

личения веса корнеплодов наблюдались в периоды максимальных дефицитов почвенной влаги.

Урожайность сахарной свеклы зависит как от доз минеральных удобрений, так и от режимов увлажнения. Например, даже в самом влагообеспеченном 2017 г. различия в приросте веса корнеплодов по вариантам опыта стали проявляться с начала вегетации. Эти различия были максимальными в периоды наибольших дефицитов почвенной влаги.

Следует также отметить отрицательную реакцию растений на переувлажнение почвы. При этом снижение прироста массы корнеплода при переувлажнении наблюдалось на всех вариантах опыта. Например, в 2017 г. в варианте без орошения прирост массы корнеплодов резко снизился после выпадения 29 июля (на 85-е сутки вегетации) ливневого дождя (68,2 мм), когда содержание влаги в расчетном слое почвы в течение одних суток выросло от 74 до 140 мм. В отдельные сутки 2017 г. выпадало от 45 до 72 мм осадков, т. е. год в целом отличался ливневым характером дождей [13].

Аналогичное изменение темпов прироста массы корнеплодов имело место и в 2018 г. В вариантах с дозой удобрения  $N_{90}P_{70}K_{150}$  максимальный рост корнеплода наблюдался во вторую декаду августа и составил в варианте 70 % НВ – 13,4 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 1,61 т/га). В варианте без орошения максимальный прирост зафиксирован в первую декаду августа – 9,5 г в сутки (1,14 т/га).

Максимальный прирост массы корнеплода сахарной свеклы в 2019 г. в вариантах с дозами удобрений  $N_{90}P_{100}K_{260}$  был в контроле (без орошения)

Таблица 3

## Урожайность сахарной свеклы, т/га

Год	Варианты опыта			
	Без орошения	Нижняя граница регулирования		
		60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
<b>Фактор А</b>				
2017	54,7	72,1	105,2	98,7
2018	58,0	73,8	92,7	87,4
2019	71,8	72,3	109,8	96,1
Средняя	61,5	72,7	102,6	94,1
<b>Фактор В (доза <math>N_{120}P_{90}K_{180}</math>)</b>				
2017	61,2	87,1	117,7	107,1
2018	67,4	80,4	102,5	91,1
2019	77,3	84,4	112,4	108,5
Средняя	68,6	84,0	110,9	102,2
<b>Фактор В (доза <math>N_{150}P_{110}K_{300}</math>)</b>				
2017	74,3	91,9	121,2	111,9
2018	72,7	83,1	111,7	102,5
2019	85,6	90,0	118,3	111,3
Средняя	77,5	88,3	117,1	108,6

в третью декаду июля и составил 9,9 г в сутки (или прирост урожайности составил 1,19 т/га). В варианте 70 % НВ максимальный прирост зафиксирован во вторую декаду августа, он достигал 13,2 г в сутки (что соответствует приросту урожайности 1,58 т/га).

Результаты исследований по приросту корнеплодов показали, что наибольшее нарастание массы корнеплодов отмечалось в июле и августе. Максимальная масса корнеплода в среднем за три года наблюдалась в варианте 70 % НВ. Так, при дозе минеральных удобрений  $N_{120}P_{90}K_{180}$  масса корнеплода на 1 июля 2017 г. составила 81 г, в 2018 г. – 109 г, а в 2019 г. – 114 г. При дозе минеральных удобрений  $N_{150}P_{110}K_{300}$  на эту дату средняя масса корнеплода по годам исследований была соответственно 90, 104 и 100 г. Наименьшая масса корнеплода наблюдалась в варианте без орошения при всех дозах удобрений.

В среднем за три года при дозе удобрений  $N_{120}P_{90-100}K_{260}$  прирост массы корнеплодов составил: за июль в варианте 1 – 7,9 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 0,95 т/га), в варианте 2 – 8,9 г в сутки (1,07 т/га), в варианте 3 – 11,3 г в сутки (1,36 т/га), в варианте 4 – 10,3 г в сутки (1,24 т/га); за август в варианте 1 – 7,8 г в сутки (0,94 т/га), в варианте 2 – 9,9 г в сутки (1,19 т/га), в варианте 3 – 12,2 г в сутки (1,46 т/га), в варианте 4 – 11,5 г в сутки (1,38 т/га); в сентябре в варианте 1 – 2,4 г в сутки (0,29 т/га), в варианте 2 – 4,5 г в сутки (0,54 т/га), в варианте 3 – 7,7 г в сутки (0,92 т/га), в варианте 4 – 6,3 г в сутки (0,76 т/га).

На фоне удобрений  $N_{150}P_{110}K_{300}$  средний прирост массы корнеплодов: за июль в варианте 5 – 8,3 г в сутки (или прибавка к урожайности составила 1 т/га), в варианте 6 – 9,4 г в сутки (1,13 т/га), в варианте 7 – 11,5 г в сутки (1,38 т/га), в варианте 8 – 10,8 г в сутки (1,3 т/га); за август в варианте 5 – 8,8 г в сутки (1,06 т/га), в варианте 6 – 9,3 г в сутки (1,12 т/га), в варианте 7 – 13 г в сутки (1,56 т/га), в варианте 8 – 12 г в сутки (1,44 т/га); в сентябре в варианте 5 – 3,8 г в сутки (0,46 т/га), в варианте 6 – 5,2 г в сутки (0,62 т/га), в варианте 7 – 8,3 г в сутки (1 т/га), в варианте 8 – 7,5 г в сутки (0,9 т/га) [8–10, 13].

Полученные в опытах результаты подтвердили необходимость дополнительного к атмосферным осадкам увлажнения почвы для получения высокой урожайности корнеплодов. При орошении урожайность сахарной свеклы была существенно выше, чем на контроле (табл. 3).

В среднем за три года при нижней границе регулирования влажности почвы 70 % НВ в слое 0...40 см прибавка урожайности на фоне минеральных удобрений  $N_{120}P_{90}K_{180}$  составила 61 %, а на фоне удобрений  $N_{150}P_{110}K_{300}$  – 51 % по отношению к варианту без орошения.

Остальные варианты также дали прибавку, которая в варианте с поддержанием влажности почвы в слое 0...40 см выше 60 % НВ при дозе минеральных удобрений  $N_{120}P_{90}K_{180}$  составила 22 % и при дозе минеральных удобрений  $N_{150}P_{110}K_{300}$  – 14 %.

В варианте с поддержанием влажности почвы в слое 0...40 см от 80 % НВ прибавка на фоне минеральных удобрений  $N_{120}P_{90}K_{180}$  составила 49 % и на фоне удобрений  $N_{150}P_{110}K_{300}$  – 40 % [8].

В табл. 4 приведены данные по эффективности использования поливной воды при формировании урожайности сахарной свеклы. Прирост урожая на 1 м<sup>3</sup> поливной воды в среднем за три года исследований был выше при нижней границе регулирования 70 % НВ и колебался от 79,2 до 84,6 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от фона минеральных удобрений [8].

Полученные результаты по сахаристости корнеплодов за три года исследований представлены в табл. 5.

Как видно, сахаристость корнеплодов по вариантам опыта различается несущественно. В среднем за три года исследований сахаристость изменялась в вариантах фактора А от 16,93 до 17,42 %, а при дозе удобрений  $N_{120}P_{90}K_{180}$  – от 16,8 до 17,8 % и при дозе удобрений  $N_{150}P_{110}K_{300}$  – от 16,7 до 17,4 %. Разница не превышает 1 % [8, 13, 14].

Таким образом, можно сделать вывод, что орошение дает существенную прибавку урожайности, не снижая при этом содержания сахара в корнеплодах сахарной свеклы. Кроме урожайности и сахаристости сахарной свеклы качество корнеплода также определяется сбором очищенного сахара. Показатели по сбору очищенного сахара, полученные за три года исследований, приведены в табл. 6.

Анализ таблицы показал, что в среднем за три года, наибольший сбор очищенного сахара получен в варианте с нижней границей регулирования влажности почвы 70 % НВ. В зависимости от фона удобрений в этом варианте сбор очищенного сахара колебался от 15,7 т/га до 17 т/га. При увеличении дозы удобрений до  $N_{150}P_{110}K_{300}$  увеличения сбора очищенного сахара не наблюдалось.

Данный результат подтверждает выводы ученых РУП «Опытная станция по сахарной свекле», установивших что возделывать сахарную свеклу на хорошо окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, подстилаемой моренным суглинком, целесообразно на фоне удобрений  $N_{90-120}P_{90-100}K_{150-180}$ .

Таблица 4

#### Эффективность использования поливной воды при формировании урожайности сахарной свеклы

Показатели	Варианты опыта		
	Нижняя граница регулирования		
	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
<b>Фактор А</b>			
Прибавка урожайности, т/га	11,2	41,1	32,6
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	300	500	667
Расход поливной воды на прибавку урожайности, м <sup>3</sup> /т	26,8	12,2	20,5
Прирост прибавки урожайности на 1 м <sup>3</sup> поливной воды, кг/м <sup>3</sup>	37,3	82,2	48,9
<b>Фактор В (доза <math>N_{120}P_{90}K_{180}</math>)</b>			
Прибавка урожайности, т/га	15,4	42,3	33,6
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	300	500	667
Расход поливной воды на прибавку урожайности, м <sup>3</sup> /т	19,5	11,8	19,9
Прирост прибавки урожайности на 1 м <sup>3</sup> поливной воды, кг/м <sup>3</sup>	51,3	84,6	50,4
<b>Фактор В (доза <math>N_{150}P_{110}K_{300}</math>)</b>			
Прибавка урожайности, т/га	10,8	39,6	31,1
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	300	500	667
Расход поливной воды на прибавку урожайности, м <sup>3</sup> /т	27,8	12,6	21,4
Прирост прибавки урожайности на 1 м <sup>3</sup> поливной воды, кг/м <sup>3</sup>	36,0	79,2	46,6

Таблица 5

#### Сахаристость сахарной свеклы, %

Год	Варианты опыта			
	Без орошения	Нижняя граница регулирования		
		60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
<b>Фактор А</b>				
2017	16,75	16,80	17,45	16,55
2018	17,45	18,20	17,45	17,95
2019	16,6	17,05	17,35	17,05
Средняя	16,93	17,35	17,42	17,18
<b>Фактор В (доза <math>N_{120}P_{90}K_{180}</math>)</b>				
2017	15,65	16,9	16,9	16,85
2018	17,6	18,2	17,85	18,2
2019	17,25	17,95	17,95	18,3
Средняя	16,8	17,7	17,6	17,8
<b>Фактор В (доза <math>N_{150}P_{110}K_{300}</math>)</b>				
2017	16,1	16,2	16,6	16,0
2018	17,8	17,35	17,8	17,9
2019	18,35	16,6	17,9	17,15
Средняя	17,4	16,7	17,4	17,0

#### Заключение

1. Естественная тепло- и влагообеспеченность вегетационного периода на территории северо-восточной части Беларуси не обеспечивает на дерново-подзолистых суглинистых почвах оптимальный для возделывания сахарной свеклы водный

Таблица 6

## Сбор очищенного сахара с корнеплодов сахарной свеклы за 2017–2019 гг., т/га

Год	Варианты опыта			
	Без орошения	Нижняя граница регулирования		
		60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
<b>Фактор А</b>				
2017	8,0	10,6	16,0	14,1
2018	9,1	12,0	14,3	14,0
2019	10,6	10,9	16,9	14,2
Средний	9,2	11,1	15,7	14,1
<b>Фактор В (доза N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>180</sub>)</b>				
2017	8,3	12,8	17,2	15,6
2018	10,5	13,1	16,3	14,8
2019	11,9	13,6	17,7	17,6
Средний	10,2	13,1	17,0	16,0
<b>Фактор В (доза N<sub>150</sub>P<sub>110</sub>K<sub>300</sub>)</b>				
2017	10,2	12,8	17,3	15,2
2018	11,5	12,7	17,6	16,3
2019	14,0	13,1	18,6	16,6
Средний	11,9	12,9	17,8	16,0

режим. Дефицит водного баланса составляет в среднем около 600 м<sup>3</sup>/га, что не способствует получению высокой и устойчивой урожайности.

2. Орошение повышает водопотребление сахарной свеклы. На фоне естественного увлажнения из слоя почвы 0...40 см водопотребление за период вегетации в среднем за 3 года составило 3379 м<sup>3</sup>/га, при предполивной влажности 60 % НВ – 3521 м<sup>3</sup>/га, при предполивной влажности 70 % НВ – 3535 м<sup>3</sup>/га и при предполивной влажности 80 % НВ – 3594 м<sup>3</sup>/га

3. При нижней границе регулирования влажности почвы 70 % НВ создаются более благоприятные условия для выращивания сахарной свеклы с внесением минеральных удобрений дозой N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>180</sub> кг/га д.в., что позволяет получить урожайность 110 т/га. Сахаристость сахарной свеклы в вариантах опыта изменялась в пределах 16,7...17,8 %, а выход сахара – от 15,7 до 17 т/га. Установлено, что повышение дозы удобрений до N<sub>150</sub>P<sub>110</sub>K<sub>300</sub> не привело к увеличению сбора очищенного сахара.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Багров М.Н. Орошение сахарной свеклы в полупустынных районах Юго-Востока // Сахарная свекла. 1961. № 11. С. 13–16.
2. Лымарь А.О., Федоровский А.А. Эффективность удобрений, орошения, предшественников // Сахарная свекла. 1987. № 2. С. 26–28.
3. Кружилин И.П., Мушинский А.С. Урожайность свеклы в зависимости от режимов орошения и доз удобрения // Мелиорация и водное хозяйство. 2002. № 6. С. 34–36.
4. Дубенок Н.Н., Третьяков Н.Н. Интенсивные технологии при возделывании с.-х. культур. М.: ТСХА, 1988. 54 с.

5. Вострухин Н.П., Гуляка М.И. Мониторинг динамики формирования урожайности и качества сахарной свеклы в Беларуси за 1966–2011 годы. Несвиж: Тип. им. С. Будного, 2013. 68 с.
6. Вострухин Н.П. Сахарная свекла. Мн.: МФЦП, 2011. С. 56–58.

7. Разработка, производство и применение комплексных удобрений в сельском хозяйстве Республики Беларусь / Г.В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2018. № 1(60). С. 87–107.

8. Набздоров С.В. Влияние орошения на рост, развитие и урожайность сахарной свеклы // Мелиорация. 2019. № 4 (90). С. 66–73.

9. Набздоров С.В. Динамика роста и урожай сахарной свеклы, возделываемой при разных режимах влагообеспеченности на суглинистых почвах в условиях востока Беларуси // Вест. БГСХА. 2020. № 1. С. 140–144.

10. Набздоров С.В. Влияние удобрений и орошения на динамику роста и урожайность сахарной свеклы // Мелиорация. 2020. № 2(92). С. 48–57.

11. Набздоров С.В. Влияние пищевого режима, влаги и теплообеспеченности вегетационных периодов на водопотребление сахарной свеклы // Вест. БГСХА. 2020. № 4. С. 135–142.

12. Набздоров С.В., Лихацевич А.П., Латушкина Г.В. Оценка точности расчета водопотребления сахарной свеклы с использованием биоклиматического метода // Мелиорация. 2022. № 1(99). С. 22–28.

13. Набздоров С.В. Зависимость динамики роста корнеплодов сахарной свеклы от удобрительного фона и орошения // Земледелие и растениеводство. 2020. № 6(133). С. 28–32.

14. Набздоров С.В. Влияние режимов орошения и удобрений на урожай и содержание сахара в корнеплодах сахарной свеклы // Земледелие и растениеводство. 2021. № 3(136). С. 14–17.

## REFERENCES

1. Bagrov M.N. Irrigation of sugar beet in semi-desert regions of the South-East // Sugar beet. 1981. No. 11. P. 9.
2. Lymar A.O., Fedorovsky A.A. Efficiency of fertilizers, irrigation, predecessors // Sugar beet. 1987. No. 2. P. 26–28.
3. Kruzhilin I.P., Mushinsky A.S. Beet yield depending on irrigation regimes and fertilizer doses // Land reclamation and water management. 2002. No. 6. P. 34–36.
4. Dubenok N.N., Tretyakov N.N. Intensive technologies in the cultivation of agricultural crops. M.: TSKhA, 1988. 54 p.
5. Vostrukhin N.P., Gulyaka M.I. Monitoring the dynamics of the formation of yield and quality of sugar beet in Belarus for 1966–2011. Nesvizh: Type. im. S. Budny, 2013. 68 p.
6. Vostrukhin N.P. Sugar beet. Mn.: MFCP. 2011. P. 56–58.
7. Development, production and application of complex fertilizers in agriculture of the Republic of Belarus / G.V. Pirogovskaya [et al.] // Soil Science and Agrochemistry. 2018. No. 1(60). P. 87–107.
8. Nabzdorov S.V. Effect of irrigation on the growth, development and yield of sugar beet // Melioration. 2019. No. 4(90). P. 66–73.
9. Nabzdorov S.V. Growth dynamics and yield of sugar beet cultivated under different moisture supply regimes on loamy soils in the conditions of the east of Belarus // Vest. BSAA. 2020. No. 1. P. 140–144.
10. Nabzdorov S.V. The influence of fertilizers and irrigation on the growth dynamics and yield of sugar beet // Melioration. 2020. No. 2(92). P. 48–57.
11. Nabzdorov S.V. The influence of food regime, moisture and heat supply during vegetation periods on water consumption of sugar beet // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No. 4. P. 135–142.

12. Nabzdorov S.V., Likhatchevich A.P., Latushkina G.V. Assessment of the accuracy of calculating water consumption of sugar beet using the bioclimatic method // *Melioration*. 2022. No. (99). P. 22–28.

13. Nabzdorov S.V. Dependence of the growth dynamics of sugar beet roots on the fertilization background and irrigation // *Agriculture and plant growing*. 2020. No. 6(133). P. 28–32.

14. Nabzdorov S.V. The influence of irrigation and fertilizer regimes on the yield and sugar content in sugar beet roots // *Agriculture and plant growing*. 2021. No. 3(136). P. 14–17.

**Желязко Владимир Иосифович**, доктор с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой мелиорации и водного хозяйства, [msfdekan@mail.ru](mailto:msfdekan@mail.ru); **Набздоров Сергей Васильевич**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры мелиорации и водного хозяйства, [Nabzdorov@mail.ru](mailto:Nabzdorov@mail.ru) (Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия, г. Горки, Респ. Беларусь).

УДК 631.61

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-4-19-22

## АНАЛИЗ РЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ И НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАРЬЕРОВ

А.Д. ВОЛКОВ, П.Ю. НЕСМАЧНЫЙ, Д.А. КИТАЕВ

**Ключевые слова:** рекультивация, земля, нарушенные земли, Московская область, Калининградская область, карьер, разрушение.

**Keywords:** reclamation, land, Moscow region, Kaliningrad region, quarry, destruction.

**Аннотация.** В статье освещаются особенности анализа рекультивируемых и нарушенных земель при разработке карьеров на территории Московской и Калининградской областей. В результате проведенного анализа изучены территории с измененным ландшафтом в двух регионах России — Подмоскowie и Калининградской области. Исследование выявило, что добыча полезных ископаемых открытым способом приводит к существенной трансформации грунтов, меняя их химический состав и физические характеристики. Строительство на подобных участках становится крайне затруднительным из-за образования техногенных отложений и отвалов. Спутниковые снимки наглядно демонстрируют масштаб проблемы деградации земель в результате карьерной разработки месторождений. Произведен анализ научно-практических положений, даны авторские выводы.

**Abstract.** The article highlights the features of the analysis of reclaimed and disturbed lands in the development of quarries in the Moscow and Kaliningrad regions. As a result of the analysis, territories with a modified landscape were studied in two regions of Russia — the Moscow region and the Kaliningrad region. The study revealed that open-pit mining leads to a significant transformation of soils, changing their chemical composition and physical characteristics. Construction on such sites becomes extremely difficult due to the formation of man-made deposits and dumps. Satellite images clearly demonstrate the scale of the problem of land degradation as a result of quarrying. The analysis of scientific and practical provisions is made, the author's conclusions are given.

Восстановление земель после промышленного использования требует комплексного подхода, включающего биологический и горнотехнический этапы. Эта деятельность, называемая рекультивацией, охватывает широкий спектр мероприятий — от инженерных работ до сельскохозяйственных манипуляций. При этом важно учитывать, что воздействие открытых разработок распространяется

далеко за пределы самого месторождения, затрагивая сопоставимую по размерам окружающую территорию. Именно поэтому современные проекты по восстановлению должны охватывать не только непосредственно карьер, но и прилегающие зоны. Как показывает международная и российская практика, такой всесторонний подход позволяет эффективно возвращать деградированную местность к различным видам хозяйственного использования, восстанавливая их продуктивность.

Обновление деградированной территории требует многогранного подхода, учитывающего различные аспекты: экономическую деятельность человека, экологическое состояние природы, социальные потребности населения, а также вопросы охраны и сохранения значимых архитектурных объектов и мест. Существует несколько ключевых направлений по восстановлению нарушенных земель: создание сельскохозяйственных угодий, развитие лесных массивов, обустройство водоемов для рыбного хозяйства, организация зон отдыха, улучшение санитарных условий, защита природных комплексов и строительное освоение. Успешность восстановительных мероприятий напрямую зависит от правильного определения будущего назначения территории и способов ее дальнейшего использования [4].

В наши дни комплексное возрождение нарушенных почв стало одним из приоритетных направлений государственной политики. Этот процесс охватывает множество специализированных мероприятий — от лесоводства до агротехнических работ. Конечная цель — вернуть ДМ их первоначальные характеристики, максимально приближенные к природным показателям неповрежденных земель. Успешная реализация этих мер не только способствует оздоровлению окружающей среды, но и открывает новые возможности для разнообразной экономической активно-

сти на восстановленных участках. Восстановление земель после разработки карьеров в России сталкивается с серьезными финансовыми ограничениями. Процесс восстановления включает в себя комплексную работу, разделенную на биологическую и техническую составляющие. На техническом этапе проводятся масштабные инженерные работы: создаются дороги, выполняется планирование территории, монтируются гидротехнические системы, производится обогащение почвы. Биологическая фаза направлена на возрождение экосистемы – здесь применяются специальные агротехнические методы, ускоряющие формирование плодородного слоя, восстанавливается растительный и животный мир. Все эти мероприятия требуют существенных материальных вложений, что создает значительные препятствия для российских предприятий. В России существует острая проблема нехватки квалифицированных специалистов в сфере земельной рекультивации (далее ЗР). Этот кадровый дефицит стал ключевым фактором, препятствующим восстановлению ДМ. В результате значительные участки поврежденных земель пребывают в запустении, поскольку отсутствуют необходимые человеческие ресурсы для проведения реабилитационных мероприятий [3].

В процессе добычи полезных ископаемых в Московской области преимущественно используется карьерный метод. Это приводит к масштабным трансформациям местности, которые распространяются далеко за пределы выделенных участков. В результате активизируются как нетипичные для данных мест геологические явления, так и специфические процессы, связанные с горными работами. Среди них можно отметить образование трещин в твердых породах (доломитовых и известняковых отложениях), а также вспучивание грунта в местах выработок. В процессе добычи минеральных ресурсов применяется метод контурного водопонижения, направленный на борьбу с притоком воды в карьеры. Однако такое вмешательство в природные процессы вызывает серьезные гидрологические последствия. Сброс откачанной воды в естественные низины приводит к негативным изменениям окружающего ландшафта – заболачиванию соседних участков. Нарушение природного баланса проявляется также в усилении эрозионных процессов из-за возросшей разницы гидравлических уровней между верхней и нижней частями карьера. Кроме того, снижение скорости течения в руслах рек способствует образованию застойных зон, что может спровоцировать затопление прилегающих территорий и возникновение паводковых явлений. Карьер Дзержинский наглядно демон-

стрирует комплекс негативных геологических процессов. Нарушение естественного водного режима провоцирует масштабные изменения в структуре геологической среды. В результате затопления нижних горизонтов формируются крупные водоемы, чьи воды разрушают береговую линию. На склонах карьера активно развиваются деструктивные явления – происходит осыпание пород, возникают оползневые процессы, образуются трещины отпора, усиливается эрозия бортов выработки [2].

Информация о наличии нарушенных и рекультивируемых земель за отчетный период 2022–2023 гг. по Московской области представлена в табл. 1 (составлено автором на основе [5]).

Калининградская область богата искусственными водоемами, появившимися в результате затопления бывших мест добычи минералов. Сегодня в регионе действует 44 карьера, где ведется активная разработка природных ресурсов. После завершения работ большинство выработок превращают в водные объекты – это самый популярный метод восстановления ДМ. Особый интерес для ботаников и экологов представляет процесс естественного возрождения растительности вокруг таких рукотворных озер. Эти техногенные ландшафты постепенно зарастают различными видами флоры, формируя новые экологические системы, созданные человеческой деятельностью. Исследование процессов естественного восстановления растительности в зонах добычи минералов помогает прогнозировать сукцессионные изменения и оценить необходимость искусственного вмешательства. Эти знания критически важны для разработки действенных методов восстановления нарушенных территорий. Понимание механизмов возобновления растительного покрова на ДМ играет ключевую роль при планировании и проведении работ по фитомелиорации. Восстановление экосистем на ДМ – одна из ключевых задач современной экологии. Особый интерес представляет естественное возобновление флоры вокруг техногенных объектов, таких как карьеры. В этих искусственно созданных человеком местообитаниях происходит спонтанное развитие растительных сообществ по берегам. Для успешной реабилитации подобных участков критически важно проводить детальные ботанико-экологические исследования. При этом эффективная ЗР возможна только при комплексном анализе локальных условий: от климатических особенностей до видового разнообразия местной флоры [1].

Информация о наличии нарушенных и рекультивируемых земель за отчетный период 2022–2023 гг. по Калининградской области представлена в табл. 2 (составлено автором на основе [6]).

Таблица 1

Нарушенные и рекультивируемые земли  
в Московской области

Критерий, га	2022 г.	2023 г.
Наличие нарушенных земель на начало отчетного года, всего	3760	4053
в том числе отработано	2086	2084
За отчетный год нарушено земель, всего	653	976
Рекультивировано земель, всего	422	519
в том числе под пашню	47	12
под другие сельскохозяйственные угодья	135	169
под лесные насаждения	74	77
под водоемы и другие цели	110	202
Наличие нарушенных земель на конец отчетного года, всего	3991	4510
в том числе отработано	2064	2356

По данным таблиц следует отметить, что наличие нарушенных и рекультивируемых земель растет, что связано с ежегодным увеличением площадей нарушенных территорий промышленного назначения, негативным воздействием на земли при добыче полезных ископаемых и нестабильностью процесса ЗР. Добыча полезных ископаемых приводит к серьезной деградации земель, и с каждым годом площадь территорий, требуемых для горнодобывающих работ, увеличивается. Хотя процесс восстановления характеризуется определенным прогрессом, его темпы остаются неустойчивыми. Интересная закономерность наблюдается между масштабами повреждения почв и эффективностью их восстановления. При достижении критической отметки в 400...450 тыс. га поврежденных территорий, эффективность ЗР резко падает – восстановлению подвергается лишь пятая часть земель. Таким образом, чем больше площадь нарушенных участков, тем меньший процент из них удастся вернуть в пригодное состояние, несмотря на общую тенденцию к постепенному улучшению показателей рекультивации [6].

На наш взгляд, восстановление ДМ в карьерах Московской области и Калининградского региона требует тщательно спланированных действий для нейтрализации вредных веществ и оздоровления почвы. Каждый объект нуждается в индивидуальном проектном плане реабилитации, который реализуется поэтапно. Сначала проводятся инженерно-технические работы, за которыми следует биологическое восстановление.

Для эффективного восстановления карьерных территорий в Калининградской и Московской областях необходимо комплексное развитие методов ЗР. При этом ключевым фактором является науч-

Таблица 2

Нарушенные и рекультивируемые земли  
в Калининградской области

Критерий, га	2022 г.	2023 г.
Наличие нарушенных земель, всего	1969	4155
в том числе обработано	932	1130
Нарушено земель, всего	650	104
Рекультивировано земель, всего	283	68
в том числе под пашню	44	1,5
под другие сельскохозяйственные угодья	196	15
под лесные насаждения	16	0,78
под водоемы и другие цели	7	45
Наличие нарушенных земель на конец отчетного года, всего	2336	4191
в том числе обработано	1049	1174

ный подход к выбору методов восстановления, основанный на анализе местных природных особенностей. Успешная реализация проектов по возвращению нарушенных земель в хозяйственный оборот требует тщательной оценки как экологических, так и экономических аспектов. Особое внимание следует уделить конечной цели использования восстановленных территорий, которая должна соответствовать установленным правовым нормам и планам развития регионов. В процессе разработки стратегии восстановления карьеров важно учитывать не только текущее состояние ДМ, но и их потенциальное назначение после завершения рекультивационных работ. Это позволит максимально эффективно использовать восстановленные территории в будущем.

Направление восстановительных работ определяется исходя из целевого назначения и разрешенного использования участка. При этом учитываются особенности категории земель, что влияет на комплекс необходимых мероприятий по их восстановлению. Областные экологические и геологические программы могут быть скорректированы с учетом стратегического планирования восстановления территорий, где велась добыча стройматериалов. Это касается таких инициатив как «Геологическое изучение недр и воспроизводство минерально-сырьевой базы Московской области» и «Экология Подмосковья». Особое внимание уделяется защите восстановленных территорий и снижению негативного влияния карьеров и складированных в них отходов на экологическую обстановку. Это является основополагающим аспектом природоохранной деятельности в данной сфере.

Несмотря на развитие технологий и методик рекультивации, существуют проблемы, которые затрудняют процесс восстановления земель:

- Высокие затраты на рекультивацию. Процесс требует значительных финансовых вложений, что может быть проблемой для компаний, которые занимаются добычей.

- Долгосрочность процесса. Рекультивация нарушенных земель требует времени, иногда до нескольких десятков лет, чтобы полностью восстановить экосистему.

- Нехватка квалифицированных специалистов. Для эффективной рекультивации необходимы специалисты, которые могут правильно оценить состояние почвы и выбрать оптимальные методы.

Таким образом, рекультивация нарушенных земель при разработке карьеров в Московской и Калининградской областях требует комплексного подхода с учетом географических и климатических особенностей каждого региона. Современные методы рекультивации позволяют эффективно восстанавливать экосистемы, что способствует сохранению природного баланса и улучшению социально-экономической ситуации в этих областях. Однако для достижения наилучших результатов необходимо обеспечить достаточное финансирование, подготовку специалистов и использование инновационных технологий в области охраны окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекультивация земель и мероприятия по восстановлению нарушенных ландшафтов / Т.В. Папаскири, С.Н. Волков, М.Е. Гинзбург, В.Н. Семочкин, Е.П. Ананичева. М.: Государственный университет по землеустройству, 2024. 184 с. ISBN 978-5-9215-0575-9. EDN SKKFPZ.
2. Моисеенко В.В., Цупикова Н.А. Флористические и экобиоморфологические особенности побережья обводненного карьера янтарный // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 34–45.
3. Наумова К.О., Станис Е.В. Оценка пораженности территории Московской области карьерами открытой добычи строительных материалов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 349–360. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-349-360>.
4. Петин А.Н., Толстопятова О.С., Петина М.А. Проблемы рекультивации земель, нарушенных горнодобывающим

комплексом: российский и зарубежный опыт // Sciences of Europe. 2017. № 13-1(13). С. 28–31.

5. Чечулина Т.В. Рекультивация нарушенных карьеров // 2021. № 27 (29). URL: <https://scilead.ru/article/679-rekultivatsiya-narushennikh-karerov>
6. Восстановление нарушенных земель: выявленные тенденции / М.Н. Игнатьева, В.Е. Стровский, В.В. Юрак, А.Н. Иванов // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 8. С. 54–59. DOI 10.18412/1816-0395-2021-8-54-59.
7. Информация о рекультивации земель // URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/land-recultivatio>

REFERENCES

1. Land reclamation and measures for the restoration of disturbed landscapes / T.V. Papaskiri, S.N. Volkov, M.E. Ginzburg, V.N. Semochkin, E.P. Ananicheva. M.: State University for Land Management, 2024. 184 p. ISBN 978-5-9215-0575-9. EDN SKKFPZ.
2. Moiseenko V.V., Tsupikova N.A. Floristic and Ecobiomor-physiological Features of the Amber Flooded Quarry Coast // Izvestiya KGTU. 2023. No. 70. Pp. 34–45.
3. Naumova K.O., Stanis E.V. Assessment of the Moscow Region Territory’s Exposure to Open-Pit Quarries for Construction Materials // Bulletin of the Russian University of Peoples’ Friendship. Series: Ecology and Life Safety. 2020. V. 28. No. 4. Pp. 349–360. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-349-360>
4. Petin A.N., Tolstopyatova O.S., Petina M.A. Problems of recultivation of lands disturbed by the mining complex: Russian and foreign experience // Sciences of Europe. 2017. № 13-1(13). Pp. 28–31.
5. Chechulina T.V. Recultivation of disturbed quarries // 2021. № 27(29). URL: <https://scilead.ru/article/679-rekultivatsiya-narushennikh-karerov>
6. Restoration of Disturbed Lands: Identified Trends / M.N. Ignatieva, V. E. Strovsky, V.V. Yurak, A.N. Ivanov // Ecology and Industry of Russia. 2021. Vol. 25, No. 8. Pp. 54–59. DOI 10.18412/1816-0395-2021-8-54-59.
7. Information about land reclamation // URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/land-recultivatio>

**Волков Александр Дмитриевич**, аспирант 2-го года обучения, [Av7061@gmail.com](mailto:Av7061@gmail.com); **Несмачный Павел Юрьевич**, аспирант 2-го года обучения, [ter\\_07@mail.ru](mailto:ter_07@mail.ru); **Кивтаев Дмитрий Александрович**, аспирант 2-го года обучения, [kda25@yandex.ru](mailto:kda25@yandex.ru) (ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, г. Москва, Россия).

УДК 51.74, 658.51

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-4-22-27

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ОБНОВЛЕНИЯ ПАРКА МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

Ф.К. АБДРАЗАКОВ С.В. ЧУМАКОВА Д.Г. ГОРЮНОВ

**Ключевые слова:** мелиоративные машины, энергозатраты, математическая модель, оптимизация, техническое состояние.

**Keywords:** melioration complex, fleet of melioration machines, minimization of energy costs, working time fund, optimality coefficient of choice, mathematical model, control solution.

**Аннотация.** Цель: снижение энергозатрат мелиоративных машин за счет оптимизации сроков ремонта и замены техники. Методы: разработана математическая модель на основе анализа энергозатрат и выработки фонда рабочего времени с применением математического анализа, теории множеств, а также графической визуализации. Результаты: модель определяет оптимальные сроки профилактики

или замены машины, минимизируя энергозатраты. Выводы: эффективность мелиоративного производства повышается за счет поддержания парка машин в технически исправном состоянии, что подразумевает снижение энергозатрат при максимальном использовании фонда рабочего времени.

**Abstract.** Objective: reduce energy consumption of drainage machines by optimizing repair and replacement schedules. Methods: a mathematical model was developed based on the analysis of energy consumption and working time utilization using mathematical analysis, set theory, and graphical visualization. Results: the model determines optimal maintenance or replacement schedules for machines, minimizing energy consumption. Conclusions: the efficiency of drainage production is increased by maintaining the fleet of machines in good technical condition, which implies reduced energy consumption while maximizing working time utilization.

**Введение.** Одной из основных составляющих современного мелиоративного комплекса является парк машин, поддержание которого в оптимальном состоянии позволяет обеспечить выполнение годовой производственной программы с минимальными энергозатратами. При этом возможны два варианта: организация изначально оптимального парка машин или же создание и поддержание оптимальной структуры существующего машинного парка. И в том, и другом случаях техника должна подбираться с учетом потребности хозяйств, их ресурсной возможности, необходимости выполнения объемов работ, качественных показателей и установленных сроков. Такая задача имеет решение, благодаря анализу данных относительно энергозатрат и фонда рабочего времени, полученных при мониторинге технического состояния машин и на их основе принятию своевременного управляющего решения.

**Цель исследования.** Целью исследования в данной работе является снижение энергозатрат за счет применения методики и соответствующей ей математической модели, позволяющей поддерживать парк машин мелиоративного производства в оптимальном состоянии. В случае выявления нарушений баланса между фактическими энергозатратами и фондом рабочего времени такая методика помогает определить критический период времени по принятию управляющего решения и направляет его в сторону оптимального выбора.

**Материалы и методы.** Поддержание парка мелиоративных машин в рабочем состоянии предполагает своевременную диагностику его составляющих [1, 2]. Таким образом, для обеспечения его бесперебойного функционирования необходима разработка математической модели процесса оптимального обновления техники, позволяющей структурировать по временному ряду возникающие задачи и успешно их решать [3–5]. Комплексный мониторинг, совершенствование или обнов-

ление машин позволяют содержать парк в рабочем состоянии и вырабатывать фонд рабочего времени с минимальными энергозатратами [6–8].

В основу математической модели, позволяющей определить оптимальное решение при обновлении парка машин, положен временной ряд, позволяющий рассматривать эмпирически полученные статистические данные, как динамическую систему [9]. При этом совокупность всех машин парка представлена как множество элементов:

$$M_n = \{M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n\}. \quad (1)$$

Также введено множество (2):

$$\theta = \{\tau_{ij}\}, i = \overline{1;n}, j = \overline{1;m}, \quad (2)$$

элементы которого соответствуют определенному временному значению  $\tau_{ij}$ , ч.

Жизненные циклы, которых описываются временными интервалами:

$$\theta_{IJ} = \{\theta_{ij}\}, i = \overline{1;n}, j = \overline{1;m}, \quad (3)$$

причем  $\theta_{ij} = [\tau_{i-1j-1}; \tau_{ij}]$ . (4)

При прогнозируемости продолжительности жизненного цикла машин можно учитывать различные характеристики или их совокупность, описываемые множеством:

$$\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_l\}, l = \overline{1;\infty}. \quad (5)$$

В данном случае одной из характеристик (5) являются показатели энергозатрат на производство работ машиной, так как они являются одними из основополагающих критериев в формировании и оценке ее жизненного цикла:

$$\Theta_{\text{раб}IJ} = \{\Theta_{\text{раб}ij}\}, i = \overline{1;n}, j = \overline{1;m}, \quad (6)$$

где  $\Theta_{\text{раб}ij}$  – энергозатраты на производство работ машиной, кВт/ед.изм. (единицы измерения зависят от вида машин и выполняемых ими работ, например, для одноковшового экскаватора при разработке грунта – м<sup>3</sup>).

На рис. 1 изображены жизненные циклы машин  $M_1$  и  $M_2$  на временном промежутке:

$$\theta_{IJ} = \{\theta_{ij}\} = \{[\tau_{i-1j-1}; \tau_{ij}]\}, i = \overline{1;2}, m = \overline{1;2k}, \quad (7)$$

В рассматриваемом случае множество  $\Theta_{IJ}$  содержит, в частности, два подмножества, а именно:

$$\theta_{1j} = \{\tau_{1,0}, \dots, \tau_{1,k+1}\} \text{ и } \theta_{2j} = \{\tau_{2,0}, \dots, \tau_{2,k+1}\}. \quad (8)$$

Элементы указанных подмножеств располагаются на оси времени т.

Для построения графика функции, отражающего жизненный цикл машины, взяты оси  $\tau_j$  и  $\Theta_{\text{раб}}$ , в рамках которых построена ступенчатая функция:  $\Theta_{\text{раб}} = \Theta_{\text{раб}}(\tau)$ . (9)

На оси  $\Theta_{\text{раб}}$  находятся значения функции энергозатрат, соответствующих временным промежуткам  $[\tau_{i-1j-1}; \tau_{ij}]$ .

Необходимо заметить, что элементы множеств  $\Theta_{\text{раб}i}$  и  $\Theta_{iI}$  определяются, опираясь на эмпирические данные, и функциональная зависимость между этими множествами:

$$\Theta_{\text{раб}iI} = \Theta_{\text{раб}iI}(\theta_{iI}) \quad (10)$$

или с учетом формул (1)–(9):

$$\Theta_{\text{раб}ij} = \begin{cases} 0, \tau_{ij} \leq 0; \\ \Theta_{\text{раб}ij}, \tau \in [\tau_{i-1j-1}; \tau_{ij}]; \\ \Theta_{\text{раб}max}, \tau_{ij} \geq \tau_{ik+1}. \end{cases} \quad (11)$$

Оценка энергозатрат машиной  $M_i$  отражена при подсчете площади:

$SM_i$ : ось  $O\tau$ , ось  $O\Theta_{\text{раб}}$ , функция  $\Theta_{\text{раб}ij}$ ,

и машиной  $M_{i+1}$

$SM_{i+1}$ : ось  $O\tau$ , ось  $O\Theta_{\text{раб}}$ , функция  $\Theta_{\text{раб}i+1j}$ .

Машина  $M_{i+1}$  может быть получена при различных вариантах:

$$URM = \begin{cases} \text{Новая машина (URM}_1\text{);} \\ \text{Капитально отремонтированная} \\ \text{машина (URM}_2\text{);} \\ \text{Модернизированная машина} \\ \text{(URM}_3\text{);} \\ \text{Машина, бывшая ранее} \\ \text{в эксплуатации (URM}_4\text{);} \\ \text{Машина без изменений (URM}_5\text{).} \end{cases} \quad (12)$$

Фактически, варианты (12) представляют множество управляющих решений  $URM$ .

При выборе оптимального варианта из множества управляющих решений (12) удобно воспользоваться графическим представлением жизненных циклов мелиоративных машин, представленных на рис. 1.

Главной характеристикой при выборе вариантов (12) является наличие более низких энергозатрат при выполнении одинаковых видов работ, то есть:

$$SM_i \geq SM_{i+1}, \theta_{1j} = \theta_{2j}. \quad (13)$$

При этом затраты, связанные с получением машины  $M_{i+1}$  отражаются в приращении по оси энергозатрат на интервале  $[\tau_{i,k+1}; \tau_{i+1,0}]$ , а именно:

$$\Delta\Theta_{\text{раб}i,i+1} = \Theta_{\text{раб}i+1} - \Theta_{\text{раб}i}. \quad (14)$$

Также существует взаимосвязь между энергозатратами, фондом рабочего времени  $\Phi$  и управляющим решением, как для отдельно взятой единицы техники, так и для парка машин в целом, что отражено на графике (рис. 2). При этом фонд

рабочего времени также служит характеристикой из множества (5).

Общий вид функциональной взаимосвязи между задействованными величинами:

$$Y_{ij} = \begin{cases} 0, X_{ij} = 0; \\ Y_{ij}, X_{ij} \neq 0, Y_{\text{раб}ij} = \frac{1}{X_{ij}}, \tau_{ij} > \tau_{ij}^*, \end{cases} \quad (15)$$

где  $\tau_{ij}^*$  – критическое значение, при котором  $Y_{ij} = X_{ij}$ , определяющее сроки принятия управляющего решения (12) по поводу проведения мероприятий минимизирующих энергозатраты с сохранением фонда рабочего времени.

Для наглядного изображения зависимостей одной величины от другой удобно использовать системы координат, использующие соответствующие обозначения осей (рис. 1, 2).

В функциональном плане, используя вид (15), зависимость между энергозатратами и фондом рабочего времени выглядит следующим образом:

$$\Theta_{\text{раб}ij} = \begin{cases} 0, \Phi_{ij} = 0; \\ \Theta_{\text{раб}ij}, \Phi_{ij} \neq 0, \Theta_{\text{раб}ij} = \frac{1}{\Phi_{ij}}, \tau_{ij} > \tau_{ij}^*, \end{cases} \quad (16)$$

где  $\tau_{ij}^*$  – критическое значение, при котором  $\Theta_{\text{раб}ij} = \Phi_{ij}$ , определяющее сроки принятия управляющего решения (12) по поводу проведения мероприятий минимизирующих энергозатраты с сохранением фонда рабочего времени.

Так как зависимость энергозатрат и фонда рабочего времени носит функциональный характер, то ее графическое изображение возможно представить в системах координат с осями  $(\Theta_{\text{раб}}, \tau)$  и  $(\Phi, \tau)$ , объединенных авторами в один рис. 2 для наглядного изображения их совместимости. Пересечение графиков указанных функций, являющихся взаимнообратными, на рис. 2 отражают критические значения для выбора управляющего решения из возможных вариантов, перечисленных в системе (12). Также следует отметить вид графиков, так как с учетом временных промежутков, рассматриваемые функции являются ступенчатыми.

Множество критических значений  $\tau_{ij}^*$  определяется выражением:

$$\tau_{ij}^* = \{\tau_{ij} : \Theta_{\text{раб}ij} = \Phi_{ij}\}. \quad (17)$$

И фактически является решением алгебраической системы:

$$\begin{cases} \Theta_{\text{раб}} = K_1 \Theta_{\text{раб}}(\tau); \\ \Phi = K_2 \Phi(\tau). \end{cases} \quad (18)$$

В системе (17)  $K_1$  и  $K_2$  являются коэффициентами соответствия и введены для приведения графиков к единому масштабу.

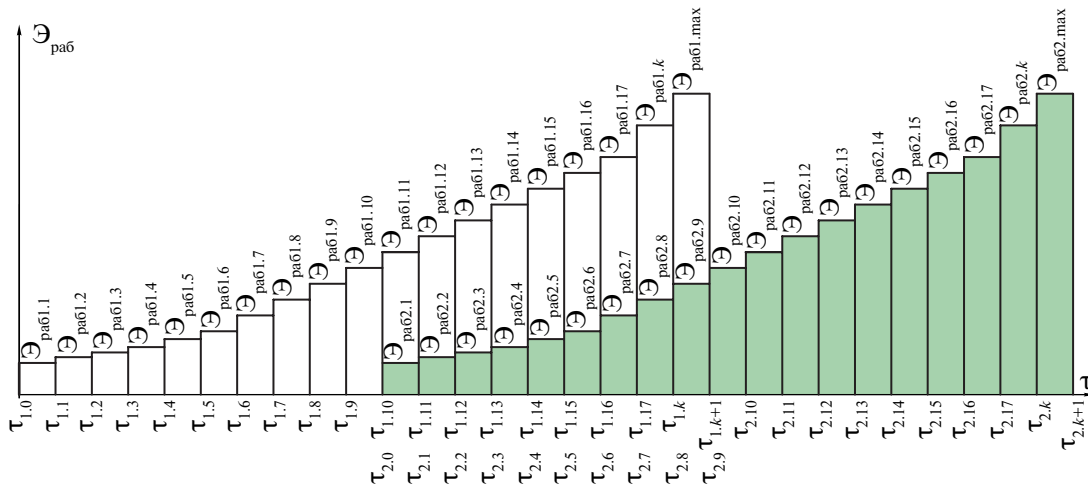


Рис. 1. Переход машины  $M_i(M_1)$  к варианту ее замены на новую машину  $M_{i+1}(M_2)$

При наличии выбора вариантов (от 1 до  $r$ ) обновления парка машин, решающим является максимальное значение коэффициента  $k_{э}^*$  из возможных  $k_{э}^* = \{k_{э1}^*, \dots, k_{эr}^*\}$ . На рис. 1 в качестве примера представлено графическое изо-

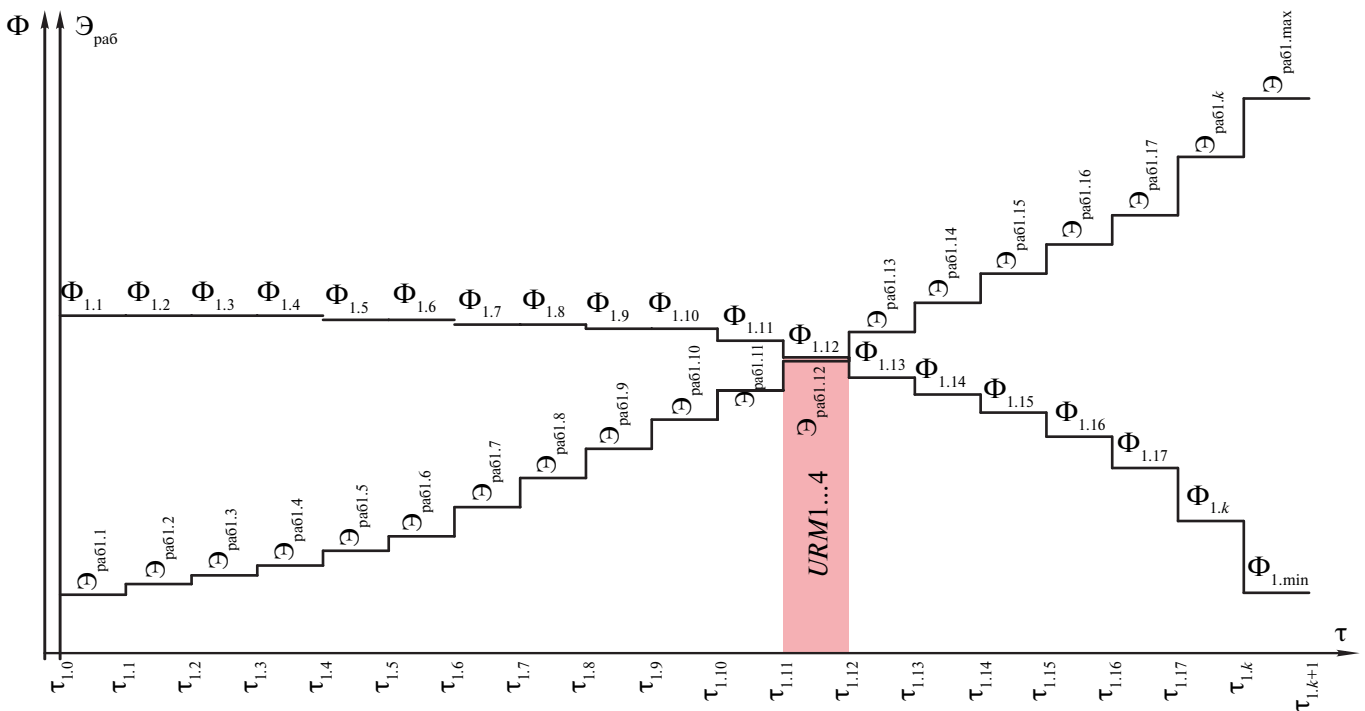


Рис. 2. Критические значения энергозатрат и фонда рабочего времени машины для принятия управляющего решения URM

Дальнейшие исследования соотношения энергозатрат и фонда рабочего времени для машины  $M_i$  имеют смысл после достижения ими критического значения в точке пересечения графиков, соответствующей  $\tau_{ij}^*$  (рис. 2) [10].

Введенный авторами коэффициент  $k_{э}^*$  (формула (19)) показывает оптимальность выбора при различных условиях (12):

$$k_{э}^* = \frac{S_{M_i}}{S_{M_{i+1}}}, \quad (19)$$

где  $k_{э}^*$  – коэффициент, демонстрирующий оптимальность перехода от варианта машины  $M_i$  к варианту машины  $M_{i+1}$ , то есть является критерием для выбора оптимального управляющего решения (12).

бражение возможных вариантов (12) при переходе одного из вариантов к следующему и уточнение  $\Theta_{lj}$ . Рассмотрен случай для  $i=1$  и  $j=0$ ;  $k+i$  тогда,  $M_i=M_1$ ,  $M_{i+1}=M_2$  и  $\Theta_{lj}=[\tau_{1,0}; \tau_{1,k+1}]$ ,  $\Theta_{2j}=[\tau_{2,0}; \tau_{2,k+1}]$ . Жизненные циклы машин в примере описаны, как для имеющейся машины, так и для точно такой же, но новой машины. Аналогично можно построить графики для вариантов: капитального ремонта, модернизации и замены машиной ранее бывшей в эксплуатации [11, 12].

Также авторами установлен оптимальный временной промежуток эксплуатации машины  $M_i$  и переход ее на другой уровень технических характеристик, то есть, на машину  $M_{i+1}$ , а именно: критическим становится тот элемент временного

ряда  $\tau_{ij}^*$ , при котором выполняется условие (17) и находится решение системы (18). В этом случае возможен переход к формуле (12), позволяющий определить наиболее рациональное управляющее решение [13].

Формулы (1)–(18) в совокупности дают решение задачи относительно определения оптимального времени принятия управляющего решения и его содержания, что отображено алгоритмом [14, 15]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{ij}^* = \{\tau_{ij} : \Theta_{\text{раб}ij} = \Phi_{ij}\}; \\ URM = \left\{ URM : \left\{ \begin{array}{l} 0 < k_3^* < 1, (URM_5) \\ k_3^* > 1, URM_1 - URM_4 \end{array} \right\} \right\}. \end{array} \right. \quad (20)$$

**Результаты и обсуждение.** Решим практическую задачу с применением представленных выше теоретических исследований.

Например, имеется одноковшовый экскаватор 3-й размерной группы ЭО-3323. Мощность двигателя – 55 кВт, техническая производительность – 25 м<sup>3</sup>/ч, годовой фонд рабочего времени – 2330 маш.-ч. Коэффициент, учитывающий местные условия объекта – 0,95.

Тогда эксплуатационную производительность  $\Pi_3$  (м<sup>3</sup>/ч) можно определить:

$$\Pi_3 = \Pi_T K_{\text{усл}}, \quad (21)$$

где  $\Pi_T$  – техническая производительность машины, м<sup>3</sup>/ч;  $K_{\text{усл}}$  – коэффициент, учитывающий местные условия на объекте (коэффициент местных условий может принимать значения от 0 до 1).

$$\Pi_3 = 25 \cdot 0,95 = 23,75 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Удельную энергоёмкость работы машины на производственном объекте  $\Theta_{\text{уд}}$ , кВт·ч/м<sup>3</sup>, рассчитываем по формуле:

$$\Theta_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\Pi_3}, \quad (22)$$

где  $N_{\text{дв}}$  – мощность двигателя машины, кВт.

$$\Theta_{\text{уд}} = 55 / 23,75 = 2,316 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3.$$

Годовые энергозатраты (с учетом, что машина работает весь запланированный фонд рабочего времени), определяем по формуле:

$$\Theta_{\text{раб}} = \Theta_{\text{уд}} \Phi, \quad (23)$$

где  $\Phi$  – годовой фонд рабочего времени машины, маш.-ч.

$$\Theta_{\text{раб}} = 2,316 \cdot 2330 = 5396 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Применяя формулы (1)–(16) и алгоритм (20), получаем, что для конкретных производственных условий  $\tau_{ij}^* = 10$ .

Следовательно, через 10 лет, используя формулу (19) возможно осуществить выбор оптимального решения относительно дальнейшего жизненного цикла экскаватора. Получив значение

коэффициента  $k_3^* > 1$ , принимаем управляющее решение из (12) о замене машины на новую.

**Выводы.** Для поддержания парка мелиоративных машин  $M_i$  в рабочем состоянии необходимо проводить постоянный мониторинг их технической составляющей, анализируя соответствие таких характеристик, как энергозатраты  $\Theta_{\text{раб}ij}$  и фонд рабочего времени  $\Phi_{ij}$ . При наступлении критического периода  $\tau_{ij}^*$  необходимо принимать оптимальное управляющее решение о проведении мероприятий, призванных восстановить баланс между энергозатратами машины и фондом рабочего времени.

В представленной работе нами разработана методика выбора оптимального управляющего решения, позволяющая обеспечить необходимое равновесие между энергозатратами  $\Theta_{\text{раб}ij}$  и фондом рабочего времени  $\Phi_{ij}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдразаков Ф.К., Горюнов Д.Г. Оптимизация формирования парков машин и распределения техники по производственным объектам // Строительные и дорожные машины. 2002. № 3. С. 12–14. EDN: UKPMVN.
2. Соловьев Д.А., Чумакова С.В., Гончаров Р.Д. Математическая модель организации технического сервиса // Технический сервис машин. 2024. Т. 62, № 2. С. 27–32. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-2-27-32. EDN: SHIBQC.
3. Чумакова С.В., Горюнов Д.Г., Загоруйко М.Г. Математическая модель оптимизации формирования парка машин // Природообустройство. 2025. № 1. С. 56–62. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-1-56-62. EDN: NUYXIO.
4. Кравчук А.В., Бельтиков Б.Н., Панкова Т.А. Особенности работы широкозахватной дождевальной машины фронтального передвижения и обоснование силового расчета центральной подвижной опоры // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 243–257. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-243-257. EDN: ХТУЮВ.
5. Вероятность появления повреждений и отказов на трубопроводах оросительных систем / С.С. Орлова, А.В. Кравчук, Т.А. Панкова, О.В. Михеева, Е.Н. Миркина // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т.13, № 2. С. 109–122. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122. EDN: AZHAVY
6. Комплексный мониторинг технического состояния концевого водоспуска Невинномысского канала, базирующийся на оценке параметров надежности / М.А. Бандурин, В.А. Волосухин, И.А. Приходько, А.А. Руденко // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 264–280. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-264-280. EDN: ZELKMQ.
7. Колганов Д.А. Совершенствование и разработка широкозахватных дождевальных машин и дождевальной техники // Техногенная и природная безопасность: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Саратов: СГАУ имени Н.И. Вавилова, 2017. С. 37–42.
8. Разработка сменных рабочих органов мелиоративного каналоочистителя ОКН-0,5 / Х.А. Абдулмажидов, В.И. Балабанов, Н.Б. Мартынова, А.А. Макаров // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 6. С. 36–40. DOI: 10.32962/0235-2524-2023-6-40-43. EDN: YJHJDW.

9. Нижников А.И., Яремко О.Е., Яремко Н.Н. Матричные интегральные преобразования для моделирования волновых процессов в кусочно-однородных средах // Чебышевский сборник. 2023. Т. 24, № 4(90). С. 239–251. DOI: 10.22405/2226-8383-2023-24-4-239-251. EDN: YCKUUY.

10. Нгуен Т., Ахметов И.З., Галимянов А.Ф. Численный метод решения интегральных уравнений Фредгольма и Вольтерра с помощью искусственных нейросетей // Чебышевский сборник. 2024. Т. 25, № 5(96). С. 126–139. DOI: 10.22405/2226-8383-2024-25-5-126-139. EDN: QYHQIV.

11. Численное моделирование усталостного разрушения на основе нелокальной теории циклической повреждаемости / Н.Г. Бурого, И.С. Никитин, А.Д. Никитин, Б.А. Стратула // Математическое моделирование. 2024. Т. 36, № 3. С. 3–19. DOI: 10.20948/mm-2024-03-01. EDN: PZGYDB.

12. Вероятность появления повреждений и отказов на трубопроводах оросительных систем / С.С. Орлова, А.В. Кравчук, Т.А. Панкова, О.В. Михеева, Е.Н. Миркина // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 109–122. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122. EDN: AZHAVY.

13. Бакланова Д.В. Анализ проблем функционирования Сарпинской обводнительно-оросительной системы в Республике Калмыкия // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 2. С. 209–222. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-209-222. EDN: EPAHCL.

14. Мясоедов А.И. Современные экономико-математические методы и модели в процессе принятия управленческих решений // Проблемы и перспективы экономики и управления: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, 20–23 дек. 2017 г.). СПб.: Свое изд-во, 2017. С. 150–153. EDN: QJXJLB.

15. Theoretical concept of augmented reality application in the maintenance of agricultural tractors / S.V. Chumakova, R.D. Goncharov, O.V. Kabanov, A.V. Rusinov // Digital Technologies in Agriculture of the Russian Federation and the World Community. Ставрополь, 27–30 сент. 2021 г. AIP PUBLISHING, 2022. Т. 2661. 110002. EDN: IXETZV.

REFERENCES

1. Abdrazakov F.K., Goryunov D.G. Optimization of formation of machine parks and distribution of equipment among production facilities // Construction and road machines. 2002. No. 3. Pp. 12–14. EDN: YKPMVH.

2. Soloviev D.A., Chumakova S.V., Goncharov R.D. Mathematical model of technical service organization // Technical service of machines. 2024. Vol. 62, No. 2. Pp. 27–32. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-2-27-32. EDN: SHIBQC.

3. Chumakova S.V., Goryunov D.G., Zagoruiko M.G. Mathematical model of optimization of formation of machine park // Nature management. 2025. No. 1. P. 56–62. DOI: 10.26897/1997-6011-2025-1-56-62. EDN: NUYYXIO.

4. Kravchuk A.V., Beltikov B.N., Pankova T.A. Features of the operation of a wide-capacity frontal irrigation machine and justification of the power calculation of the central movable support // Melioration and hydraulic engineering. 2024. Vol. 14, No. 4. P. 243–257. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-243-257. EDN: XTYJOV.

5. Probability of Damage and Failures in Irrigation System Pipelines / S.S. Orlova, A.V. Kravchuk, T.A. Pankova, O.V. Mikheeva, E.N. Mirkina // Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13, No. 2. Pp. 109–122. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122. EDN: AZHAVY

6. Integrated Monitoring of the Technical Condition of the Nevinnomyssk Canal End Discharge Based on the Assessment of Reliability Parameters / M.A. Bandurin, V.A. Volosukhin, I.A. Prikhodko, A.A. Rudenko // Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13, No. 2. Pp. 264–280. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-264-280. EDN: ZELKMQ.

7. Kolganov D. A. Improvement and development of wide-capacity irrigation machines and irrigation equipment // Technogenic and natural safety: proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference. Saratov: SAU named after N.I. Vavilov, 2017. Pp. 37–42.

8. Development of replaceable working bodies of the OKN-0.5 melioration channel cleaner / Kh.A. Abdulmashidov, V.I. Balabanov, N.B. Martynova, A.A. Makarov // Melioration and water management. 2023. No. 6. Pp. 36–40. DOI: 10.32962/0235-2524-2023-6-40-43. EDN: YHJJDW.

9. Nizhnikov A.I., Yaremko O.E., Yaremko N.N. Matrix integral transformations for modeling wave processes in piecewise homogeneous media // Chebyshevsky collection. 2023. Vol. 24, No. 4(90). P. 239–251. DOI: 10.22405/2226-8383-2023-24-4-239-251. EDN: YCKUUY.

10. Nguyen T., Akhmetov I.Z., Galimyanov A.F. Numerical method for solving Fredholm and Volterra integral equations using artificial neural networks // Chebyshevskii sbornik. 2024. Vol. 25, No. 5(96). P. 126–139. DOI: 10.22405/2226-8383-2024-25-5-126-139. EDN: QYHQIV.

11. Numerical modeling of fatigue failure based on the nonlocal theory of cyclic damage / N.G. Burago, I.S. Nikitin, A.D. Nikitin, B.A. Stratula // Mathematical modeling. 2024. Vol. 36, No. 3. P. 3–19. DOI: 10.20948/mm-2024-03-01. EDN: PZGYDB.

12. Probability of Damage and Failures in Irrigation System Pipelines / S.S. Orlova, A.V. Kravchuk, T.A. Pankova, O.V. Mikheeva, E.N. Mirkina // Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13, No. 2. Pp. 109–122. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122. EDN: AZHAVY.

13. Baklanova D.V. Analysis of Problems of Operation of the Sarpinskaya Irrigation and Water Supply System in the Republic of Kalmykia // Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2022. Vol. 12, No. 2. Pp. 209–222. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-209-222. EDN: EPAHCL.

14. Myasoeodov A.I. Modern economic and mathematical methods and models in the process of making management decisions // Problems and Prospects of Economics and Management: Proc. VI Intern. scientific conf. (St. Petersburg, December 20–23, 2017). SPb.: Svoe Publishing House, 2017. Pp. 150–153. EDN: QJXJLB.

15. Theoretical concept of augmented reality application in the maintenance of agricultural tractors / S.V. Chumakova, R.D. Goncharov, O.V. Kabanov, A.V. Rusinov // Digital Technologies in Agriculture of the Russian Federation and the World Community. Stavropol, September 27–30 2021 AIP PUBLISHING, 2022. Т. 2661. 110002. EDN: IXETZV.

**Абдразаков Фярид Кинжаевич**, доктор техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор, *abdrazakov.fk@mail.ru*, ORCID: 0000-0003-3247-5257; Чумакова Светлана Валентиновна, канд. техн. наук, доцент, *ch-sv@yandex.ru*, ORCID: 0000-0002-2877-0758; Горюнов Дмитрий Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, *md111@bk.ru*, ORCID: 0000-0001-6208-640X (Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия).

## РЕГУЛИРОВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ РЕЖИМОВ ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТТОКА ДРЕНАЖНЫХ ВОД

П. В. РЯБЦЕВ, К. В. КОЛЕСНИЧЕНКО

**Ключевые слова:** мелиоративный режим, грунтовые воды, фильтрация, поровое давление.

**Keywords:** ameliorative regime, groundwater, filtration, pore pressure.

**Аннотация.** Регулирование мелиоративных режимов можно осуществлять путем создания благоприятного режима грунтовых вод: элемент общего комплекса мелиоративных мероприятий, направленных на достижение рациональной структуры водного и солевого баланса и оптимального мелиоративного режима почв. В статье рассмотрены варианты отвода избыточных дренажных вод с подтопляемой территории, применение численного моделирования для выполнения расчета скорости отвода дренажных вод и определен наиболее эффективный способ.

**Abstract.** Ameliorative regimes can be regulated by creating favourable groundwater regime: an element of the general complex of ameliorative measures aimed at achieving rational structure of water and salt balance and optimal ameliorative regime of soils. The article considers variants of excess drainage water diversion from waterlogged area, application of numerical modelling for calculation of excess drainage water diversion rate and determines the most effective method.

**Введение.** Необходимость повышения эффективности использования орошаемых и осушенных земель, получение на этих землях проектной урожайности, бережное использование водных ресурсов и земельных угодий — это одна из основных задач, стоящих в программе развития мелиорации земель. По сравнению с другими группами сельскохозяйственных мелиораций, гидротехнические в наибольшей мере определяются гидрогеологическими условиями и одновременно сами преобразуют эти условия, в связи с чем требуют детального гидрогеолого-мелиоративного прогнозирования и обоснования. В настоящее время комплексный подход к решению проблем восстановления сельскохозяйственных земель позволяет использовать различные методы исследования и восстановления агроландшафтов.

Восстановление переувлажненных сельскохозяйственных земель — это комплекс мероприятий, направленных на улучшение их агрономических свойств и восстановление продуктивности. Основной задачей является понижение уровня грунтовых вод и улучшение структуры почвы, что в свою очередь способствует созданию благоприятных условий для роста сельскохозяйственных культур.

На первом этапе необходимо провести анализ состояния земель, выявить причины переувлажнения и определить наиболее эффективные методы дренажа.

Также следует обратить внимание на агротехнические меры: внесение органических удобрений, использование специальных сортов растений и севообороты, способствующие улучшению структуры почвы. Важно внедрять методы биологической рекультивации, которые помогут восстановить естественное самообновление экосистем.

Восстановленные земли способны вновь давать высокий урожай, а также способствовать улучшению экологии в регионе. Таким образом, грамотное восстановление переувлажненных сельхозземель имеет ключевое значение для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития сельского хозяйства.

**Методы исследования.** Переувлажнение земель наносит значительный ущерб: снижается плодородие почв, урожайность сельскохозяйственных культур, а без принятия мер ситуация может усугубиться и восстановление земель будет невозможно. Данная проблема достаточно распространена на территории Краснодарского края. Наши исследования проводились в Динском районе в ООО «Олимп Кубани» на участке площадью 300 га.

Высокое залегание уровня грунтовых вод здесь является одной из причин образования так называемых «блюдец» на полях.

Регулирование режима грунтовых вод должно базироваться на детальной характеристике гидрогеологических условий, данных по существующему и прогнозируемому режимам грунтовых вод, водному и солевому балансу. Установленные баланс и типы режимов грунтовых вод определяют направленность мелиоративных мероприятий. Учитывая необходимость экономии и рационального использования оросительной воды, соответствующие мероприятия должны осуществляться в комплексе с мерами по созданию благоприятного режима грунтовых вод. Поэтому сокращение их ирригационного питания необходимо при всех гидрогеологических условиях и всех типах режима грунтовых вод. Оно достигается путем устранения фильтрации из всех звеньев оросительных систем, совер-

шенствованием поверхностных поливов (сокращение оросительных норм, поверхностного и глубинного сбросов, использование различных поливных машин, лотков, гибких и жестких поливных трубопроводов, берущих воду из закрытых водоводов). Искусственный дренаж, необходимый во всех гидрогеологических зонах, кроме естественно интенсивно дренированной. Выбор типа дренажа во многом определяется гидрогеологическими и, в частности, геофильтрационными условиями.

Гидрологический режим обусловлен главным образом влиянием рек, которые определяют сезонные и многолетние колебания уровня грунтовых вод. При этом формирование гидрологического режима зависит от того является ли река источником питания грунтовых вод, или же в период паводка создает подпор грунтовых вод, вызывая повышение их уровня.

На орошаемых и осушенных землях естественный режим грунтовых вод изменяется. При этом степень влияния техногенных факторов и формирующиеся при этом режимы грунтовых вод зависят не только от их естественного режима, а также от вида мелиораций, их технического уровня и качества эксплуатации гидромелиоративных систем. Орошение земель весьма существенно, а часто коренным образом изменяет гидрогеологические условия: интенсивность питания грунтовых вод, их взаимосвязь с нижележащими межпластовыми водоносными горизонтами, глубину их залегания и химический состав, режим, направление движения и характер разгрузки, структуру водного и солевого баланса и т. д. Нередко под влиянием орошения изменяются водно-физические, фильтрационные и другие свойства пород зоны аэрации и водоносных отложений. Кроме того, происходит изменение инженерно-геологических условий под влиянием увлажнения пород оросительными водами и подъема УГВ, вызванного в результате орошения.

Существуют различные методы исследования колебания грунтовых и движения воды в почвогрунте. Авторами проведено численный анализ грунтового массива исследуемого участка с использованием математического аппарата.

Разработано три способа отведения излишней грунтовой воды:

- при проведении агротехнических мероприятий (профилирование поверхности);
- устройство дренажных каналов по периметру полей;
- устройство колодцев-поглотителей.

С учетом скорости фильтрации в грунтовом массиве при использовании программного ком-

плекса midas GTS NX выполнено численное исследование, определены основные параметры и скорость оттока грунтовой воды с полей.

Выполненный анализ математического аппарата позволил оценить процесс движения жидкости и перенос твердых частиц в грунтовом массиве.

В жидкостях, состоящих из нескольких компонентов — жидкость/частицы, где компоненты имеют разную плотность установлено, что компоненты могут принимать различные скорости потока. Различия в скорости возникают из-за того, что различия в плотности приводят к неоднородности тела. Часто различия в скоростях могут быть очень выраженными. При этом относительные скорости достаточно малы, чтобы их можно было описать как «дрейф» одного компонента через другой.

Теория «дрейфа» позволяет оценить является ли инерция, причиной дисперсного перемещения компонентов. Если инерцией относительно движения можно пренебречь, а относительную скорость свести к равновесию между движущей силой (например, гравитацией или градиентом давления) и противоположной силой сопротивления между компонентами, то можно говорить о «дрейф-потоке». Скорости дрейфа в первую очередь ответственны за перенос масса и энергии.

Идея, лежащая в основе модели «Дрейфа», заключается в том, что относительное движение между компонентами могут быть аппроксимированы как континуум, а не дискретными элементами (например, частицы). Это повышает вычислительную точность, так как необходимость отслеживания движение и взаимодействия дискретных элементов вычислять не нужно.

Формулировка относительной скорости в приближении дрейфа определяется:

$$u = f_1 u_1 + f_2 u_2. \quad (1)$$

Объемные доли двух компонентов, входящих в состав смеси, обозначаются как  $f_1$  и  $f_2$ , где:

$$f_1 + f_2 = 1. \quad (2)$$

Если предположить, что две фазы несжимаемы, то импульсное равновесие для непрерывной фазы равно:

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \nabla u_1 = -\frac{1}{p_1} \nabla P + F + \frac{K}{f p_1} u_r, \quad (3)$$

в то время как для дисперсной фазы равно:

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_2 \nabla u_2 = -\frac{1}{p_2} \nabla P + F + \frac{K}{(1-f)p_2} u_r, \quad (4)$$

где  $u_1$  и  $u_2$  — представляют собой маленькие скорости непрерывной и дисперсной фаз соответственно;  $f$  — объемная доля сплошной фазы;  $\nabla u_2$  — маленькая скорость относится к скорости каждой фазы относительно небольшого, но конечного объема жидкости;  $F$  — сила тела;  $K$  — коэффициент лобового сопротивления, свя-

зывающий взаимодействие двух фаз;  $u_r$  – относительная разность скоростей между дисперсной и непрерывной фазами:  $u_r = u_2 - u_1$ . (5)

Целью модели дрейфа-потока является расчет движения двух фаз относительно усредненной по объему скорости,  $\bar{u}$ . При этом средневзвешенная по объему скорость равна:

$$\bar{u} = fu_1 + (1-f)u_2. \quad (6)$$

Выбирается средневзвешенная по объему скорость, а не по массе средняя, потому что вычитание уравнения (3) из уравнения (4) дает уравнение для относительной скорости, где  $K$  – коэффициент лобового сопротивления на единицу объема:

$$\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_2 \nabla u_2 - u_1 \nabla u_1 = \left( \frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_2} \right) \nabla P - \left( \frac{1}{(1-f)p_2} + \frac{1}{fp_1} \right) Ku_r. \quad (7)$$

Цель состоит в том, чтобы определить относительную скорость  $u_r$ . Если мы в дальнейшем будем использовать уравнение (7) в целом, то это будет представлять собой модель двухскоростного поля для двухкомпонентного потока.

На основании изложенного, далее для анализа движения жидкости (воды) в грунтовом массиве будем использовать закон Дарси:

$$q = k \nabla h = -kn_g + \frac{1}{\gamma_g} k \nabla p_w, \quad (8)$$

где  $q$  – скорость фильтрации;  $h$  – полный напор;  $n_g$  – единичный вектор направления действия силы тяжести;  $k$  – матрица коэффициентов фильтрации.

Закон Дарси описывает пропорциональную зависимость между скоростью фильтрации в грунтовой среде и градиентом полного напора. Изначально закон Дарси получен для водонасыщенных грунтов, но различными исследователями показано, что закон применим также и для фильтрационного потока в неводонасыщенной среде.

Для грунтового массива, обладающего фильтрацией, будем использовать матрицу коэффициентов фильтрации.

В данной матрице учитывается только диагональная компонента по каждому направлению. Под направлением здесь принято направление в системы глобальных координат грунтового массива.

$$k = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Скорость фильтрации  $q$  имеет размерность скорости, а действительная скорость фильтрационного потока в грунте представляет собой вели-

чину скорости фильтрации  $q$  деленную на пористость грунта.

Кроме этого, проведен анализ климатической характеристики участка. На основании проведенного анализа климатических характеристик необходимо констатировать, что среднегодовое количество осадков равно 641 мм. Суммы осадков год от года могут значительно отклоняться от среднего значения.

Распределение осадков в течение года довольно равномерное с некоторым преобладанием в летнее время (июнь-июль), в зимнее время – в ноябре-декабре.

Что касается сезонного распределения осадков, то оно имеет декабрьский максимум, минимум количества осадков отмечается в октябре.

Режим выпадения летних осадков, как правило, носит ливневый характер. Зимой осадки выпадают в виде дождя и мокрого снега.

Максимум числа дней с осадками наблюдается зимой, минимум в конце лета – начале осени. Зимний максимум объясняется длительными обложными осадками, а летний минимум – кратковременными ливнями. Преобладающими в течение всего года являются жидкие осадки, сильные дожди наблюдаются преимущественно в теплое время года. Суточный максимум осадков составляет 78,9 мм (август 1996 г.).

**Результаты.** По результатам лабораторных исследований фильтрационных свойств грунтового основания установлены коэффициенты фильтрации элювиальных отложений, которые варьируются в диапазоне от 0,1 до 0,6 м/сут, при этом инженерно-геологический элемент (глина легкая), который распространен повсеместно имеет коэффициент фильтрации равный 0,01 м/сут. Данные зафиксированные параметры примем к дальнейшему исследованию.

В программном комплексе строится по исходным данным, полученным на исследуемом участке расчетная модель исследуемого участка для случая отвода дренажных вод с устройством каналов по периметру полей.

Данная модель выполняется с нанесением линии существующего рельефа местности, отметок дна канала, а также уровней нормального и максимального горизонта воды. По трассе указываются расстояния между характерными точками, подписи высотных отметок, а также расположение гидротехнических сооружений. Данный профиль позволяет оценить условия самотечного движения воды, соответствие проектных отметок дна рельефу, а также правильность размещения регулирующих сооружений.

Далее осуществляются исследования параметров при соответствующих коэффициентах фильтрации элювиальных отложений равном 0,1; 0,2 и 0,6 м/сут.

Выполнено исследование на предмет определения проницаемости инженерно-геологических элементов рассматриваемого среза.

Диалоговое окно задания параметров решающей программы представлено на рис. 1.

На рис. 2 изображены результаты фильтрационного анализа в программе midas GTS NX, а именно распределение интенсивности фильтрационного потока по сечению грунтового массива.

На рисунке изображено поле фильтрационного потока в установившемся режиме. Цветовая карта показывает, как вода движется через различные инженерно-геологические элементы (ИГЭ) с разной проницаемостью.

Высокие значения потока (красные зоны) наблюдаются в более проницаемых слоях, тогда как в менее проницаемых поток ниже (зеленые/желтые зоны).

Распределение цветов по горизонтали показывает, что потенциал фильтра не однороден: наибольшее значение потока – в центральной части, сужается к краям.

Результаты расчета по распространению линий тока представлены на рис. 3.

Анализ распространения линий тока показывает, что значимый отток воды прослеживается по периметру рассматриваемого орошаемого участка, при этом по мере приближения к центру отток существенно уменьшается с дальнейшим стремлением к полному его отсутствию.

Результаты расчета оттока свидетельствует о суммарном оттоке численно равном 0,323 м<sup>3</sup>/сут с метра погонного геологического среза мощностью 4,7 и 3,9 м соответственно, что представлено на рис. 4.

Учитывая площадь рассматриваемого орошаемого участка при выполнении численного участка равную 3 000 000 м<sup>2</sup> и количество осадков,

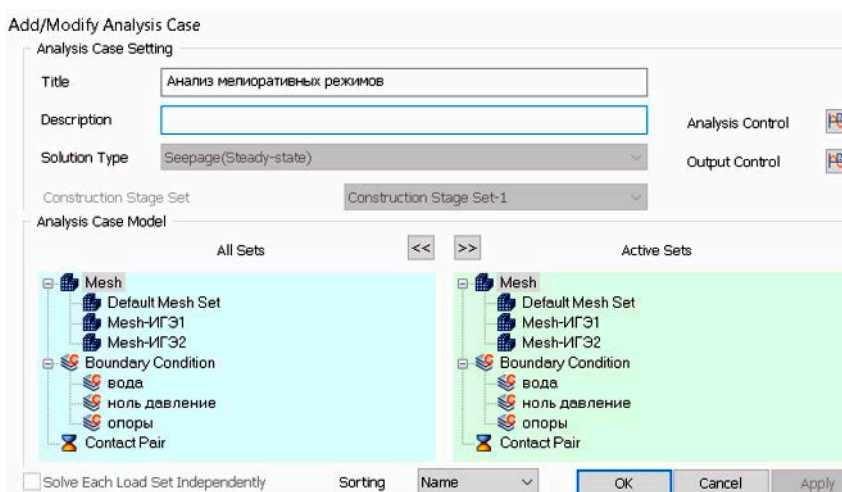


Рис. 1. Задание параметров решающей программы

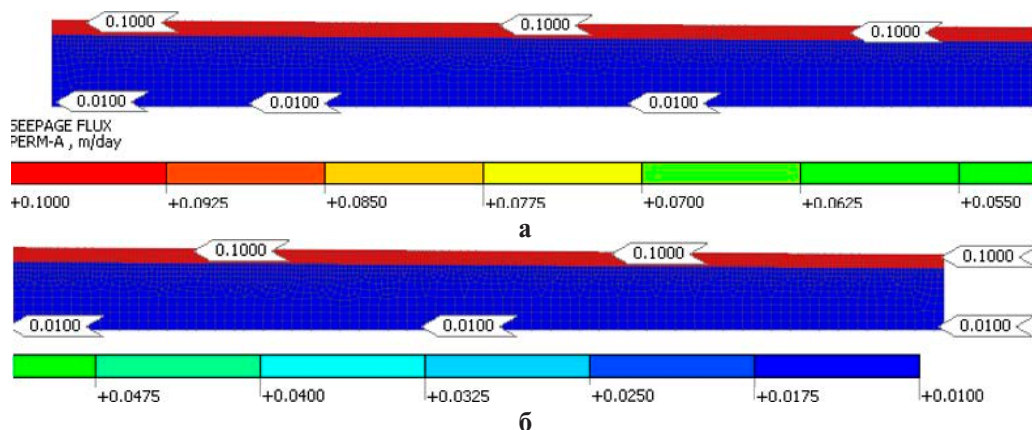


Рис. 2. Проницаемость инженерно-геологических элементов:  
а – левая часть поля; б – правая часть поля

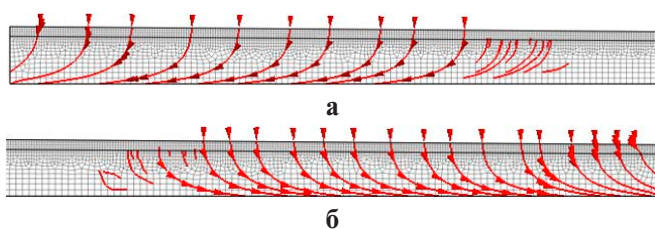


Рис. 3. Распространение линий тока:  
а – левая часть поля; б – правая часть поля

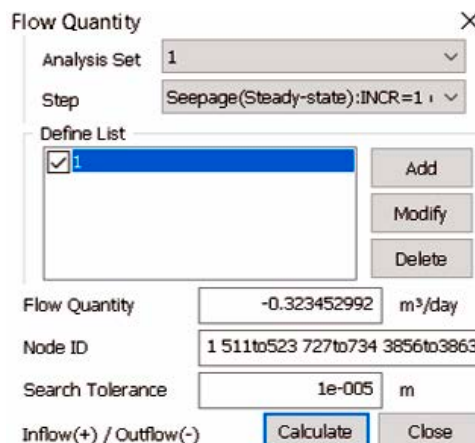


Рис. 4. Суммарный отток воды

принятое к рассмотрению – 78,9 мм. На основании представленного объема осадков, выпавших на горизонтальную площадь, будет составлять 215 397 м<sup>3</sup>. Следует, что необходимое время для фильтрационного оттока воды при коэффициенте фильтрации 0,1 м/сут будет составлять 67,3 сут.

Аналогично проведено исследование при коэффициентах фильтрации 0,2 и 0,6 м/сут и время оттока составило 37,8 и 13,8 суток соответственно. Время фильтрационного оттока рассчитано для случая при использовании агротехнических мероприятий. При тех же коэффициентах фильтрации 0,1; 0,2 и 0,6 время оттока составило 119,7; 59 и 19,9 суток соответственно. Самым эффективным оказался способ с устройством колодцев-поглотителей, здесь время оттока равно 23,7; 13,1 и 4,7 суток.

**Вывод.** Для проведения комплексного исследования изменения уровня грунтовых и скорости их отвода с участка переувлажнения выполнен расчет с использованием математического аппарата и численного алгоритма проведения вычислительных экспериментов на ЭВМ. Предложенный математический аппарат может быть использован для мониторинга и прогнозирования оттока дренажных вод с целью принятия управленческих решений и рекомендаций по проектированию мелиоративных систем двойного регулирования в рассматриваемом регионе в зависимости от гидрологических и гидродинамических параметров.

Данные получены для условий без разработки комплексных мелиораций. На данном участке рекомендована разработка осушительно-оросительной системы для поддержания в постоянном режиме оптимально водно-воздушного режима почвы с требуемой влажностью.

Применяемый математический и численный аппарат позволяет значительно сократить объем натурных исследований и свести к минимуму экспериментальные работы. Модели и алгоритмы могут быть использованы для прогнозирования процесса фильтрации воды и изменения уровня воды в толще почвогрунта, а также поможет быстро подобрать наиболее оптимальный способ эффективного удаления избыточных дренажных вод с участка подтопления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Groundwater level management in a reclamation system / K. Kolesnichenko, A. Khadzhibi, A. Novikov, L. Kravchenko // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 113. P. 04016. DOI 10.1051/bioconf/202411304016.
2. Дмитриев С.И., Нечаев В.К. К вопросу о применимости уравнения диффузии для изучения явления влагопроводности в почвогрунтах // Тр. ЛГМИ, 1962. Вып.13. С. 247–265.

3. Калюжный И.Л., Павлова К.К. Экспериментальные исследования процесса водоотдачи почвы при различных скоростях изменения уровня грунтовых вод // Вопросы гидрофизики почв : труды ГГИ. Вып. 268 Л., 1980. С. 39–50.

4. Мокеев В.В. Многофакторный интеллектуальный динамический анализ систем // Управление инвестициями и инновациями. 2015. № 2. С. 18–27. EDN VPWNAX.

5. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / Пер. с англ. (1980). М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.

6. Патент № 2492292 С1 Российская Федерация, МПК E02B 3/02, E02B 3/04. Способ охраны земель прибрежных ландшафтов рек: № 2012101379/13: заявл. 16.01.2012: опубл. 10.09.2013 / Е.В. Кузнецов, Х.И. Килиди, А.Е. Хаджиди; заявитель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет».

7. Ященко К.В., Алхаттер С. Регулирование уровня грунтовых вод для охраны земель от подтопления и иссушения // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых, г. Краснодар, 24–26 ноября 2015 г. / Отв. за выпуск: А.Г. Кошаев. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2016. С. 908–909.

#### REFERENCES

1. Groundwater level management in a reclamation system / K. Kolesnichenko, A. Khadzhibi, A. Novikov, L. Kravchenko // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 113. P. 04016. DOI 10.1051/bioconf/202411304016.

2. Dmitriev S.I., Nechaev V.K. On the applicability of the diffusion equation for studying the phenomenon of moisture conduction in soils // Proc. of LSMI, 1962. LHMI, 1962. Issue 13. P. 247–265.

3. Kalyuzhny I.L., Pavlova K.K. Experimental studies of the soil water drainage process at different rates of groundwater level change // Problems of soil hydrophysics: proceedings of the State Geological Institute. Vyp. 268. L., 1980. С. 39–50.

4. Mokeev V.V. Multifactor intelligent dynamic analysis of systems // Investment and Innovation Management. 2015. № 2. С. 18–27. EDN VPWNAX.

5. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics. Per. s engl. (1980). М.: Energoatomizdat, 1984. 152 с.

6. Patent No. 2492292 C1 Russian Federation, МПК E02B 3/02, E02B 3/04. Method of land protection of coastal landscapes of rivers: No. 2012101379/13: avv. 16.01.2012: published 10.09.2013 / E.V. Kuznetsov, H.I. Kilidi, A.E. Khadzhibi ; applicant FSBEI of Higher Professional Education ‘Kuban State Agrarian University’.

7. Yashchenko K.V., Alkhatter S. Regulation of groundwater level to protect land from waterlogging and desiccation // Scientific support of agroindustrial complex: collection of articles on the materials of IX All-Russian conference of young scientists, Krasnodar, 24–26 November 2015 / Resp. for the issue: A.G. Koshaev. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2016. С. 908–909.

**Рябцев Павел Васильевич**, врио директора, *astramelio@yandex.ru* (ФГБУ «Управление «Астраханмелиоводхоз», г. Астрахань, Россия); **Колесниченко Кристина Вадимовна**, ст. преподаватель кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, *kris\_kolesnichenko@inbox.ru* (ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия).

# НАУЧНЫЕ УСТРЕМЛЕНИЯ: РАЗВИТИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ НА ОБЪЕКТАХ МЕЛИОРАЦИИ В ВОЛГО-ДОНСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ

**В.Н. ЩЕДРИН, Л.Н. МЕДВЕДЕВА, А.А. КУПРИЯНОВ, С.В. КУПРИЯНОВА**

**Ключевые слова:** водные ресурсы, аквакультура, рыбо-мелиоративный комплекс, технико-технологические решения, эффективность, предпринимательство.

**Keywords:** water resources, aquaculture, fisheries and land reclamation complex, technical and technological solutions, efficiency, entrepreneurship.

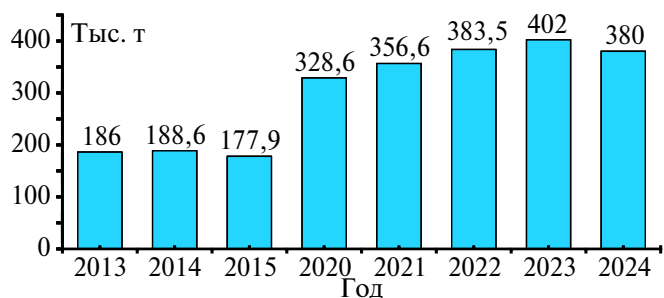
**Аннотация.** Представлены материалы, раскрывающие вопросы развития аквакультуры на объектах мелиоративного комплекса в зоне Волго-Донского междуречья. Обоснованы подходы к созданию компоновочно-конструктивных решений на оросительных системах, которые способствуют динамическому развитию прудового рыбоводства. Показано, что сложившиеся мощности оросительных систем в полной мере обеспечивают потребности сельского хозяйства в орошении, имеют неиспользованный потенциал по объему перекачиваемой воды, который можно реализовать в других отраслях народного хозяйства, например, в прудовом рыбоводстве. Целью исследования стало обоснование перспектив создания рыбо-мелиоративных комплексов на объектах мелиорации в зоне Волго-Донского междуречья. В число методов исследования вошли проектный и ситуационный. Новизна исследования заключается в разработке научных подходов в развитии прудового рыбоводства на объектах мелиорации; экономических мотиваторов по развитию аквакультурного предпринимательства; создании концепции рыбо-мелиоративного комплекса, включающего несколько проектных решений, в том числе: оросительно-рыбоводный комплекс на оросительных каналах; рыбоход-водосброс для прудов, питающихся от малых рек; приканальный нерестово-рыбоводный пруд; плавсредство с установленными приборами и программой для ЭВМ по оценке качества природной воды на основе цифровых технологий.

**Abstract.** The article presents materials that reveal the issues of aquaculture development at the objects of the melioration complex in the Volga-Don interfluve zone. The approaches to the creation of layout and design solutions for irrigation systems that contribute to the dynamic development of pond fish farming are substantiated. It is shown that the existing capacities of irrigation systems fully meet the needs of agriculture in irrigation, have untapped potential for the volume of pumped water, which can be realized in other sectors of the national economy, for example, in pond fish farming. The aim of the study was to substantiate the prospects for the creation of fish farming and melioration complexes at melioration sites in the Volga-Don interfluve zone. The research methods included design and situational. The novelty of the study lies in the development of scientific approaches to the development of pond fish farming at melioration sites; economic motivators for the development of aqua entrepreneurship; creation of a concept for

a fish farming and irrigation complex, including several design solutions, including: an irrigation and fish farming complex on irrigation canals; a fish ladder-spillway for ponds fed by small rivers; a canal spawning and fish farming pond; a floating craft with installed instruments and a computer program for assessing the quality of natural water based on digital technologies.

**Введение.** По данным ФАО, мировой вылов рыбных ресурсов находится в диапазоне 90...92 млн т, а производство аквакультуры держится на отметке 100 млн т в год ([https:// fishnet.fao.org](https://fishnet.fao.org)). В Российской Федерации темпы роста рыбоводства выше мировых, с 2019 по 2024 г. прирост составил 33 %, а вот доля аквакультуры в мировом производстве уже несколько лет держится на незначительном уровне – 0,4 %. В 2024 г. в стране добыто 4882,8 тыс. т рыбы и морепродуктов; коэффициент самообеспеченности этой продукцией, определенный Доктриной продовольственной безопасности (не менее 85 %), превышен и составляет 138,4 %. Необходимо отметить, что из года в год растет глобальное подушевое потребление рыбы и рыбопродуктов – 21,2 кг/год (рис. 1). Учеными отмечено, что с учетом темпов прироста мирового населения (1 % в год), производство рыбопродуктов должно увеличиваться ежегодно на 4 млн т в год, что потребует поиска новых источников знаний и принятия инновационных решений (рис. 2).

Согласно Федеральному закону от 02.07.2013 № 148-ФЗ под аквакультурой (от лат. aqua – вода и лат. cultura – возделывание) понимается деятельность, связанная с разведением, содержанием, выращиванием биологических организмов в естественных и искусственных водоемах с уче-



**Рис. 1. Производство аквакультуры в Российской Федерации** (Источник: Федеральная служба государственной статистики, Рыбный союз)

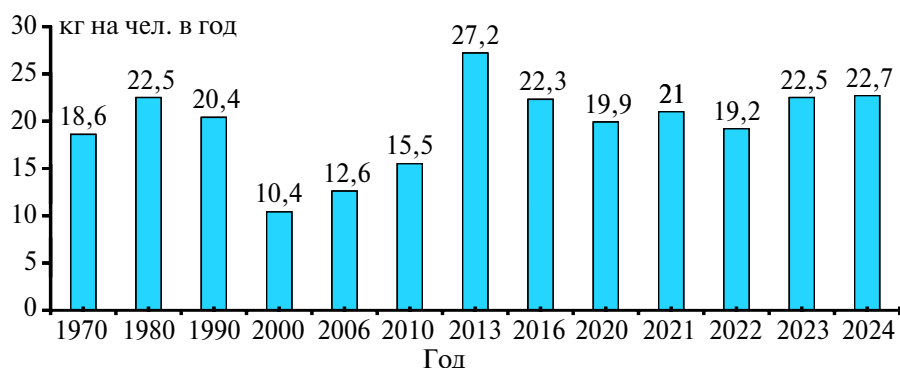


Рис. 2. Потребление рыбы и рыбопродуктов в Российской Федерации (Источник: Федеральная служба государственной статистики, Рыбный союз)

том меняющейся линейки питания населения и возрастающих требований по экологии.

В числе основных форм аквакультурного предпринимательства: пастбищная, прудовая, индустриальная и рекреационная. К области перспективных исследований можно отнести: биосферный и аналитический мониторинг, автоматизация большинства производственных процессов, создание цифровых платформ по прудовому рыбоводству, выведение новых пород и гибридов рыб, организация отечественного производства сбалансированных кормов на местном сырье [1]. Определенную роль в интенсификации аквакультурного предпринимательства может сыграть Волго-Донское междуречье с расположенными здесь природными водоемами и мелиоративными объектами [4]. Расположенные в степной зоне междуречья большие оросительные системы, хотя и имеют значительную степень износа (до 65%), в полной мере удовлетворяют запросы сельского хозяйства в водных ресурсах и имеют неиспользованный потенциал [3, 14]. Для повышения эффективности мелиоративного комплекса в составе национальной экономики группой ученых нескольких НИИ под руководством академика РАН, д.т.н. В.Н. Щедрина ведутся исследования, позволяющие использовать объекты мелиорации в развитии товарной аквакультуры на основе комплексно-технических проектов, приборной базы, экономических мотиваторов, биосферного мониторинга (ст. 44 № 166-ФЗ от 20.12.2004 «О рыболовстве и сохранении водных ресурсов») [12–14].

**Цель исследования** — обоснование перспектив создания рыбоводно-мелиоративных комплексов на объектах мелиорации в зоне Волго-Донского междуречья.

**Материалы и методы.** В план исследовательских мероприятий по выбранной теме включены: изучение теоретических вопросов, организация полевых наблюдений, проведение биосферного

мониторинга и биоремедиации. В перечень полевых исследований включены мелиоративные объекты, залив Волгоградского водохранилища, рыбоводные пруды ООО «Прибой». В плане мероприятий:

- гидростатическое нивелирование рыбоводного пруда и залива Волгоградского водохранилища с помощью эхолотно-го комплекса;
- визуальное описание экологического состояния рыбоводного пруда и залива Волгоградского водохранилища;
- фотографирование и 3D-моделирование залива Волгоградского водохранилища, оросительных каналов Среднеахтубинской системы, находящейся на балансе ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».

В состав мониторинго-аналитического блока включены:

- картографический метод, обеспечивающий построение батиметрических карт водоемов;
- графический метод построения профили рыбохозяйственных прудов и залива Волгоградского водохранилища;
- гидрохимический метод, отражающий содержание в водоемах минеральных солей, ионов железа, фосфора, кислорода, pH, температуры;
- экономико-математический инструментальный с разработкой прогнозных значений по развитию аквакультурного предпринимательства.

В результате экспедиционно-аналитических работ 2023–2025 гг. получены:

- карта рельефа залива Сухая балка Волгоградского водохранилища;
- презентационные материалы с проектными решениями по использованию объектов мелиорации в развитии аквакультуры.

Объектом исследования выбрана область Волго-Донского междуречья с несколькими геоморфологическими областями: Приволжской и Ергенинской возвышенности, долинами Волги и Дона. Визуальный анализ космических снимков указывает на значительное число водных объектов, земельных ресурсов, участвующих в сельскохозяйственном производстве. Общая площадь водных ресурсов Волго-Донского междуречья составляет 486,6 тыс. га, в том числе под природными водоемами — 361,8 тыс. га; оросительными каналами — 24,5 тыс. га (табл. 1, 2) [10].

На территории междуречья располагаются 18 государственных оросительных и ороситель-

Таблица 1

Потенциал малых рек Волго-Донского междуречья, 2023 г.

Водный объект	Протяжен- ность в междуречье	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Ресурсы речных вод ( $p=95\%$ )	
			Сток, км <sup>3</sup>	Расход, м <sup>3</sup> /с
<b>Бассейн р. Дона</b>				
Хопер (приток Дона)	310	61100	1,180	3740
Медведица (приток Дона)	400	34700	0,78	24,70
Бузулук (приток Хопра)	314	9510	0,13	4,10
Иловля (приток Дона)	350	9250	0,118	3,70
Терса (приток Медведицы)	135	8810	0,116	3,70
Чир (водохранилище)	54	9580	0,072	2,20
Карамыш (приток Медведицы)	147	3380	0,051	1,61
Кардаил (приток Бузулука)	128	1920	0,044	1,40
Елань (приток Терсы)	37	2120	0,033	1,03
Арчеда (приток Медведицы)	167	2050	0,032	1,00
<b>Бассейн р. Волга</b>				
Еруслан	130	5570	0,050	1,50

Источник: материалы Нижне-Волжского бассейнового управления.

Таблица 2

Потенциал водохранилищ  
Волго-Донского междуречья, 2023 г.

Водный объект	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Объем, млн м <sup>3</sup>
Волгоградское вдхр.	1905,0	24,09 км <sup>3</sup>
Цимлянское вдхр.	2702,0	23,86 км <sup>3</sup>
Карповское вдхр.	42,0	155,0
Варваровское вдхр.	16,0	124,0
Береславское вдхр.	14,0	48,0
Краснооктябрьское вдхр.	1,31	4,5
Рудиковское вдхр.		0,85
Вдхр. 1, балка Блинникова		0,85
Вдхр. 2, балка Блинникова		3,0

Источник: данные С. Мусаелян, В. Мелихов.

но-обводнительных систем с проектной мощностью – 255,2 тыс. га (фактически поливается – 78,84 тыс. га), находящиеся в ведении ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» (табл. 3) [11].

Действующий в пределах Волго-Донского междуречья мелиоративный комплекс Волгоградской области, в силу субъективных и объективных причин, располагает избыточными возможностями для транспортировки водных ресурсов, а находящиеся рядом с оросительными каналами малые водотоки испытывают дефицит водных ресурсов, что не позволяет использовать их в полном объеме для развития прудовой аквакультуры. Объединение водно-

го и мелиоративного потенциалов территории в *рыбоводно-мелиоративный комплекс* позволит получить мультипликационный эффект, обеспечить дальнейшее развитие национальной экономики. Проектируемые объекты рыбо-водно-мелиоративного комплекса будут удовлетворять основным жизненным потребностям рыб и зоопланктона: обеспечат заход мигрирующих рыб в рыбоводно-мелиоративные объекты для нереста и развития и качество природной воды по температурному, кислородному и органоми-неральным показателям. Неотъемлемым условием станет разработа-ка экономических государственно-частных мотиваторов, в числе которых: субсидии, гранты, дота-ции, инвестиционные кредиты [13].

В состав рыбо-водно-мелиоративного комплекса могут войти: отдельные части магистральных и оросительных каналов, малые водотоки, рыбоходные сооружения, искусственные нерестилища для фитофильных и литофильных видов рыб, водовыпускные сооружения для обводнения природного водотока, гидротехническая инфраструктура (водовыпуски, водовпуски, рыбоспуски, регуляторы уровня воды) [5–9].

**Результаты и обсуждение.** Формирование точек роста и стимулирование регионального пред-принимательства неотъемлемая часть национальной политики. В свое время поиск потенциалов для ускоренного роста производств в пределах одной территориально-экономической системы был частью мировых исследований. Ученые Ж.

Таблица 3

Состояние оросительных систем Волгоградской области, 2023 г.

Оросительная система	Проектная пло- щадь обслужи- вания, тыс. га	Фактически поливается, тыс. га	Степень износа, %
Заволжская	23,300	9,769	85,0
Светлоярская	11,700	3,993	91,0
Палласовская	19,400	1,582	91,0
Большая Волгоградская	22,200	3,307	98,0
Волго-Ахтубинская	1,626	0	60,0
Ленинская	9,300	0,791	53,0
Городищенская	27,000	11,813	81,0

Источник: данные ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».

Будвиль (1988) и П. Кругман (2005) обосновали «полюса интеграции» для проблемных регионов на основе взаимодействия отраслевых балансов, притока инвестиций. Появилась возможность увеличивать масштабы производства за счет сетевого взаимодействия и предпринимательской инициативы. Российские ученые (Иншаков, Медведева, 2013) убедительно показали необходимость унификации концептуальных подходов при формировании пространственного развития территорий на основе выстраивания «вертикальных и горизонтальных связей» между отраслями. На наш взгляд, мультипликативный эффект можно получить от использования потенциалов мелиоративной инфраструктуры и рыбохозяйственной отрасли. Разработанные в ходе исследования проектные решения по развитию аквакультуры на объектах мелиорации, учитывают строение входных оголовков рыбоходов, размещенных в нижних бьефах гидроузлов; конструкции рыбоходов с рыбо-направляющими устройствами для оптимального прохода рыб; водные режимы в трактах рыбоходов, позволяющие рыбам самостоятельно перемещаться из нижнего бьефа в верхний. В условиях значительного зарегулирования водного стока для воспроизводства рыбных запасов очень остро стоит вопрос – создание *искусственных нерестилищ*. Для этих целей могут использоваться малые реки, заливы водохранилищ, пойменные участки речных бассейнов. Создаваемые искусственные нерестилища могут быть нескольких типов: нерестовые каналы, устраиваемые преимущественно для нереста литофильных видов рыб; прудково-канальные нерестилища; садковые нерестилища на заливах. Основные требования, предъявляемые к искусственным нерестилищам, сводятся к необходимости учета качества природной воды, биологических особенностей рыб, климатических

изменений. Проект оросительно-обводнительного канала для развития аквакультуры по патенту № 2691440 РФ представлен в [9].

Конструктивно-технологическое решение по созданию приканального нерестово-рыбоводного бассейна по патенту № 2018110025 РФ представлено в [5].

Для обоснования перспектив использования Волгоградского водохранилища в развитии аквакультуры проведены исследования залива Сухая балка, построена карта глубин и 3D-модель.

Биосферно-аналитический мониторинг профиля «водосбор–водоем» залива Сухая балка позволил обосновать модель экологического пруда с оптимальными параметрами для выращивания карповых пород рыб и провести испытание опытного прибора с программой для ЭВМ, передающей информацию на дисплей в онлайн режиме, по содержанию кислорода в заливе (17 июля 2025 г. – 7,3 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) [6]. В табл. 4 представлены контролируемые значения для рыбоводного пруда.

**Научная новизна** заключается в разработке научных подходов в развитии аквакультуры на объектах мелиорации; создании концепции рыбоводно-мелиоративного комплекса с проектными компоновочно-техническими решениями: оросительно-рыбоводный комплекс на базе канала; рыбоход – водосброс для рыбоводных прудов; приканальный нерестово-рыбоводный бассейн; разработке приборной базы и программ для ЭВМ в повышении автоматизации аквакультурного предпринимательства.

**Заключение.** Оценка состояния мелиоративного комплекса страны предопределяет необходимость концептуальных решений по повышению комплексности водопользования, использованию ресурсного потенциала в развитии аквакультуры. Для различных типов агроландшафтов и хозяйственно-экономических региональных систем предлагаются различные проектные решения, обеспечивающие функционирование рыбоводно-мелиоративного комплекса в оптимальном диапазоне: оросительно-рыбоводный комплекс на базе канала; рыбоход – водосброс для рыбоводных прудов; приканальный нерестово-рыбоводный бассейн, а также использование информационных технологий и экономических мотиваторов, повышающих эффективность рыбоводных хозяйств и ФГБУ «Управление мелиоводхоз». Вопросы функционирования рыбоводно-мелиоративного комплекса еще до конца не исследованы, нет и широкой практики применения в Российской Федерации, что обосновывает актуальность дальнейших исследований.

Таблица 4

**Оптимальные значения экосистемы рыбоводного пруда в зоне Волго-Донского междуречья**

Показатель	Значение
Возвешенные вещества, мг/л	До 25
Водородный показатель рН	6,5...8,5
Кислород, мг/л	Не менее 5
Диоксид углерода, мг/л	До 25
Сероводород, мг/л	Нет
Окисляемость перманганатная, мг/л	До 15
Азот аммонийный, мг/л	До 1,5
Нитриты, мг/л	До 0,05
Нитраты, мг/л	До 2
Железо общее, мг/л	До 2
Жесткость общая, мг·эquiv./л	2...6

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков А.Д., Бражник С.Ю. К вопросу оценки эффективности проведения работ по рыбохозяйственной мелиорации во внутренних водоемах России // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021. № 8(187). С. 8–20.

2. Гайдай Р.Р. Автоматизация процессов в аквакультуре на основе искусственного интеллекта // Развитие и современные проблемы аквакультуры: материалы конференции «Аквакультура 2024» / Ред. кол. Б.Ч. Месхи [и др.]. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2024. С. 77–81.

3. Гурина И.В. Стратегическая платформа преобразований в агропромышленном комплексе в условиях меняющейся внешней среды // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Курган, 2022. С. 141–144.

4. Оценка влияния рыбохозяйственной мелиорации на среду обитания водных биоресурсов Цимлянского водохранилища / О.А. Прошкина, И.А. Андреева, А.А. Каширина, В.А. Чухнин. М.: ФГБНУ ВНИРО, 2023. С. 65–69.

5. Пат. № 2018110025, Российская Федерация, МПК А01К 61/00. Оросительно-рыбоводный комплекс на базе канала и малой реки / Щедрин В.Н., Шкура В.Н., Баев О.А., Гарбуз А.Ю.; ФГБНУ «РосНИИПМ». Оpubл. 21.03.2018.

6. Пат. № 215787, Российская Федерация. Плавсредство для мониторинга природных и искусственных водоемов / Новиков А.Е., Мелихов В.В., Медведева Л.Н. [и др.]; ФГБНУ ВНИРО. Оpubл. 21.10.2022.

7. Пат. № 2646918, Российская Федерация, МПК А01К 61/00. Приканальный бассейн для аквакультуры / Щедрин В.Н., Баев О.А., Гарбуз А.Ю. [и др.]; ФГБНУ «РосНИИПМ». Оpubл. 12.03.2018, Бюл. № 8. 10 с.

8. Пат. № 2647322, Российская Федерация, МПК Е02В 13/00. Устройство для обводнения элементов гидрографической сети из каналов / Щедрин В.Н., Баев О.А., Гарбуз А.Ю., Шкура В.Н.; ФГБНУ «РосНИИПМ». Оpubл. 15.03.2018. Бюл. № 8. 9 с.

9. Пат. RU 2691440 С1. Рыбоводный бассейн с рассредоточенной системой водного питания / Щедрин В.Н., Шкура В.Н., Баев О.А., Гарбуз А.Ю.; ФГБНУ «РосНИИПМ». Оpubл. 07.06.2018.

10. Проблема развития аквакультуры в Волго-Каспийском районе / В.В. Мелихов, А.Г. Болотин, М.В. Фролова [и др.] // Формирование и развитие сельскохозяйственной науки в XXI веке. 2016. С. 230–235.

11. ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vlgmelio.ru> (дата обращения: 21.07.2025).

12. Шкура В.Н., Шевченко А.В. Рыбоводно-мелиоративный комплекс для икhtiологических мелиораций и ведения рыбоводства в эвтрофных водоемах (на примере Веселовского водохранилища на реке Западный Маныч) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021. № 7(186). С. 68–79.

13. Щедрин В.Н., Шкура В.Н., Баев О.А. Рыбоводный комплекс на базе оросительного канала и малой реки // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 4. С. 38–43.

14. Экономико-математическая модель оценки государственных программ развития мелиорации в субъектах Южного федерального округа / Ю.И. Сизов, Л.Н. Медведева, А.С. Плотников, Ю.Г. Оноприенко // Научные труды Вольного экономического общества России. 2020. Т. 223. С. 478–487.

REFERENCES

1. Bykov A.D., Brazhnik S.Yu. On the issue of assessing the effectiveness of fisheries melioration work in inland waters of Russia // Fish farming and fish industry. 2021. No. 8(187). Pp. 8–20.

2. Gaidai R.R. Automation of processes in aquaculture based on artificial intelligence // Development and modern problems of aquaculture. Conference Aquaculture 2024 / ed. board B.Ch. Meskhi [et al.]. Rostov-on-Don: DSTU, 2024. Pp. 77–81.

3. Gurina I.V. Strategic platform for transformations in the agro-industrial complex in the context of a changing external environment // Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. Kurgan, 2022. Pp. 141–144.

4. Assessment of the impact of fishery melioration on the habitat of aquatic bioresources of the Tsimlyansk Reservoir / O.A. Proshkina, I.A. Andreeva, A.A. Kashirina, V.A. Chukhnin // M.: FGBNU VNIRO, 2023. Pp. 65–69.

5. Patent No. 2018110025, Russian Federation, IPC A01K 61/00. Irrigation and fish farming complex based on a canal and a small river / Shchedrin V.N., Shkura V.N., Baev O.A., Garbuz A.Yu.; FGBNU «RosNIIPM». Published 21.03.2018.

6. Patent No. 215787, Russian Federation. Floating craft for monitoring natural and artificial reservoirs / Novikov A.E., Melikhov V.V., Medvedeva L.N. [et al.]; FGBNU VNIRO. Published 21.10.2022.

7. Patent No. 2646918, Russian Federation, IPC A01K 61/00. Canal basin for aquaculture / Shchedrin V.N., Baev O.A., Garbuz A.Yu. [et al.]; FGBNU «RosNIIPM». Published 12.03.2018, Bulletin No. 8. 10 p.

8. Patent No. 2647322, Russian Federation, IPC E02B 13/00. Device for flooding elements of the hydrographic network from canals / Shchedrin V.N. Baev O.A., Garbuz A.Yu., Shkura V.N.; RosNIIPM. Published 15.03.2018. Bulletin No. 8. 9 p.

9. Patent RU 2691440 C1. Fish-breeding pool with a distributed water supply system / Shchedrin V.N., Shkura V.N., Baev O.A., Garbuz A.Yu.; RosNIIPM. Published 07.06.2018.

10. The problem of aquaculture development in the Volga-Caspian region / V.V. Melikhov, A.G. Bolotin, M.V. Frolova [et al.] // Formation and development of agricultural science in the 21st century. 2016. Pp. 230–235.

11. Federal State Budgetary Institution «Volgogradmeliovodkhoz Administration» [Electronic resource]. URL: <https://www.vlgmelio.ru> (date of access: 21.07. 2025).

12. Shkura V.N., Shevchenko A.V. Fish-breeding and melioration complex for ichthyological melioration and fish farming in eutrophic reservoirs (on the example of the Veselovsky reservoir on the Zapadny Mаныч River) // Fish farming and fish industry. 2021. No. 7(186). Pp. 68–79.

13. Shchedrin V.N., Shkura V.N., Baev O.A. Fish-breeding complex based on an irrigation canal and a small river // Land reclamation and water management. 2018. No. 4. Pp. 38–43.

14. Economic and mathematical model for assessing state programs for the development of land reclamation in the constituent entities of the Southern Federal District / Yu.I. Sizov, L.N. Medvedeva, A.S. Plotnikov, Yu.G. Onoprienko // Scientific works of the Free Economic Society of Russia. 2020. Vol. 223. Pp. 478–487.

**Щедрин Вячеслав Николаевич**, академик РАН, доктор техн. наук, гл. науч. сотрудник, ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» (г. Новочеркасск, Россия); **Медведева Людмила Николаевна**, доктор экон. наук, вед. науч. сотрудник, [milena.medvedeva2012@yandex.ru](mailto:milena.medvedeva2012@yandex.ru), ORCID: 0000-0002-3650-2083; **Куприянов Андрей Александрович**, мл. научный сотрудник, [kupriyanov19967@gmail.com](mailto:kupriyanov19967@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5129-3497 (ВНИИ орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», (г. Волгоград, Россия); **Куприянова Светлана Вячеславовна**, канд. с.-х. наук.

## РОЛЬ ДРЕНАЖА В РЕГУЛИРОВАНИИ ВОДООБМЕНА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

Т.У. КУДРАТОВ, М.А. ЯКУБОВ

**Ключевые слова:** дренаж, водно-солевой баланс, дренажные воды, уровень грунтовых вод.

**Keywords:** drainage, water-salt balance, drainage water, groundwater level.

**Аннотация.** В условиях аридного климата для регулирования солевого режима орошаемых земель успешное применение обретает горизонтальный, вертикальный или комбинированный дренаж. В статье приводится расчет водно-солевого баланса на староорошаемых землях Бухарской области в Узбекистане. Приведен график зависимости коллекторно-дренажного стока от водозабора по Бухарской области. Рекомендованы разработки и внедрение современных водосберегающих способов полива и передовых малозатратных технологий очистки и обессоливания слабоминерализованных коллекторно-дренажных вод с последующим повторным использованием на орошение.

**Abstract.** In arid climate conditions, horizontal, vertical or combined drainage finds successful application in regulating the salt regime of irrigated lands. The article presents the calculation of water-salt balance on the old irrigated lands of Bukhara region in Uzbekistan. The graph of the dependence of collector-drainage flow on water intake in Bukhara region is given. The development and implementation of modern water-saving irrigation methods and advanced low-cost technologies for the purification and desalination of low-mineralized collector-drainage waters with subsequent reuse for irrigation were recommended.

**Введение.** В условиях аридного климата орошаемое земледелие на засоленных или подверженных засолению землях имеет специфические особенности, связанные с необходимостью регулирования, наряду с водным, солевого режима почв. При недостаточности естественного увлажнения требуется дополнительный объем воды для компенсации суммарного испарения сельскохозяйственных культур. Подача воды из поверхностных источников на орошение связана с неизбежными потерями на фильтрацию из каналов и оросительной сети, технологическими сбросами с поля при проведении поливов и инфильтрации непосредственно на орошаемом поле за счет перетока воды из почвенного слоя в грунтовые воды. Дополнительное питание нарушает устойчивость природной гидрогеологической системы, что вызывает подъем уровня грунтовых вод, а это, в свою очередь, приводит к увеличению испарения и перетоку солей из нижележащих слоев в почвенный горизонт.

Для стабилизации гидрогеологической системы и поддержания уровня грунтовых вод на глубине, препятствующей интенсивному испарению, которая в мелиоративной практике определяется как критическая или допустимая, необходимо из водооборота изымать некоторый объем воды и солей и транспортировать их за пределы орошаемого массива. Таким средством является искусственный мелиоративный дренаж в случае недостаточности естественной дренированности. В настоящее время практически во всех странах мира в условиях аридного климата успешно применяется горизонтальный, вертикальный или комбинированный дренаж для регулирования солевого режима орошаемых земель. Обоснованию дренажа на орошаемых землях посвящены многочисленные труды российских и зарубежных ученых (В.А. Ковда, J.N. Luthin, G.S. Hoffman, С.Ф. Аверьянов, И.П. Айдаров, Н.Н. Ходжибаев, Н.М. Решеткина, Х.И. Якубов, Н.Г. Минашина, Л.В. Кирейчева и многих других), в которых использованы методы балансовых расчетов для количественной оценки приходных и расходных статей и их соотношении при обосновании дренажа [1–6].

Во многих странах дренаж стал неотъемлемой частью оросительной системы, обеспечивающий регулирование водно-солевого режима почв. В условиях близко залегающих к поверхности грунтовых вод, создается полугидроморфный, благоприятный для растений мелиоративной режим, обеспечивающий нисходящие тока за счет подачи дополнительной промывной части оросительной нормы. При нарушении работы дренажа происходит подъем грунтовых вод и трансформация мелиоративного режима в гидроморфный, приводящий к вторичному засолению почв. Это приводит к снижению урожайности хлопчатника: при слабом засолении на 20... 30 %, умеренном – на 40...60 %, на сильно засоленных землях – от 80 % до полной гибели растений. Поэтому важнейшей задачей является мониторинг мелиоративного состояния орошаемых земель и комплексный подход для назначения необходимых мероприятий. Цель настоящих исследований – оценить современное мелиоративное состояние длительно орошаемого массива, выявить роль дренажа в его формировании и дать рекомендации.

**Объект и методы исследований.** Исследования проводились на староорошаемых землях Бухарской области Узбекистана на основе детального анализа водного и солевого балансов орошаемой территории. В качестве исходных материалов применялись многолетние данные эксплуатационных служб Минводхоза Республики Узбекистан, мелиоративной экспедиции Бухарской области. Расчеты и их интерпретация выполнена авторами с использованием полевых исследований.

Уравнение общего водного баланса имеет вид (по С.Ф. Аверьянову) [1]:

$$\Delta W = \Pi_{\text{п}} - \text{O}_{\text{п}} + \Pi_{\text{г}} - \text{O}_{\text{г}} + \text{ОР}^{\text{Бр}} + \text{Ас} - \text{Е} \pm p,$$

где  $\Delta W$  – суммарное изменение запасов влаги в границах рассматриваемой территории;  $\Pi_{\text{п}}$ ,  $\text{O}_{\text{п}}$  – поверхностные приток и отток соответственно;  $\Pi_{\text{г}}$ ,  $\text{O}_{\text{г}}$  – приток и отток грунтовых вод;  $\text{ОР}^{\text{Бр}}$  – оросительная норма брутто;  $\text{Ас}$  – атмосферные осадки;  $\text{Е}$  – суммарное испарение;  $p$  – водообмен с подземными водами.

$$\text{ОР}^{\text{Бр}} = \text{Ор} + \Delta \text{Ор} + \Phi_{\text{к}} + \text{И}_{\text{к}},$$

где  $\text{Ор}$  – оросительная норма, идущая на покрытие водопотребления;  $\Delta \text{Ор}$  – объем промывной части оросительной нормы;  $\Phi_{\text{к}}$  – фильтрационные потери;  $\text{И}_{\text{к}}$  – испарение с водной поверхности каналов.

Баланс почвенных вод:

$$\Delta W_{\text{почв}} = \Pi_{\text{п}} - \text{O}_{\text{п}} + \text{ОР}^{\text{Бр}} + \text{Ас} - \text{Е} - q - \Phi_{\text{к}},$$

где  $q$  – переток из почвенных в грунтовые воды:

$$q = \alpha \text{Ас} + \Delta \text{Ор} - \text{Гр},$$

где  $\alpha$  – доля осадков, идущая на питание грунтовых вод;  $\text{Гр}$  – подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами.

Баланс грунтовых вод:

$$\Delta W_{\text{г}} = \Pi_{\text{г}} - \text{O}_{\text{г}} + \Phi_{\text{к}} + q - \text{Др},$$

где  $\text{Др}$  – сброс воды по коллекторно-дренажной сети за пределы территории.

В Узбекистане, как и во всем среднеазиатском регионе, установлена эмпирическая связь между испарением с водной поверхности (испаряемости) и фактическим расходом влаги хлопчатника, для легкосуглинистых и среднесуглинистых почв, полученная на основе обобщения фактических данных:

$$E = E_0 \cdot 1,58 / 31,62,$$

где  $E$  – среднемесячные значения эвапотранспирации (суммарного испарения), мм  $E_0$  – среднемесячные значения испаряемости по Иванову с поправкой Молчанова.

Формула может быть упрощена для среднемесячных значений до следующего вида:

$$E = K_{\text{к}} E_0,$$

где  $K_{\text{к}}$  – коэффициент культуры для среднемесячных значений.

Среднемесячные значения испарения с водной поверхности:

$$E_0 = 0,00144(25 + t)(100 - a),$$

где  $t$  – среднемесячная температура, °С;  $a$  – среднемесячная относительная влажность воздуха, %.

Данная формула не учитывает радиационный баланс, ветровой режим, внутримесячные колебания других метеорологических параметров, однако для многих районов показывает достаточно высокую точность при сопоставлении многолетних опытных данных по водному и тепловому балансу.

В современных условиях для оценки среднемесячных значений эвапотранспирации рекомендуется использовать метод Пенмана-Монтейна, а также уравнение аэродинамики и сопротивление кроны по зависимости:

$$ET_0 = \frac{0,408(R_{\text{п}} - G) + Y \frac{900}{T + 273} I_2(e_s - E_a)}{\Delta + Y(1 + 0,34I_2)},$$

где  $ET_0$  – эталонная эвапотранспирация, мм/сут;  $R_{\text{п}}$  – чистая радиация на поверхности растений, МДж  $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ;  $G$  – плотность теплового потока в почве МДж  $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ;  $Y$  – психрометрическая постоянная ( $\text{кПа} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $T$  – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м, °С;  $I_2$  – скорость ветра на высоте 2 м, м/с;  $e_s$  – давление пара насыщения, кПа;  $E_a$  – фактическое давление пара, кПа;  $(e_s - E_a)$  – дефицит давления пара насыщения, кПа;  $\Delta$  – градиент кривой давления пара,  $\text{кПа} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Расчет эвапотранспирации сельскохозяйственных культур производится по зависимости:

$$ET_c = K_c ET_0,$$

где  $ET_c$  – эвапотранспирация культуры;  $K_c$  – коэффициент культуры.

Коэффициенты культуры по фазам развития хлопчатника по месяцам составляют: в апреле – 0,31; в мае – 0,57; июне – 0,91; июле – 1,54; августе – 1,21; сентябре – 1,21; октябре – 0,57.

Представленные в таком виде балансовые уравнения позволяют оценить роль дренажа в регулировании водообмена и качественное влияние соответствующих водных балансов на солевые.

Солевые балансы, соответствующие водным, имеют вид:

• баланс солей зоны аэрации:

$$\Delta S_a = S_{\text{Пп}} - S_{\text{Оп}} + S_{\text{Ор}}^{\text{Бр}} + S_{\text{Ас}} - S_{\text{Др}} - S_q - S_{\text{Фк}};$$

• баланс солей грунтовых вод:

$$\Delta S_g = S_{\text{Пг}} - S_{\text{Ог}} + S_{\text{Фк}} + S_q \pm S_p - S_{\text{Др}} \pm S_{\text{Д}},$$

где  $\Delta S_a$ ,  $\Delta S_g$  – суммарное изменение запасов солей в границах рассматриваемой территории;  $S_{\text{Пп}}$ ,  $S_{\text{Оп}}$  – поступление и вынос солей с поверхностными водами;  $S_{\text{Пг}}$ ,  $S_{\text{Ог}}$  – то же с грунтовыми водами;  $S_{\text{Ор}}^{\text{Бр}}$  – поступление солей с оросительной водой;  $S_{\text{Ас}}$  – поступление солей с осадками;  $S_{\text{Др}}$  – вынос солей с дренажными водами;  $S_{\text{Фк}}$  – вынос солей из зоны аэрации фильтрационными потерями из каналов (поступление солей в грунтовые воды);  $S_p$  – поступление и вынос солей при вертикальном обмене с подземными водами;

$S_D$  – перенос солей за счет диффузии;  $S_q$  – поступление и вынос солей при вертикальном водообмене между почвенными и грунтовыми водами:

$$S_q = S_{\Delta Ac} + S_{\Delta Op} - S_{Gr}$$

где  $S_{\Delta Ac}$  – поступление солей с долей осадков, идущей на питание грунтовых вод, обогащенных солями зоны аэрации;  $S_{\Delta Op}$  – поступление солей в грунтовые воды с объемом оросительной воды, идущей на поддержание необходимого солевого режима, т. е. обогащенных солями зоны аэрации;  $S_{Gr}$  – поступление солей в зону аэрации за счет подпитывания из грунтовых вод.

Таким образом, формирование и поддержание благоприятного мелиоративного режима на засоленных землях обеспечивается выносом с дренажными водами некоторого количества солей за пределы орошаемого массива.

**Результаты и обсуждение.** Бухарская область Республики Узбекистан имеет многолетнюю историю орошаемого земледелия, основной орошаемой культурой является хлопчатник. За длительный период на орошаемых землях сформировался водозатратный полугидроморфный мелиоративный режим, который позволяет поддерживать земли в благоприятном состоянии и получать достаточно высокие урожаи хлопчатника. Основным источником воды для орошения является р. Амударья. Водозабор на орошение с 1976 по 2020 г. примерно составлял 4200...4800 млн м<sup>3</sup>. Наибольший водозабор на орошение наблюдался в 1981–1990 гг. и составлял 5830...5410 млн м<sup>3</sup>. Начиная с 2020 г. водозабор значительно сократился и за последние годы из всех источников в области ежегодно составил 3585...3597 млн м<sup>3</sup> (табл. 1, составлено авторами по материалам областной мелиоративной экспедиции).

Наблюдается значительный сток коллекторно-дренажных вод. Установлена зависимость дренажного стока от водозабора по Бухарской области (рис. 1), из которой видно, что водообмен на орошаемых землях составляет примерно 50 %.

В настоящее время (2022–2023 гг.) в Бухарской области орошается примерно 280 тыс. га, водозабор составляет 3597,5...3585,7 соответственно, при этом средневзвешенная норма брутто составляет около 13 тыс. га, из которой около половины нормы воды уходит на создание промывного режима орошения.

В связи с прогрессирующей технической неисправностью, существующей коллекторно-дренажной системой объем коллекторно-дренажного стока уменьшился и в 2023 г. составил 1474 млн м<sup>3</sup> или 40 % от водоподачи, при этом проявляются очаги вторичного засоления орошаемых почв. Минерализация оросительных вод изменяется в широких пределах: ее средняя величина по водозабору из источника составляет 0,910 г/л по плотному остатку и от 0,13 до 0,15 г/л по иону хлора (за 2023 г.). В отдельных районах минерализация оросительных вод повышена: в Шафирканском районе она равна 1,160...1,393 г/л, в Гиждуванском районе изменяется от 1,354 до 1,36 г/л.

При оценке почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель особое внимание уделялось содержанию солей (%) и их запасам (т/га) в пахотном (0...30 см) и корнеобитаемом (0...1 м) слое почвы [6, 7]. Водно-солевые балансы на территории складываются в соответствии с притоком и оттоком солей и соотношением приходных и расходных элементов. При указанных

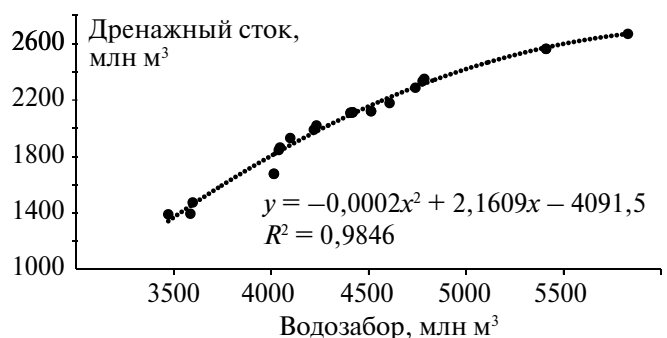


Рис. 1. Зависимость коллекторно-дренажного стока от водозабора

Таблица 1

Изменение водно-солевых балансов орошаемых земель за 2022–2023 гг.

Область и районы	Год	Орошаемая площадь, тыс. га	Приход			Расход			Баланс солей	
			Водозабор, млн м <sup>3</sup>	Минерализация воды, г/л	Поступление солей, тыс. т	Сток дренажных вод, млн м <sup>3</sup>	Минерализация КДВ, г/л	Вынос солей, тыс. т	Уменьшение (–), увеличение (+), тыс. т	Удельная величина, т/га
Бухарская	2022	276,3	3597,5	0,920	3308,0	1677,0	3,103	5204,4	–1896,3	–6,86
	2023	280,2	3585,7	0,918	3293,5	1474,0	3,435	5063,0	–1769,7	–6,4
Шафирканский	2022	28,3	373,4	1,393	520,1	129,3	2,89	373,7	+145,3	+5,13
	2023	28,4	365,6	1,158	423,4	66,8	3,04	203,4	+219,9	+7,75
Гиждуванский	2022	27,0	342,5	1,354	463,8	109,7	2,49	274,1	+189,8	+7,03
	2023	27,4	335,3	1,360	456,0	105,0	2,68	281,4	–174,6	+6,37

выше размерах водозаборов и их минерализации на орошаемые земли поступает до 3308 тыс. т. солей в год. Величина солеотведения за пределы орошаемых земель с помощью дренажных систем составляет около 5204,4 тыс. т. Разность между притоком и оттоком солей по всей области складывается небольшим выносом в пределах 5,1...6,3 т/га в год (см. табл. 1).

В отдельных районах, где минерализация оросительных вод повышенная (до 1,36...1,39 г/л), разность между поступлением и выносом солей складывается по типу накопления солей: в Шарфирканском районе накопление солей составляет 5,1...7,8 т/га в год, в Гиждуванском районе, где минерализация оросительных вод повышенная (1,35...1,36 г/л), происходит накопление солей от 6,37 до 7,03 т/га в год. В отдельные годы в этих районах по солевому балансу происходит накопление от 12,9 до 17,6 т/га в год [7].

Направленность водного и солевого баланса отражается на процессах засоления почвенного слоя: по данным мелиоративной экспедиции орошаемые земли Бухарской области на 85 % площади подвержены засолению (около 234,2 тыс. га). Большая часть относится к слабозасоленному типу, которые составляют 172,6 тыс. га (62,8 %), средnezасоленные земли 56,3 тыс. га (20,5 %), сильнозасоленные 5,4 тыс. га (≈2 %). Содержание легкорастворимых солей по профилю почвогрунтов колеблется в широких пределах от 0,2 до 1,5...1,7 % по плотному остатку (табл. 2, по данным областной мелиоративной экспедиции).

Согласно режимных наблюдений мелиоративной экспедиции, по области средняя глубина грунтовых вод в период вегетации равна 2,4...2,5 м, и только в отдельных районах поднимается до 1,89...1,93 м. По состоянию на 2022–2023 гг. в Бухарской области существует 734 системы вертикального дренажа, из которых в рабочем состоянии 640, объем откаченной воды составляет 90...110 млн м<sup>3</sup>/год, уровень грунтовых вод в зоне их обслуживания поддерживается на глубине 2,7...2,8 м. Зависимость объемной влажности от положения уровня грунтовых вод показано на рис. 2.

Как видно из рисунка в метровом слое поддерживается высокая влажность, несмотря на допустимый уровень грунтовых вод, что можно считать следствием переполивов почвы. Средняя урожайность хлопчатника по обла-

сти довольно высокая и составляет 30,3...39,2 ц/га, но на подверженных засолению площадях она снижается 27...29 ц/га.

**Выводы.** Выполненный анализ современного состояния мелиоративного режима Бухарской области показал, что для получения высоких урожаев хлопчатника на орошаемых землях подается очень высокая оросительная норма, составляющая 13 тыс. м<sup>3</sup>/га, из которой примерно 50 % сбрасывается с коллекторно-дренажным стоком. На 1 ц урожая хлопчатника тратится до 400 м<sup>3</sup> воды по сравнению с 105,7 м<sup>3</sup>/ц [8] при режиме орошения 70–70–70 % от ППВ, что недопустимо в условиях современного земледелия. Регулирование водно-солевого баланса корнеобитаемой зоны орошаемого поля показывает, что, несмотря на поддержание средней глубины грунтовых вод в летний период в пределах 2...2,6 м, на большей части (≈52 %) орошаемых земель площади подвергаются сезонному засолению, которое по области сохраняются на 85 % территории. Это свидетельствует о нерациональном использовании водных ресурсов. Минерализация оросительной воды колеблется около 1 г/л, а сбросная вода имеет минерализацию 3...3,5 г/л, то есть на орошаемых землях наблюдается затратный водообмен.

В условиях дефицита водных ресурсов в Среднеазиатском регионе и наличия засоленных почв

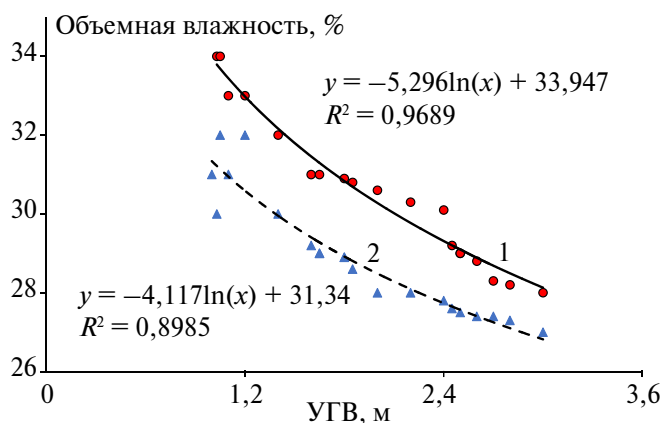


Рис. 2. Зависимость объемной влажности почвогрунтов в слое 0...100 см от глубины грунтовых вод для почв с механическим составом: 1 — тяжелым; 2 — легким

Таблица 2

Площади засоленных земель за 2023 г.

Область и район	Площадь под контролем, тыс. га	Степень засоления почв в слое 0...100 см				Засоление выше среднего	Общие площади засоленных земель
		Незасоленная	Слабозасоленная	Средняя	Сильная		
Бухарская	274,6	42,1	172,6	56,3	5,4	61,7	234,2
Шафирканский	28,3	3,6	16,8	7,2	0,2	7,4	24,8
Гиждуванский	27,4	4,5	15,8	5,9	0,9	6,8	22,5

очень актуальны вопросы. В качестве рекомендаций необходимо пересмотреть режим орошения в сторону поддержания влажности в корнеобитаемом слое на уровне 0,7...0,75 ППВ, поливы производить более мелкими нормами, при этом обеспечив хорошую планировку полей на фоне коротких борозд. Применение современных технологий позволит значительно уменьшить водообмен на фоне дренажных систем для трансформации эколого-мелиоративных процессов на менее затратный водный режим и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С.Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 83 с.
2. Ковда В.А. Дренаж в борьбе с засолением орошаемых почв // Применение дренажа при освоении засоленных земель. М.: Изд-во АН СССР, 1958.
3. Кирейчева Л.В. Дренажные системы на орошаемых землях: прошлое, настоящее, будущее. М., 1999. 202 с.
4. Дренаж в бассейне Аральского моря в направлении стратегии устойчивого развития // Труды научно-информационного центра МКВК. 2004. С. 83–88.
5. Якубов Х.И., Насонов В.Г., Абилов А.А. Важнейшие уроки многолетней практики мелиорации засоленных земель в Центральной Азии // Сб. докладов республиканской научно-практической конференции: «Проблемы мелиорации орошаемых земель, водообеспеченность и эффективное использование». Шымкент, 14–15 октября 2006 г.
6. Ходжибаев Н.Н., Шерфединов Л.З. Вопросы гидрогеологического прогнозирования в аридных областях. Ташкент, 1982. 178 с.
7. Современное состояние водно-солевого режима орошаемых земель в Бухарской области / Т.У. Кудратов, М.А. Якубов, З. Мирхасилова, Ш.А. Усманов // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 3. С. 4–7.

8. Тухтаева Г.П. Водопотребление и коэффициент водопотребления хлопчатника сорта Бухара-8 в условиях аллювиально-луговой почвы Бухарской области // Актуальные проблемы современной науки. 2023. № 3. С. 52–54.

## REFERENCES

1. Averyanov S.F. Horizontal drainage in the fight against salinization of irrigated lands. Moscow: Publ. Academy of Sciences of the USSR, 1959. 83 p.
2. Kovda V.A. Drainage in the fight against salinization of irrigated soils. In the book Application of drainage in the development of saline lands. Moscow: Publishing House Academy of Sciences of the USSR, 1958.
3. Kireycheva L.V. Drainage systems on irrigated lands: past, present, future. Moscow, 1999. 202 p.
4. Drainage in the Aral Sea basin towards a sustainable development strategy // Works of the Scientific Information Center of the ICWC. 2004. P. 83–88.
5. Yakubov H.I., Nasonov V.G., Abirov A.A. The most important lessons of long-term practice of melioration of saline lands in Central Asia // Collection of reports of the Republican scientific and practical conference: «Problems of melioration of irrigated lands, water supply and efficient use». Shymkent, October 14–15, 2006.
6. Khodjibaev N.N., Sherfedinov L.Z. Issues of hydrogeological forecasting in arid regions. Tashkent, 1982. 178 p.
7. Current state of the water-salt regime of irrigated lands in the Bukhara region / T.U. Kudratov, M.A. Yakubov, Z. Mirkhasilova, Sh.A. Usmanov // Land reclamation and water management. 2024. No. 3. P. 4–7.
8. Tukhtaeva G.P. Water consumption and water consumption coefficient of cotton variety Bukhara-8 in alluvial-meadow soil conditions of the Bukhara region // Actual problems of modern science. 2023. No. 3. Pp. 52–54.

**Кудратов Толибжон Узбекович**, канд. техн. наук, соискатель, kudratov.1955@yandex.ru; **Якубов Мурат Адильевич**, доктор техн. наук, профессор, зав. лабораторией, muratyakubov@gmail.com (Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, г. Ташкент, Респ. Узбекистан).

## ЕВГЕНИЮ НИКИТОВИЧУ БЕЛОКОНЕВУ – 85 ЛЕТ



8 августа 2025 г. исполняется 85 лет со дня рождения Евгения Никитовича Белоконев, родившегося и проживающего в Новочеркасске. Его отец, офицер Красной

Армии, Никита Пантелеевич, погиб под Москвой, когда сыну был всего один год.

Е.Н. Белоконев окончил с отличием в 1959 г. Новочеркасский строительный техникум с присвоением ему квалификации «Техник-строитель», а в 1964 г. – с отличием Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт (НИМИ) с присвоением ему квалификации «Инженер-гидротехник».

Е.Н. Белоконев пятьдесят лет (с 1966 по 2016 г.) работал в НИМИ (ныне НИМИ им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ), пройдя путь от ассистента до заведующего кафедрой «Инженерные конструкции» (1983–1996 гг.), «Строительное дело, основания и фундаменты» (2007–2013 гг.), «Водохозяйственное и дорожное строительство» (2014–2015 гг.). С 1976 г. Е.Н. Белоконев канд. техн. наук, с 1996 г. профессор по кафедре «Инженерные конструкции».

С 1976 по 1983 г. Е.Н. Белоконев был командирован в Алжирскую Народную Демократическую Республику в Институт гидротехники и мелиорации, где работал в должности заведующего кафедрой «Гидротехнические сооружения», вел занятия на французском языке для студентов Африканского континента.

С 1986 по 1989 г. был членом комиссии Госагропрома СССР по научно-исследовательской работе в области сельскохозяйственного строительства.

Е.Н. Белоконев автор более 200 научных и учебно-методических работ, в том числе двух учебников «Основы архитектуры зданий и сооружений» для среднего профессионального образования (Ростов-на-Дону, Феникс, 2009) и вузов (Москва, РИОР–ИНФРА-М, 2020, 4-е изд.).

Е.Н. Белоконев в Новочеркасской государственной мелиоративной академии (НГМА) был ответственным исполнителем гидравлических исследований ряда важных комплексов ГТС: Юмагузинского гидроузла на р. Бе-

лой (Башкортостан, 1999 г.), Невинномысского гидроузла на р. Кубань (Ставропольский край, 2003 г.), водоприемника Загорской ГАЭС-2 (Московская обл., 2008 г.), Усть-Джегутинского гидроузла в верховьях реки Кубань (Карачаево-Черкесская Республика, 2009 г.).

Президентом РФ профессор Е.Н. Белоконев удостоен почетного звания «Заслуженный мелиоратор Российской Федерации» (1996 г.). Он награжден Почетной грамотой посольства СССР в Алжире, многочисленными грамотами и благодарственными письмами, медалями: «XX лет Победы над Германией», «Ветеран труда», бронзовой медалью ВДНХ, нагрудным знаком Госкомитета СССР по народному образованию «За отличные успехи в работе». Он внесен в юбилейную энциклопедию «200 лет Новочеркаску» и российскую библиографическую энциклопедию «Великая Россия» (2015 г.). Коллеги поздравляют Евгения Никитовича с 85-летием и желают крепкого здоровья, благополучия ему и его семье.

## МИХАИЛУ ВЛАДИМИРОВИЧУ ГЛИСТИНУ – 75 ЛЕТ



Генеральный директор ООО «Запсибгипроводхоз» Михаил Владимирович Глистин родился 29 августа 1950 г. в с. Д-Вершина Белинского района Пензенской области. В 1973 г. окончил Кубанский СХИ по специальности: «Гидромелиорация сельского хозяйства» (квалификация: инженер-гидротехник), распределен в институт «Запсибгипроводхоз», в котором проработал с 1973 по 1991 г., пройдя путь от инженера до главного инженера проектов.

М.В. Глистым выполнены разнообразные виды работ по проектированию объектов осушения, орошения, в том числе лиманного, сельскохозяйственного водоснабжения в Новосибирской, Кемеровской областей и Республики Бурятия.

С 1991 по 2001 г. работал в коммерческих фирмах, а также в Новосибирском областном комитете по водному хозяйству («Новосибкомвод») начальником отдела охраны вод.

В декабре 2001 г. М.В. Глистин на конкурсной основе занял должность директора ФГУП «Запсибгипроводхоз», согласованной полномочным представителем Президента Российской Федерации в Сибирском федеральном округе.

В 2002 г. Михаил Владимирович прошел обучение в Коломенском институте переподготовки и повышения квалификации руководящих кадров и специалистов Минсельхоза России, в 2004 г. получил второе высшее образование в Государственном образовательном учреждении «Сибирская академия государственной службы».

Государственный подход к профессиональной деятельности, правильный выбор методологических руководств, высокопрофессиональное знание специфики проектно-изыскательских работ позволили М.В. Глисту не только сохранить предприятие, но и вывести его на современный уровень с прогрессирующей экономической эффективностью.

ООО «Запсибгипроводхоз» использует новейшие технологии и методологии при проектировании мелиоративных объектов и решении экологических проблем в Сибирском федеральном округе, включая Новосибирскую, Кемеровскую, Омскую, Иркутскую области, Бурятию и Республику Алтай, а также Югру и Челябинскую область. В 2008 г. Международным центром инвестиционного консалтинга ФГУП «Запсибгипроводхоз» включено в Федеральный реестр добросовестных поставщиков года (№ D-DP-1173/08 г. Москва).

М.В. Глистин зарекомендовал себя высококвалифицированным специалистом, энергичным и умелым организатором мелиоративного дела. Он внес значительный

вклад в обоснование эколого-экономической эффективности комплексных мелиораций Барабинской низменности Новосибирской области.

По его инициативе в 2005 г. в г. Куйбышев Новосибирской области проведена научно-практическая конференция «Мелиорация Барабы: Прошлое. Настоящее. Будущее» (к 110-летию создания экспедиции по обводнению и осушению земель Западной Сибири); в 2009 г. – Барабинский мелиоративный форум «Функционально-инновационные проблемы мелиорации земель Сибирского Федерального округа»; в 2013 г. – Барабо-Кулундинский эколого-мелиоративный форум; в 2015 г. – V Барабо-Кулундинский межрегиональный эколого-мелиоративный форум, на которые были привлечены лучшие научные силы России; в 2017 г. – VI Барабо-Кулундинский форум.

В 2006 г. Михаилу Владимировичу решением диссертационного совета Новочеркасской государствен-

ной мелиоративной академии присуждена ученая степень кандидата сельскохозяйственных наук.

М.В. Глистин имеет более 40 печатных работ, в том числе в реферативных журналах по проблемам комплексной мелиорации земель Новосибирской области, Барабинской низменности, инженерной защиты застроенных территорий от негативного воздействия подтопления и затопления паводковыми водами и др.

Многолетняя трудовая деятельность М.В. Глистина отмечена многими наградами: медалью «100-летие Алексеевского», почетными грамотами губернатора Новосибирской области, Минсельхоза РФ, тремя серебряными и тремя золотыми медалями ВВЦ, орденом «За заслуги перед Отечеством» II степени.

Желаем Михаилу Владимировичу здоровья, новых творческих успехов, долголетней трудовой деятельности.

## СЕРАЖУТДИНУ АМИНОВИЧУ КУРБАНОВУ – 75 ЛЕТ



26 сентября 2025 г. исполнилось 75 лет Серажутдину Аминовичу Курбанову – заведующему кафедрой земледелия, почвоведения и мелиорации Дагестанского государственного аграрного университета имени М.М. Джамбулатова, доктору сельскохозяйственных наук, профессору.

Свою педагогическую деятельность он начал в 1974 г. после окончания Дагестанского сельскохозяйственного института: работал младшим научным сотрудником, ассистентом, преподавателем, доцентом, а в 1987 г. избран на должность заведующего кафедрой, которую и возглавляет по настоящее время.

Профессор С.А. Курбанов – известный специалист в области повышения продуктивности сельскохозяйственных культур на орошаемых землях в условиях зоны сухих степей и полупустынь. Он занимается проблемой восстановления природно-ресурсного потенциала и повышения продуктивности малопродуктивных засоленных и песчаных земель с помощью при-

менения современных агротехнологий, а также разработкой принципиально новых систем орошаемого земледелия на основе капельного и комбинированного орошения. За разработку освоения малопродуктивных земель награжден двумя Золотыми медалями Всероссийской агропромышленной выставки «Золотая осень».

Под его руководством защищены 3 докторские и 8 кандидатских диссертаций, осуществляется руководство 2 докторскими и 4 кандидатскими диссертациями. Ученым опубликовано более 550 работ, в том числе более 10 монографий, 5 патентов на изобретения, около 100 учебных пособий, рекомендаций и методических указаний. Для студентов агрономических специальностей высшего и среднего специального образования России им опубликованы учебные пособия «Земледелие», «Орошаемое земледелие», «Мелиорация», «Почвоведение с основами геологии», а также учебник «Земледелие Юга России».

За заслуги в области науки и образования ему присвоены почетные звания «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации», «Заслуженный деятель науки Республики Дагестан», «Заслуженный работник сельского хозяйства Республики Дагестан». Он награжден Золотой медалью Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «За вклад в развитие агропромышленного комплекса России», почетным знаком Республики Дагестан «За любовь к родной земле».

Ученые Дагестана, коллеги, друзья и ученики искренне поздравляют юбиляра, желают ему крепкого здоровья и творческого долголетия.