

ISSN 2313-2248

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Научно-практический журнал

Выпуск № 2(86)/2022

Новочеркасск

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Научно-практический журнал
ФГБНУ «РосНИИПМ»
Издается с июня 1978 года
Выходит четыре раза в год

Выпуск № 2(86)/2022

Апрель – июнь 2022 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор, председатель редакционной коллегии – доктор сельскохозяйственных наук
А. Н. Бабичев

Заместитель главного редактора – кандидат технических наук О. А. Баев

Редакторы: доктор сельскохозяйственных наук, профессор Г. Т. Балакай; доктор сельскохозяйственных наук, доцент И. В. Гурина, доктор технических наук Ю. Е. Домашенко; кандидат технических наук Д. В. Бакланова; кандидат физико-математических наук М. В. Власов; кандидат сельскохозяйственных наук О. В. Воеводин; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент В. Д. Гостищев; кандидат сельскохозяйственных наук Л. М. Докучаева; кандидат технических наук А. Л. Кожанов; кандидат сельскохозяйственных наук В. А. Монастырский; кандидат технических наук В. Иг. Ольгаренко; кандидат сельскохозяйственных наук С. А. Селицкий; кандидат технических наук В. В. Слабунов; кандидат технических наук А. А. Чураев; кандидат технических наук А. С. Штанько; кандидат сельскохозяйственных наук Р. Е. Юркова

Ответственный секретарь – Л. И. Юрина

Технический редактор, выпускающий – Е. А. Бабичева

Литературный редактор – А. И. Литовченко

Переводчик – В. В. Кульгавюк

Адрес редакции и издателя:

346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 190

Тел.: (8635) 26-65-00, 26-02-02

<http://www.rosniipm.ru/journal/ppez>

e-mail: transfer-rosniipm@yandex.ru

**Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство ПИ № ФС 77-82276 от 10 ноября 2021 г.**

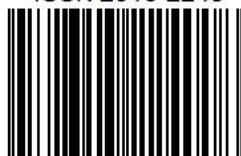
Подписано в печать 10.06.2022. Формат 60×84/8.

Усл. печ. л. 16,51. Тираж 500 экз. Заказ № 15

ФГБНУ «РосНИИПМ»
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 190

Отпечатано ИП Белоусов А. Ю.
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 186

ISSN 2313-2248



9 772313 224008

Дата выхода в свет 15.07.2022

Свободная цена

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Научно-практическая конференция «Инновационные пути развития мелиоративных систем и сооружений»

- Рыжаков А. Н., Мартынов Д. В.** К вопросу об использовании современной дождевальной техники в России и Ростовской области 4–12
- Баев О. А., Шевченко А. В.** Совершенствование конструктивных решений водосбросов с центральным размещением рыбопропускных сооружений и закрепленной рисбермой 13–21
- Бакланова Д. В.** Пути обеспечения рационального и эффективного водопотребления в зоне действия Сарпинской обводнительно-оросительной системы 22–31
- Ковалев С. В., Кузьмичев А. А.** К вопросу использования водных ресурсов для целей орошения на Пролетарской оросительной системе Ростовской области 32–38
- Гостищев В. Д., Пономаренко Т. С.** Техничко-экономические показатели восстановления орошаемых массивов в Ростовской области на примере субсидированных проектов 39–46
- Пунинский В. С.** Технологические приемы биомелиорации комбинированными агрегатами не используемых в агропроизводстве земель 47–59
- Васильченко А. П., Шепелев А. Е.** Анализ систем передвижения многоопорных дождевальных машин 60–67
- Сидаренко Д. П., Селицкий С. А.** Поливной режим и продуктивность сои при различных способах орошения 68–73
- Чураев А. А., Юченко Л. В.** К вопросу об использовании гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в качестве средства измерения в открытом канале 74–83
- Баев О. А., Шевченко А. В.** Конструктивное решение лоткового входного оголовка рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов 84–91
- Рыжаков А. Н.** Социально-экономические причины вывода земель из-под орошения и рекомендации к их устранению 92–100
- Куприянов А. А., Шкура В. Н.** Очертание изоплет, ограничивающих контуры капельного увлажнения, формирующиеся в южных среднемощных черноземах 101–108
- Дегтярева Е. В., Демьянов С. И., Островский Н. В.** Модернизация сетевых гидротехнических сооружений для безгербицидного рисоводства 109–118

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

- Бабичев А. Н., Рубцов А. А., Бабенко А. А.** Дифференцированные режимы орошения при возделывании томатов в открытом грунте 119–126

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

- Балакай Г. Т., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е.** Обоснование экономической эффективности мероприятий при внедрении элементов усовершенствованной технологии возделывания сои на орошаемых землях 127–134

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

- Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В.** Оценка достоверности расчетов удельного фильтрационного расхода через насыпную дамбу необлицованного канала 135–142

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
Научно-практическая конференция
«Инновационные пути развития
мелиоративных систем и сооружений»

CONFERENCE PROCEEDINGS
Scientific and practical conference
“Innovative ways of developing
reclamation systems and structures”

Научная статья
УДК 631.347

**К вопросу об использовании современной
дождевальной техники в России и Ростовской области**

Алексей Николаевич Рыжак¹, Дмитрий Викторович Мартынов²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

²dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Аннотация. Цель: рассмотреть вопросы наличия и использования современной дождевальной техники в России и Ростовской области. **Материалы и методы.** В качестве исходных материалов для анализа использовалась статистическая и количественная информация из открытых источников: научные публикации и новостные порталы. **Результаты и обсуждения.** Несмотря на продолжающееся сокращение количества отечественных дождевальных машин, в 2014 г. наблюдается некоторое увеличение общего количества оросительной техники. Возможно, это связано с заметным по сравнению с предыдущими годами увеличением импорта данной техники. Уже к 2019 г. отмечен как рост общего парка оросительной техники, так и увеличение в нем отечественных дождевальных машин. Это связано с тем, что, наряду с все более увеличивающимся импортом, было возобновлено и производство отечественной дождевальной техники в период 2016–2018 гг. Однако производство собственных средств для орошения до недавнего времени заметно уступало уровню внедряемой агропредприятиями импортной техники. Рассмотренные примеры указывают на то, что хозяйства Ростовской области в вопросе приобретения средств орошения в основном выбирали дождевальную технику иностранного производства, при этом часть средств компенсировалась бюджетом в рамках программ субсидирования. **Выводы.** Исходя из имеющихся в настоящее время действующих отечественных производителей, спрос сельскохозяйственных товаропроизводителей на современную дождевальную технику полностью могут удовлетворить российские компании. В целях плановой загрузки отечественных производственных мощностей субсидии агропредприятиям теперь предоставляются только в случае приобретения средств орошения российского производства, что в полной мере соответствует требованиям экономической и продовольственной безопасности России, особенно в современных условиях все более усложняющейся внешнеполитической обстановки.

Ключевые слова: гидромелиоративный проект, оросительная техника, дождевальные машины, мелиоративная инфраструктура, оросительная система, субсидирование, аграрное предприятие, сельскохозяйственный производственный кооператив

Original article

On issue of using modern sprinkling technique in Russia and Rostov region

Alexey N. Ryzhakov¹, Dmitry V. Martynov²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

²dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Abstract. Purpose: to consider the availability and use of modern sprinkler technique in Russia and Rostov region. **Materials and methods.** Statistical and quantitative information from public sources, namely, scientific publications and newspapers, was used as source materials for the analysis. **Results and discussions.** Despite the ongoing reduction of a number of domestic sprinklers, in 2014 there was a slight increase in the total number of irrigation equipment. Perhaps this is due to a noticeable increase of imports of this equipment compared to previous years. By 2019, both the growth of the total irrigation technique fleet and the increase in domestic sprinkling machines were noted. This is due to the fact that along with the ever-increasing imports, the production of domestic sprinklers was resumed in the period 2016–2018. However, until recently the production of home-made irrigation technique was noticeably inferior to the level of imported equipment introduced by agricultural enterprises. The considered examples indicate that regarding purchasing irrigation technique, the Rostov region farms mainly chose foreign-made sprinkler technique, while part of the funds was compensated by the budget under subsidy programs. **Conclusions.** Based on currently existing domestic manufacturers, the demand of agricultural producers for modern sprinkler equipment can be fully met by Russian companies. In order to ensure the planned loading of domestic production capacities, subsidies to agricultural enterprises are now provided only in the case of purchasing Russian-made irrigation equipment, which fully meets the requirements of Russia's economic and food security, especially in today's increasingly complicated foreign policy environment.

Keywords: irrigation and reclamation project, irrigation technique, sprinklers, reclamation infrastructure, irrigation system, subsidies, agricultural enterprise, agricultural production cooperative

Введение. На современное состояние мелиоративной отрасли повлияло множество факторов: бессистемность организационных преобразований в последние десятилетия, дефицит водных ресурсов, экологические проблемы и, несомненно, техническая и технологическая отсталость оросительных систем [1]. Именно ухудшение технического состояния магистральных, межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов (вследствие отсутствия средств на их поддержание в работоспособном состоянии), отсутствие современной оросительной техники и сокращение парка дождевальных машин являются одними из главных причин вывода земель из-под орошения.

Выходом из устоявшегося порядка является государственная программа компенсации части издержек по таким направлениям, как выделение денежных средств на реализацию гидромелиоративных проектов, в т. ч. строительство новых объектов, реконструкция и модернизация действующих объектов мелиоративной инфраструкту-

ры (оросительных и осушительных систем общего и индивидуального пользования) и закупка гидротехнических аппаратов, насосов, дождевальных и поливальных машин (включая софинансирование лизинга) [2], регулируемая нормативными документами Минсельхоза России [3].

Материалы и методы. В качестве исходных материалов для анализа использовалась статистическая и количественная информация из открытых источников: научные публикации и новостные порталы. В качестве методов обработки информации применялись: анализ, синтез, логика.

Результаты и обсуждения. Согласно данным за 2014–2019 гг., приведенным ФГБНУ ВНИИ «Радуга» по сведениям ФГБУ «Управление «Мелиоводхоз» [4, 5], весь парк отечественной оросительной техники эксплуатируется за пределами нормативного срока службы и имеет 100% износ, так как серийное производство отечественной дождевальной техники было прекращено в 2009–2010 гг.

Тем не менее, несмотря на продолжающееся сокращение количества отечественных дождевальных машин, в 2014 г. наблюдается некоторое увеличение общего количества оросительной техники. Возможно, это связано с заметным по сравнению с предыдущими годами увеличением импорта данной техники (рисунок 1).

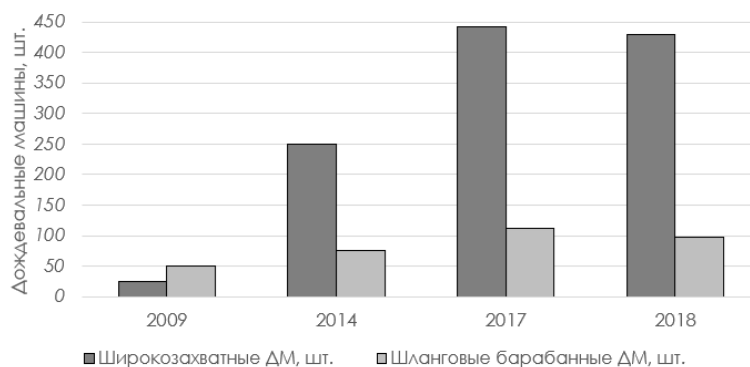


Рисунок 1 – Динамика импорта дождевальной техники в Российскую Федерацию

Figure 1 – Sprinkler import dynamics to the Russian Federation

Уже к 2019 г. отмечен как рост общего парка оросительной техники, так и увеличение в нем отечественных дождевальных машин. Это связано с тем, что, наряду с все более увеличивающимся импортом (рисунок 2), было возобновлено и производство отечественной дождевальной техники в период 2016–2018 гг.

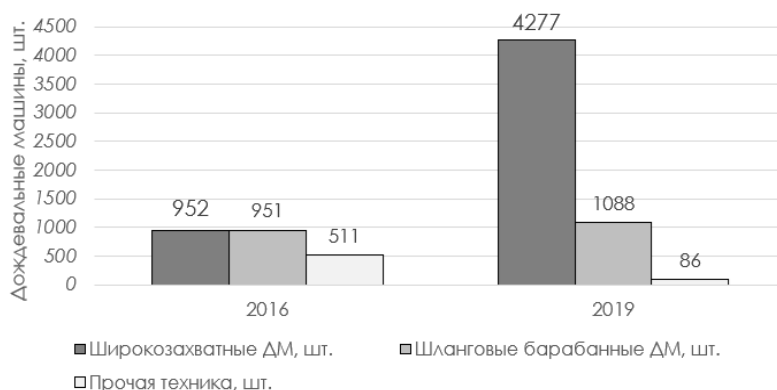


Рисунок 2 – Наличие импортной дождевальной техники в Российской Федерации

Figure 2 – Availability of imported sprinklers in the Russian Federation

С 2019 г. государственная поддержка развития мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России, рассчитанная до 2025 г., позволит обеспечить техническое перевооружение гидромелиоративных систем. В соответствии с существующими темпами развития орошаемого земледелия, для поддержания необходимого парка оросительной техники с учетом необходимого проведения ремонтных и технических работ с целью эффективного функционирования отрасли может потребоваться ежегодная поставка около 15500 комплектов технических средств орошения (рисунок 3), в т. ч.: 4500 широкозахватных дождевальных машин кругового действия и 2800 – фронтального, 2000 шланговых барабанных дождевальных машин с гидроприводом, 2000 мобильных систем на основе быстросборных трубопроводов, 2700 систем микроорошения и капельного орошения, 700 стационарных дождевальных систем [5].

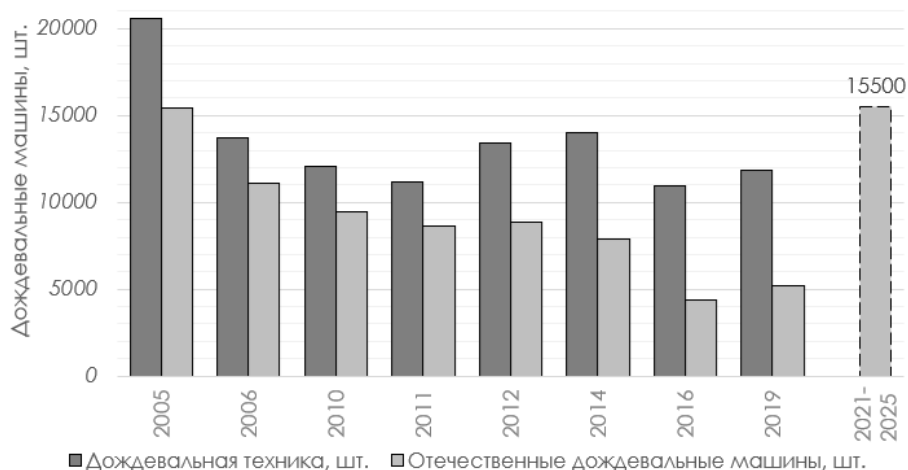


Рисунок 3 – Изменение количества дождевальной техники в Российской Федерации с учетом прогнозных данных

Figure 3 – Change in the number of sprinklers in the Russian Federation, taking into account forecast data

В Ростовской области, согласно имеющейся в открытых источниках информации, хозяйствами в основном приобреталась дождевальная техника иностранного производства. На 2015 г. введено в эксплуатацию около 180 единиц зарубежной дождевальной техники. 72 % от их общего количества составляют получившие в регионе наибольшее распространение дождевальные машины кругового и фронтального действия производства компаний Reinke, Valley и Zimmatic [6].

Увеличение и перевооружение имеющегося областного парка дождевальной техники удалось осуществить в рамках подпрограммы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области на 2014–2020 годы» [7]. Помимо введения в эксплуатацию новых дождевальных машин, программой было также предусмотрено восстановление 35 тыс. га орошаемых земель и ряд мероприятий по строительству, реконструкции и техническому перевооружению мелиоративных систем в регионе на площади 14,7 тыс. га [8]. Также были осуществлены меры по ведению субсидирования [9] на текущий ремонт, планировку и расчистку существующей коллекторно-дренажной сети, а также на подачу воды для орошения сельскохозяйственных культур, в т. ч. электрифицированными насосными станциями на рисовые оросительные системы.

В 2019 г. в рамках государственной поддержки по федеральному проекту «Экспорт продукции АПК» [10] хозяйства Ростовской области приобрели 54 дождевальные машины, что позволило увеличить площадь орошаемых земель на 4,6 тыс. га.

Это удалось осуществить за счет выделенных на развитие оросительных систем сельхозтоваропроизводителям средств в размере около 400 млн руб. [11].

Несмотря на возобновление серийного производства отечественной дождевальной техники с 2015 г., хозяйствами в основном приобретается импортная дождевальная техника. Возможно, это обусловлено тем, что дилеры зарубежных компаний помимо дождевальной техники предоставляют дополнительный спектр услуг – проектирование инфраструктуры, подбор насосных станций, монтаж оборудования и обучение персонала хозяйства для правильной эксплуатации. Еще одним преимуществом данной техники являются передовые разработки в области удаленного доступа и управления машинами [12], что намного упрощает их эксплуатацию персоналом хозяйства.

Примером такого взаимодействия с компанией – дилером иностранного производителя является опыт нескольких аграрных предприятий, приведенных ниже. Например, для аграрного предприятия «Имени Калинина», расположенного в Матвеево-Курганском районе, специалистом по орошению дилерской компании в 2014 г. был подготовлен проект (сложности вызывал рельеф), и в результате были установлены четыре круговые машины для полива 178 га, к которым в 2015 г. добавилось еще пять. Две из девяти машин были оснащены системой дополива углов. В итоге орошение дождеванием в хозяйстве стало возможно производить на площади 410 га (основная культура возделывания – кукуруза). Также помимо системы дополива углов была предусмотрена и система фертигации. Стоимость проекта составила около 65 млн руб., из них 20 млн руб. было компенсировано бюджетом согласно программе субсидирования мелиоративных мероприятий [13].

В 2016 г. сельскохозяйственный производственный кооператив «Русь», расположенный в Сальском районе и специализирующийся на животноводстве, также приобрел импортную дождевальную машину. В результате площадь орошения составила 160 га кормовых культур [14].

В 2017 г. работающее в Мартыновском районе ООО «Цимлянское» реализовало крупнейший в регионе проект по мелиорации. Было закуплено 20 дождевальных машин ведущего мирового производителя. Полностью автоматизированная система способна осуществлять полив на площади 1,5 тыс. га. Стоимость столь амбициозного проекта составила 387 млн руб. В качестве субсидий государство возместило предприятию 48 млн руб., потраченных на орошение [15].

В 2019 г. фермерское хозяйство в Зимовниковском районе приобрело дождевальную машину барабанного типа с полосой орошения 52 м, произведенную хоть и отечественным заводом, но занимающимся созданием оросительной техники по технологиям европейской компании.

Рассмотренные примеры указывают на то, что аграрные предприятия Ростовской области в вопросе приобретения средств орошения в основном выбирают иностранную дождевальную технику, это говорит о ряде преимуществ дилеров при взаимодействии с потенциальными клиентами. Тем более часть средств была компенсирована бюджетом в рамках программ субсидирования.

Выводы. Как видно из полученных результатов, к началу 2010-х гг. неуклонное сокращение дождевальной техники прекратилось. И к настоящему времени происходит увеличение парка средств орошения как посредством возобновления отечественного производства, так и за счет поставок импортной техники.

Исходя из имеющихся в настоящее время действующих отечественных производителей, спрос сельскохозяйственных товаропроизводителей на современную дождевальную технику полностью могут удовлетворить российские компании. В целях плановой загрузки отечественных производственных мощностей, согласно постановлению

Правительства РФ от 4 июня 2020 г. № 823 [16], субсидии агропредприятиям теперь предоставляются только в случае приобретения средств орошения российского производства, что в полной мере соответствует требованиям экономической и продовольственной безопасности России, особенно в современных условиях все более усложняющейся внешнеполитической обстановки.

Список источников

1. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. 283 с.

2. Ревунов С. В., Шереметьев П. Г., Чернышова Т. Н. Инструменты экономического стимулирования аграрного производства на орошаемых землях (на материалах Ростовской области) // Московский экономический журнал. 2021. № 2. С. 224–231. DOI: 10.24412/2413-046X-2021-10096.

3. Об утверждении форм документов, предусмотренных Правилами предоставления и распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в рамках реализации мероприятий ведомственной программы «Развитие мелиоративного комплекса России» и мероприятий в области мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в рамках федерального проекта «Экспорт продукции агропромышленного комплекса» [Электронный ресурс]: Приказ М-ва сел. хоз-ва Рос. Федерации от 24 авг. 2020 г. № 507. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет (дата обращения: 15.02.2022).

4. Ольгаренко Г. В., Турапин С. С. Аналитические исследования перспектив развития техники орошения в России: информ.-аналит. изд. Коломна: ИП Лавренев А. В., 2020. 128 с.

5. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. изд. / Г. В. Ольгаренко [и др.]. М.: Росинформагротех, 2020. 304 с.

6. Михеев П. А., Иванова Н. А. Использование зарубежной дождевальной техники в условиях Ростовской области // Орошаемое земледелие. 2015. № 2. С. 17–18.

7. Государственная программа Ростовской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» (2014–2018 годы) [Электронный ресурс]: утв. постановлением Правительства Рост. обл. от 25 сент. 2013 г. № 592. URL: <https://www.donland.ru/activity/1303/> (дата обращения: 15.03.2022).

8. На Дону расширят площади мелиорируемых земель [Электронный ресурс]. URL: <https://fermer.ru/news/na-donu-rasshiryat-ploshchadi-melioriruemyh-zemel-295577> (дата обращения: 15.02.2022).

9. Финансовая поддержка сельскохозяйственных товаропроизводителей [Электронный ресурс]. URL: <https://donland.ru/activity/817/> (дата обращения: 20.01.2022).

10. Региональный проект «Экспорт продукции АПК» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.donland.ru/activity/2562/> (дата обращения: 15.03.2022).

11. Можейко О. Водосберегающее орошение для Ростовской области: экономия без ущерба урожаю [Электронный ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/vodosberegayushchee-oroshenie-dlya-rostovskoy-oblasti-ekonomiya-bez-ushcherba-urozhayu> (дата обращения: 15.02.2022).

12. Оросительные установки Valley – курс на инновации и качественные проекты [Электронный ресурс]. URL: <https://apknnews.ru/article/213/1308/> (дата обращения: 15.03.2022).

13. Герасименко Е. Дело в дожде [Электронный ресурс]. URL: <https://nsh.ru/aktualno/delo-v-dozhde/> (дата обращения: 15.02.2022).

14. Донской СПК избежал банкротства, вложил в орошение и построил новую ферму [Электронный ресурс]. URL: <https://agrobook.ru/blog/user/inga/donskoj-spk-izbezhal-bankrotstva-vlozhilsya-v-oroshenie-i-postroil-novuyu-fermu> (дата обращения: 15.02.2022).

15. Донским сельхозпредприятиям, развивающим орошение, компенсируют часть затрат [Электронный ресурс]. URL: <https://agrobook.ru/blog/user/inga/donskim-selhozpredpriyatiam-razvivayushchim-oroshenie-kompensiruyut-chast-zatrat> (дата обращения: 15.02.2022).

16. Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета производителям специализированной техники или оборудования в целях предоставления покупателям скидки при приобретении такой техники или оборудования [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 4 июня 2020 г. № 823. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет (дата обращения: 15.03.2022).

References

1. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasiliev S.M., Churaev A.A., 2013. *Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya* [Irrigation Systems of Russia: From Generation to Generation: monograph]. In 2 parts, pt. 1, Novocheerkassk, RosNIIPM, 283 p. (In Russian).

2. Revunov S.V., Sheremetiev P.G., Chernyshova T.N., 2021. *Instrumenty ekonomicheskogo stimulirovaniya agrarnogo proizvodstva na oroshaemykh zemlyakh (na materialakh Rostovskoy oblasti)* [Instruments for economic stimulation of agricultural production on irrigated lands (based on materials from Rostov region)]. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* [Moscow Economic Journal], no. 2, pp. 224-231, DOI: 10.24412/2413-046X-2021-10096. (In Russian).

3. *Ob utverzhdenii form dokumentov, predusmotrennykh Pravilami predostavleniya i raspredeleniya subtsidii iz federal'nogo byudzheta byudzheta sub"ektov Rossiyskoy Federatsii v ramkakh realizatsii meropriyatij vedomstvennoy programmy "Razvitie meliorativnogo kompleksa Rossii" i meropriyatij v oblasti melioratsii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v ramkakh federal'nogo proekta "Eksport produktsii agropromyshlennogo kompleksa"* [On approval of the forms of documents provided for by the Rules for the provision and distribution of subsidies from the federal budget to the budgets of the constituent entities of the Russian Federation as part of the implementation of the departmental program "Development of the reclamation complex of Russia" and measures in the field of agricultural land reclamation within the framework of the federal project "Export products of the agro-industrial complex"]. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of 24 Aug. 2020, no. 507. (In Russian).

4. Olgarenko G.V., Turapin S.S., 2020. *Analiticheskie issledovaniya perspektiv razvitiya tekhniki orosheniya v Rossii: informatsionno-analiticheskoe izdanie* [Analytical Studies of the Prospects for Developing Irrigation Technology in Russia: information-analytical edition]. Kolomna, Lavrenov A.V. Publ., 128 p. (In Russian).

5. Olgarenko G.V. [et al.], 2020. *Meliorativnyy kompleks Rossiyskoy Federatsii: informatsionnoe izdaniye* [Reclamation Complex of the Russian Federation: information edition]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 304 p. (In Russian).

6. Mikheev P.A., Ivanova N.A., 2015. *Ispol'zovanie zarubezhnoy dozhdeval'noy tekhniki v usloviyakh Rostovskoy oblasti* [The use of foreign sprinkler technique under the conditions of Rostov region]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated Agriculture], no. 2, pp. 17-18. (In Russian).

7. *Gosudarstvennaya programma Rostovskoy oblasti "Razvitie sel'skogo khozyaystva i regulirovanie rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya" (2014–2018 gody)* [State program of Rostov region "Development of Agriculture and Regulation of the Markets of Agricultural Products, Raw Materials and Food" (2014–2018)]. Decree of the Government of Rostov region of 25 September 2013, no. 592, available: <https://www.donland.ru/activity/1303/> [accessed 15.03.2022]. (In Russian).

8. *Na Donu rasshiryat ploshchadi melioriruemykh zemel'* [The areas of reclaimed lands will be expanded on the Don], available: <https://fermer.ru/news/na-donu-rasshiryat-ploshchadi-melioriruemykh-zemel-295577> [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

9. *Finansovaya podderzhka sel'skokhozyaystvennykh tovaroproizvoditeley* [Financial Support for Agricultural Producers], available: <https://donland.ru/activity/817/> [accessed 20.01.2022]. (In Russian).

10. *Regional'nyy proekt "Eksport produktsii APK"* [Regional project "Export of Agricultural Products"], available: <https://www.donland.ru/activity/2562/> [accessed 15.03.2022]. (In Russian).

11. *Mozheiko O. Vodoberegayushchee oroshenie dlya Rostovskoy oblasti: ekonomiya bez ushcherba urozhayu* [Water-saving Irrigation for Rostov region: Saving without damage to the harvest], available: <https://glavagronom.ru/articles/vodoberegayushchee-oroshenie-dlya-rostovskoy-oblasti-ekonomiya-bez-ushcherba-urozhayu> [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

12. *Orositel'nye ustanovki Valley – kurs na innovatsii i kachestvennye proekty* [Irrigation installations Valley – a course for innovation and quality projects], available: <https://apknnews.ru/article/213/1308/> [accessed 15.03.2022]. (In Russian).

13. *Gerasimenko E. Delo v dozhde* [The matter is in rain], available: <https://nsh.ru/aktualno/delo-v-dozhde/> [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

14. *Donskoy SPK izbezhal bankrotstva, vlozhilsya v orosheniye i postroil novuyu fermu* [Don Agricultural-Industrial Complex avoided bankruptcy, invested in irrigation and built a new farm], available: <https://agrobook.ru/blog/user/inga/donskoy-spk-izbezhal-bankrotstva-vlozhilsya-v-oroshenie-i-postroil-novuyu-fermu> [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

15. *Donskim sel'khozpredpriyatiyam, razvivayushchim oroshenie, kompensiruyut chast' zatrat* [Don agricultural enterprises developing irrigation are compensated for part of the costs], available: <https://agrobook.ru/blog/user/inga/donskim-selkhozpredpriyatiyam-razvivayushchim-oroshenie-kompensiruyut-chast-zatrat> [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

16. *Ob utverzhdenii Pravil predostavleniya subsidiy iz federal'nogo byudzhetu proizvoditelyam spetsializirovannoy tekhniki ili oborudovaniya v tselyakh predostavleniya pokupatelyam skidki pri priobretanii takoy tekhniki ili oborudovaniya* [On the approval of the Rules of provision of subsidies from the federal budget to manufacturers of specialized machinery or equipment to provide buyers with a discount when purchasing such machinery or equipment]. Decree of the Government of the Russian Federation of 4 June, 2020, no. 823. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Рыжаков – научный сотрудник;

Д. В. Мартынов – младший научный сотрудник.

Information about the authors

A. N. Ryzhakov – Researcher;

D. V. Martynov – Junior Researcher.

Вклад авторов: А. Н. Рыжаков произвел обзор источников, собрал и обработал данные, проанализировал результаты, написал статью. Д. В. Мартынов произвел обзор источников, собрал и обработал данные, участвовал в написании статьи.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: A. N. Ryzhakov made a review of sources, collected and processed the data, analyzed the results and wrote the article. D. V. Martynov made a review of sources, collected and processed the data and participated in writing the article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 30.03.2022; одобрена после рецензирования 21.04.2022; принята к публикации 29.04.2022.

The article was submitted 30.03.2022; approved after reviewing 21.04.2022; accepted for publication 29.04.2022.

Научная статья

УДК 626.823:532.533:639.3

Совершенствование конструктивных решений водосбросов с центральным размещением рыбопропускных сооружений и закреплённой рисбермой

Олег Андреевич Баев¹, Алексей Викторович Шевченко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Аннотация. Цель: разработка рациональных и эффективных компоновочно-конструктивных решений рисберм водосбросов речных гидроузлов с центральным относительно водопроектных пролетов размещением рыбопропускных сооружений, обеспечивающих благоприятные условия для пропуска анадромных рыб к местам их нереста. **Материалы и методы.** Основу для совершенствования существующих и разработки новых технических решений рисберм водосбросов речных гидроузлов и конструктивных элементов, обеспечивающих условия для привлечения рыб в рыбопропускные сооружения, составляют компоновочно-конструктивные решения Краснодарского и Тиховского гидроузлов на р. Кубани. При разработке конструкций рисберм, рыбозаградительных и рыбонаправляющих устройств, обеспечивающих заход мигрантов в рыбопропускные сооружения, используются технологии поискового конструирования. **Результаты и обсуждение.** Приведены сведения о достоинствах и недостатках компоновочно-конструктивной схемы водосброса с центральным размещением в нем рыбопропускного сооружения. Предложены конструкции горизонтальных и наклонных рисберм, обеспечивающих возможность подхода рыб к входу в рыбопропускное сооружение при изменяющихся уровнях воды в нижних бьефах гидроузлов. Для обеспечения направленного перемещения производителей рыб к рыбопропускным сооружениям предложены рыбонаправляющие и рыбозаградительные устройства. В качестве таких конструктивных элементов предложено использовать рыбонаправляющие донные пороги, поверхностные щиты и прорези в различных комбинациях. **Выводы.** Основными задачами оптимизации конструктивных решений рассмотренной компоновочно-конструктивной схемы являются фиксация верхней границы зоны поисков и устройство рыбоуправляющих элементов. Для фиксации верхней границы зоны поисков предложено формировать ее косо направленной к входу в рыбопропускное сооружение устройством рыбозаградительных и рыбонаправляющих элементов. Для компенсации влияния падения уровней воды в нижних бьефах водосбросов предложено устраивать наклонные рисбермы в сочетании с рыбонаправляющими устройствами.

Ключевые слова: речной гидроузел, водосбросное сооружение, рыбопропускное сооружение, рисберма водосброса, рыбонаправляющее устройство

Original article

Improvement of construction solutions for spillways with a central placement of fish passage structures and a fixed apron

Oleg A. Baev¹, Alexey V. Shevchenko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Abstract. Purpose: development of rational and effective layout and design solutions for spillway aprons of river waterworks with a central location of fish passage structures relative to culvert spans, providing favorable conditions for passing anadromous fish to their spawning areas. **Materials and methods.** The basis for improving existing and developing new technical solutions for spillway aprons of river waterworks and structural elements that provide conditions for attracting fish to fish passage structures are the layout and design solutions of the Krasnodar and Tikhovsky waterworks on the river Kuban. Exploratory design technologies are used in the development of apron designs, fish screens and fish guides that ensure the entry of migrants into fish passage structures. **Results and discussion.** Information on advantages and disadvantages of the layout and design scheme of the spillway with a fish pass central placement is given. Designs of horizontal and inclined aprons which provide the possibility for fish go to fish pass entrance at changing water levels in the waterwork tailrace are proposed. Fish guides and fish screens are proposed to ensure the fish spawner directed movement to fish passage structures. It is proposed to use fish-guide bottom sills, surface shields and slots in various combinations as such structural elements. **Conclusions.** The main tasks of optimizing the design solutions of the considered layout and design scheme are fixing the upper limit of the search area and the arrangement of fish control elements. To fix the upper limit of the search zone, it is proposed to form it obliquely directed to the entrance to the fish pass by fish screen and fish guide elements arrangement. To compensate for the water level fall in the spillway tailrace, it is proposed to install inclined aprons in combination with fish guides.

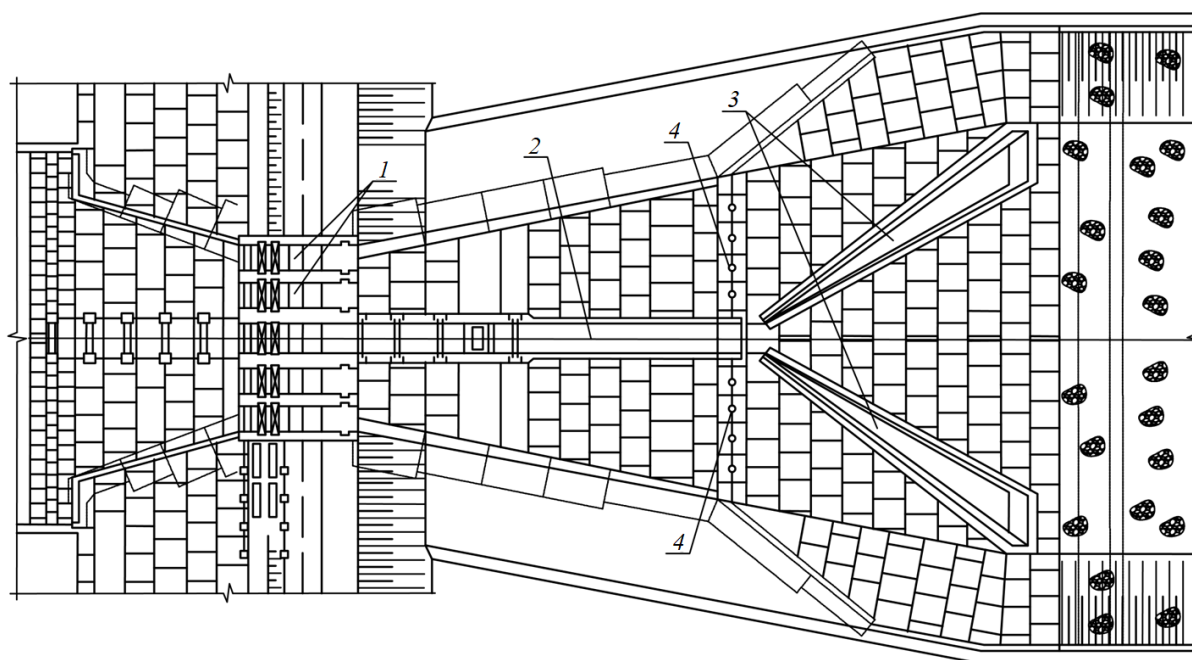
Keywords: river waterworks, spillway, fish passage, spillway apron, fish guide structure

Введение. Одним из наиболее ответственных вопросов проектирования водосбросов речных гидроузлов, имеющих в своем составе рыбопропускные сооружения, является выбор и разработка схем их компоновочно-конструктивных решений.

К настоящему времени накоплен определенный опыт разработки различных конструкций рыбопропускных сооружений и компоновочных решений по их размещению в составе водосбросов речных гидроузлов [1–7]. В практике проектирования и разработок в области рыбохозяйственной гидротехники нашли применение компоновочно-конструктивные схемы речных гидроузлов с центральным размещением рыбопропускных шлюзов и рыбоподъемников во внутрипролетном пространстве водосбросных сооружений [8]. В известных разработках таких компоновочно-конструктивных схем предусмотрено устройство закрепленных горизонтальных рисберм и конструктивных элементов, формирующих условия для направленного перемещения рыб к входу в рыбопропускное сооружение [9, 10]. Опыт эксплуатации гидроузлов, запроектированных по данной схеме, показал необходимость совершенствования их компоновочно-конструктивных решений, что и определено целью настоящей работы.

Материалы и методы. Основу для совершенствования существующих и разработки новых технических решений рисберм водосбросов речных гидроузлов и конструктивных элементов, обеспечивающих условия для привлечения рыб в рыбопропускные сооружения, составляют компоновочно-конструктивные решения Краснодарского и Тиховского гидроузлов на р. Кубани. При разработке конструкций рисберм, рыбозаградительных и рыбонаправляющих устройств, обеспечивающих заход рыб в рыбопропускные сооружения, используются технологии поискового конструирования.

Результаты и обсуждение. Примером реализации схемы размещения рыбопропускного сооружения в составе водосброса является водосбросное сооружение, устроенное на Краснодарском гидроузле на р. Кубани (рисунок 1).



1 – пролеты водосбросной плотины; 2 – рыбоподъемник;
3 – рыбонаправляющие прорези; 4 – электрорыбозаградитель

Рисунок 1 – Компонувочно-конструктивное решение водосбросного сооружения Краснодарского гидроузла на р. Кубани

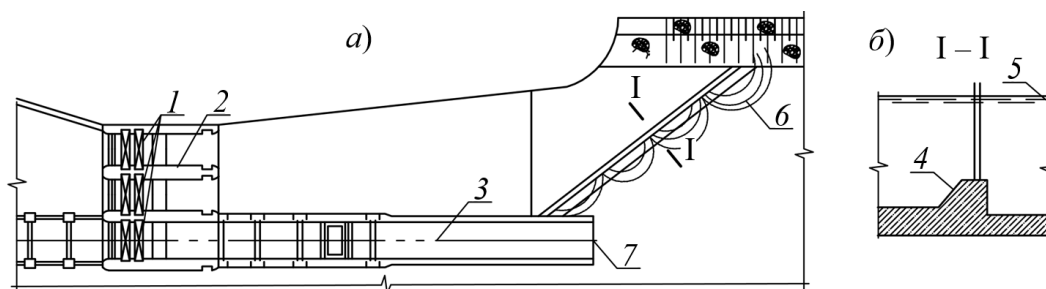
Figure 1 – Layout and design solution of the spillway of the Krasnodar waterworks on the river Kuban

Опыт эксплуатации Краснодарского рыбоподъемника позволил выявить основные недостатки этой компоновочно-конструктивной схемы. К ним относится сложность обеспечения управления перемещениями рыб при понижении уровня воды на рисберме, вызванная размывами русла реки и сменой положения верхней границы зоны поисков с изменением расходов и уровней потока на рисберме. Определенную проблему для управления перемещениями рыб в зоне поисков посредством формируемого в ее пределах поля скоростей представляет наличие расширяющихся от оси водосброса береговых устоев. При таком решении от верхней границы до «активной» части зоны поисков создается асимметричное русло, что приводит к неравномерному распределению удельных расходов по ширине отводящего канала. При равномерном открытии затворов водосброса у стенок рыбонакопительного лотка скорости течения водного потока в 1,1–1,3 раза превышают скорости течения во вдольбереговой зоне, что приводит к перемещению рыб в сторону, противоположную входу в рыбоподъемник. Конструктивно данный недостаток может быть устранен призматической формой руслового участка в пределах всей или части зоны поисков рыб с постоянной его шириной, что и было реализовано на Тиховском гидроузле на р. Кубани.

При отсутствии физической преграды роль верхней границы зоны поисков играет створ с непреодолимыми для рыб скоростями. В зависимости от складывающейся на гидроузле гидрологической обстановки и от плавательной способности рыб положение верхней границы зоны поисков будет изменяться. В соответствии с рекомендациями В. Н. Шкуры [1] положение верхней границы желательно фиксировать в пределах створа входа в рыбопропускное сооружение или на расстоянии менее 10–15 м выше него. На Краснодарском гидроузле и конструктивно, и гидравлически верхняя граница

зоны поисков расположена перпендикулярно перемещению рыб устройством перпендикулярно расположенного к направлению течения электрорыбозаградителя. Предполагалось, что создаваемое электрическое поле сформирует верхнюю границу зоны поисков в створе входа в рыбоподъемник. Кроме этого, фиксации верхней границы зоны поисков в створе электрорыбозаградителя способствуют донный порог, устои, поперечные балки, система электродов, являющихся физической преградой для рыб. Указанные элементы вызывают увеличение скорости течения в этом створе. Отметим, что принятые размеры конструктивных элементов на этом сооружении не обеспечили предполагаемого эффекта создания скоростного барьера и рыбы имели возможность прохода через этот створ.

В соответствии с современными представлениями эффективным решением является компоновочно-конструктивная схема, приведенная на рисунке 2.



а) план; б) сечение I – I;

1 – пролеты плотины; 2 – разделительный бык;

3 – рыбоподъемник; 4 – донный порог; 5 – электрорыбозаградитель;

6 – границы электрических полей; 7 – вход в рыбоподъемник

Рисунок 2 – Схема с косорасположенным конструктивным элементом, фиксирующим верхнюю границу зоны поисков, включающим донный порог и электрорыбозаградитель

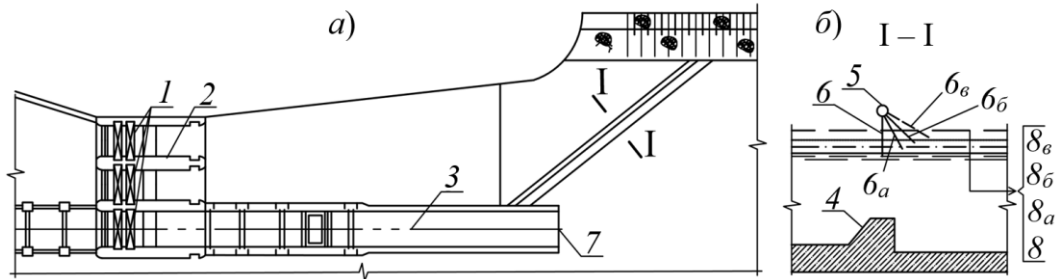
Figure 2 – Scheme with an oblique structural element, fixing the upper limit of the search area, including bottom sills and electric fish screen

Данное конструктивное решение при соответствующих параметрах порога, затеняющих живое сечение потока элементов электрорыбозаградителя, может сформировать скоростную преграду как гидравлическую границу зоны поисков. Физической преградой для придонных рыб является порог. Верхнюю границу зоны поисков фиксирует электрическое поле. При таком их размещении все элементы не только выполняют заградительные функции, но и оказывают управляющее воздействие на рыб. В приведенной на рисунке 2 конструкции элементы механической преграды имеют фиксированные размеры и положение, что снижает эффективность их управляющего (на поток и рыб) воздействия при изменении уровней и расходов воды, это является одним из ее основных недостатков. Более эффективное решение устройства, фиксирующего верхнюю границу зоны поисков, приведено ниже на рисунке 3.

В данной схеме изменением положения щитов регулируется перепад уровней воды, а следовательно, и положение границы зоны поисков. Одновременно щиты являются преградой для прохода рыб, перемещающихся у поверхности воды.

Проблему для рассматриваемой схемы водосброса представляет назначение отметок рисбермы для условий понижения уровней воды в реке. Так, для нижнего бьефа Краснодарского гидроузла эрозионное понижение уровней достигло 1,3–1,5 м. При фиксированном положении отметок дна рыбоподъемника и рисбермы условия для работы

рыбопропускного сооружения изменились кардинально. Задача увязки отметок рисбермы и дна рыбоаккумулятора может быть решена устройством порогов и уступов, горизонтальных и наклонных участков рисбермы, а также устройством прорезей для прохода по ним рыб к рыбопропускному сооружению в соответствии с рисунками 4 и 5.

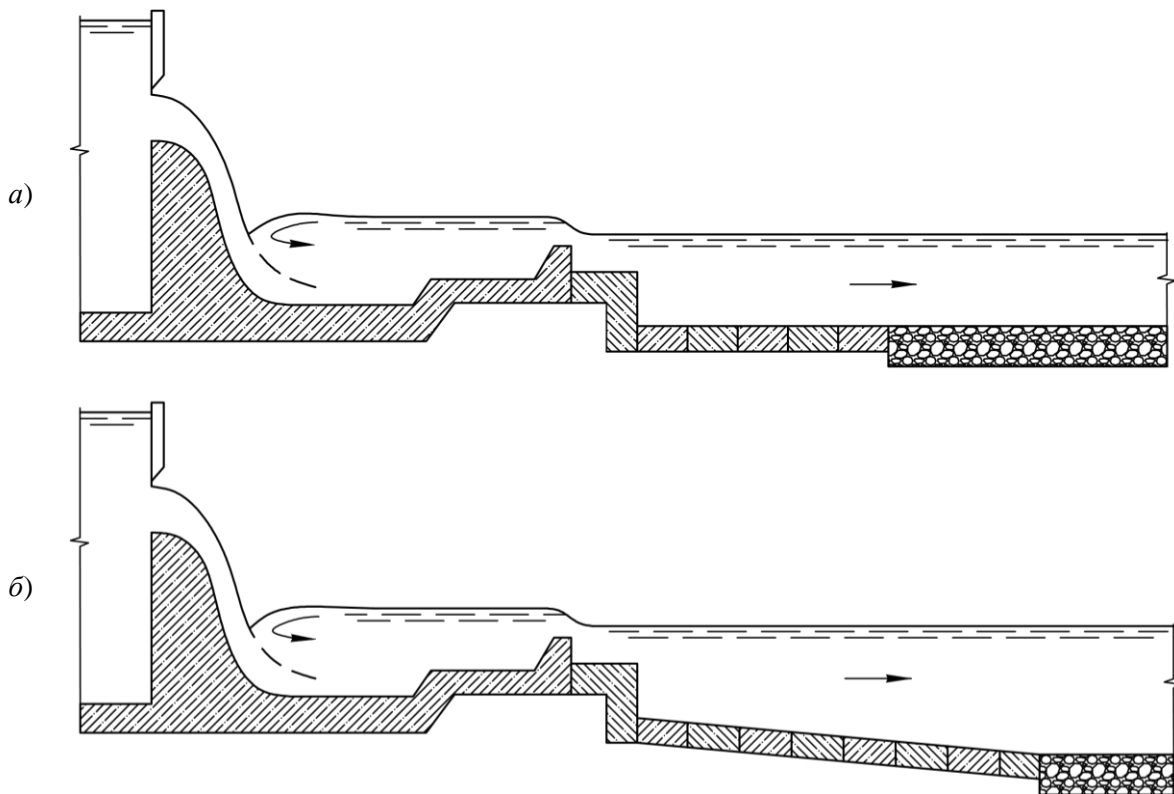


а) продольный разрез; б) разрез I – I;

1 – пролеты водосброса; 2 – разделительный бык; 3 – рыбоаккумулятор; 4 – порог; 5 – ось поверхностных щитов; 6 – поверхностный щит (6_a , 6_b , 6_c – его положения при разных уровнях воды); 7 – вход в рыбопропускное сооружение; 8, 8_a , 8_b , 8_c – положения уровней воды, м

Рисунок 3 – Схема с косорасположенным конструктивным элементом, включающим донный порог и поверхностные щиты

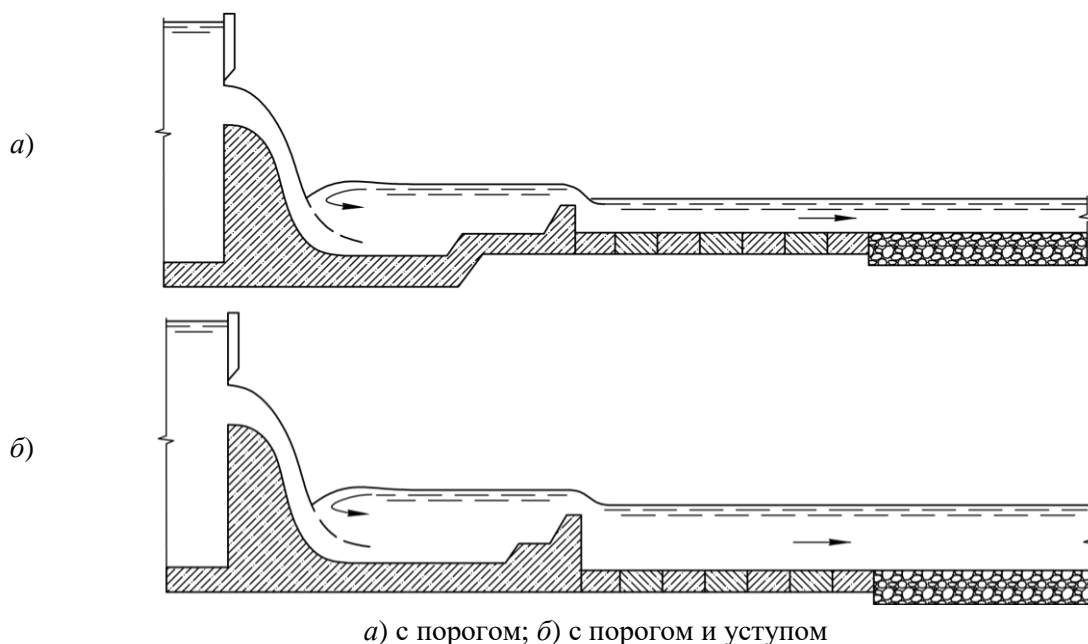
Figure 3 – Scheme with an oblique structural element, including a bottom sill and surface shields



а) с горизонтальной рисбермой; б) с наклонной рисбермой

Рисунок 4 – Конструкция нижнего бьефа для формирования верхней границы зоны поисков с удалением уступа от порога

Figure 4 – Construction of tailwater for the formation of upper limit of the search area with the removal of the ledge from the sill

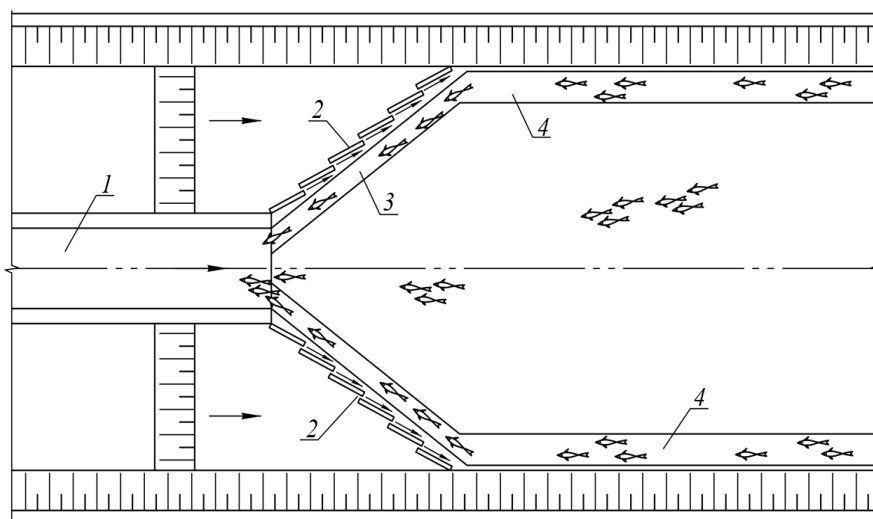


а) с порогом; б) с порогом и уступом

Рисунок 5 – Конструкция нижнего бьефа для формирования верхней границы зоны поисков с устройством донного порога и уступа

Figure 5 – Construction of the tailwater for the formation of upper limit search area with a bottom sill and ledge

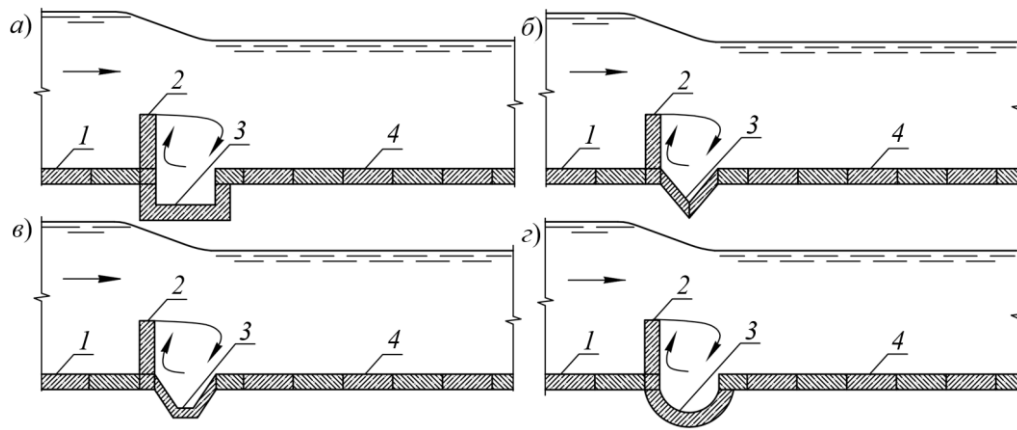
Для разноуровневных условий работы рыбопропускных сооружений в первые годы их эксплуатации (при высоких уровнях воды) и в последующие периоды (при падении уровней) целесообразно применять пороги с переменной высотой. При больших глубинах водного потока рыбоподводящие каналы могут быть засыпаны камнем с возможностью полного или частичного удаления заполнителя по мере понижения уровней воды. Пороги различного технического решения могут сочетаться с рыбоподводящими прорезями. Пример такого решения приведен на рисунках 6 и 7.



1 – рыбакопитель; 2 – рыбаправляющий порог со сквозными вертикальными щелями; 3 – рыбаправляющая прорезь; 4 – рыбоподводящий канал

Рисунок 6 – Вариант рыбаправляющего устройства с щелевым порогом, прорезью и рыбоподводящими каналами

Figure 6 – Option of a fish guide with a slotted apron, a slot and fish guide channels



а) прямоугольное сечение; б) треугольное сечение;

в) трапецидальное сечение; з) полукруглое сечение

1, 4 – верховой и низовой пороги; 2 – водосброс; 3 – рыбопропускное сооружение

**Рисунок 7 – Система рыбонаправляющих порогов,
размещенных в пределах привлекающего рыбу шлейфа скоростей**

**Figure 7 – The system of fish-guide
aprons placed within a fish-attracting speed plume**

Выводы

1 Основными задачами оптимизации конструктивных решений рисберм водосбросов и рыбопропускных сооружений в рассмотренной компоновочно-конструктивной схеме являются фиксация верхней границы зоны поисков и устройство управляющих перемещениями рыб элементов.

2 Для фиксации верхней границы зоны поисков предложено формировать ее консонаправленной к входу в рыбопропускное сооружение путем устройства рыбозаградительных элементов (порогов, уступов, электрорыбозаградителей, щитов и др.), обладающих свойствами рыбонаправляющих устройств.

3 Для компенсации влияния падения уровней воды на водосбросе предложено устраивать наклонные рисбермы в сочетании с рыбонаправляющими устройствами.

Список источников

1. Шкура В. Н. Рыбопропускные сооружения. В 2 ч. Ч. 1. М.: Рома, 1999. 729 с.
2. А. с. 1703782 СССР, МКИ Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / В. Н. Шкура, А. А. Чистяков, Н. А. Шелестова (СССР). № 4654820/15; заявл. 16.01.89; опубл. 07.01.92, Бюл. № 1. 4 с.: ил.
3. А. с. 1599468 СССР, МКИ Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / В. Н. Шкура, А. А. Чистяков, В. А. Черкасов, В. А. Фоменко, А. М. Анохин (СССР). № 4393333/23-15; заявл. 16.03.88; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38. 5 с.: ил.
4. А. с. 1625941 СССР, МКИ Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / В. Н. Шкура, А. А. Чистяков, Н. А. Шелестова (СССР). № 4486121/15; заявл. 23.09.88; опубл. 07.02.91, Бюл. № 5. 2 с.: ил.
5. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87: СП 101.13330.2012 [Электронный ресурс]: утв. Минрегионразвития России 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095534> (дата обращения: 01.12.2021).
6. Анохин А. М., Копадзе И. З., Донцов А. А. Обеспечение безопасности прохода рыб на нерест на примере Кочетовского гидроузла на реке Дон // Безопасность техногенных и природных систем. 2018. № 3–4. С. 79–86.

7. Анохин А. М., Калашников А. М., Лукьяненко М. В. Критерии оценки рыбопропускных сооружений // Инновационные процессы в научной среде: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2017. С. 63–67.

8. Баев О. А., Гарбуз А. Ю., Шкура В. Н. Рыбоводный комплекс на базе оросительно-обводнительного канала и малой реки // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2(70). С. 151–156.

9. Павлов Д. С., Скоробогатов М. А. Миграции рыб в зарегулированных реках. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2014. 413 с.

10. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production / H. R. Pereira, L. F. Gomes, H. O. Barbosa, F. M. Pelicice, J. C. Nabout, F. B. Teresa, L. C. G. Vieira // *Hydrobiologia*. 2020. Vol. 847. P. 579–592. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04122-y>.

References

1. Shkura V.N., 1999. *Rybopropusknyye sooruzheniya* [Fish Passage Structures]. In 2 parts, pt. 1, Moscow, Roma Publ., 729 p. (In Russian).

2. Shkura V.N., Chistyakov A.A., Shelestova N.A. *Rybopropusknoe sooruzhenie* [Fish Passage Structure]. Inventor Certificate of the USSR 1703782, 07.01.92. (In Russian).

3. Shkura V.N., Chistyakov A.A., Cherkasov V.A., Fomenko V.A., Anokhin A.M. *Rybopropusknoe sooruzhenie* [Fish Passage Structure]. Inventor Certificate of the USSR 1599468, 15.10.90. (In Russian).

4. Shkura V.N., Chistyakov A.A., Shelestova N.A. *Rybopropusknoe sooruzhenie* [Fish Passage Structure]. Inventor Certificate of the USSR 1625941, 07.02.91. (In Russian).

5. *Podpornye steny, sudokhodnye shlyuzy, rybopropusknyye i rybozashchitnyye sooruzheniya* [Back walls, navigation locks, fish passage and fish protection structures]. SP 101.13330.2012. Updated version of SNiP 2.06.07-87. (In Russian).

6. Anokhin A.M., Kopadze I.Z., Dontsov A.A., 2018. *Obespechenie bezopasnosti prokhoda ryb na nerest na primere Kochetovskogo gidrouzla na reke Don* [Providing the safety of fish pass to spawning on the example of the Kochetovsky waterworks on the Don River]. *Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnykh sistem* [Safety of Technogenic and Natural Systems], no. 3-4, pp. 79-86. (In Russian).

7. Anokhin A.M., Kalashnikov A.M., Lukyanenko M.V., 2017. *Kriterii otsenki rybopropusknykh sooruzheniy* [Assessment criteria of fish-pass structures]. *Innovatsionnyye protsessy v nauchnoy rede: sb. st. mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative Processes in the Scientific Environment: Proc. of International Scientific-Practical Conference]. Perm, pp. 63-67. (In Russian).

8. Baev O.A., Garbuz A.Yu., Shkura V.N., 2018. *Rybovodnyy kompleks na baze orositel'no-obvodnitel'nogo kanala i maloy reki* [Fish-breeding complex on the basis of irrigation canal and minor river]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(70), pp. 151-156. (In Russian).

9. Pavlov D.S., Skorobogatov M.A., 2014. *Migratsii ryb v zaregulirovannykh rekakh* [Fish Migrations in Regulated Rivers]. Moscow, Association of scientific ed. KMK, 413 p. (In Russian).

10. Pereira H.R., Gomes L.F., Barbosa H.O., Pelicice F.M., Nabout J.C., Teresa F.B., Vieira L.C.G., 2020. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production. *Hydrobiologia*, vol. 847, pp. 579-592, <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04122-y>.

Информация об авторах

О. А. Баев – старший научный сотрудник, кандидат технических наук;

А. В. Шевченко – младший научный сотрудник, аспирант.

Information about the authors

O. A. Baev – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences;

A. V. Shevchenko – Junior Researcher, Postgraduate Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.04.2022; одобрена после рецензирования 22.04.2022; принята к публикации 05.05.2022.

The article was submitted 20.04.2022; approved after reviewing 22.04.2022; accepted for publication 05.05.2022.

Научная статья

УДК 504.4.062.2:626.8

Пути обеспечения рационального и эффективного водопотребления в зоне действия Сарпинской обводнительно-оросительной системы

Дарья Викторовна Бакланова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

Аннотация. Цель: изучение структуры водоподачи и водораспределения в пределах Сарпинской обводнительно-оросительной системы (ООС), а также определение необходимых мер, направленных на обеспечение рационального и эффективного водопотребления в зоне ответственности данной системы. **Материалы и методы.** Эмпирическую базу исследований составили статистические данные Минсельхоза России по Сарпинской ООС, а также результаты научных исследований, посвященных изучению орошаемого земледелия в пределах Сарпинской низменности. Методология работы опиралась на общенаучные методы: анализ, сравнение. Для построения диаграмм и выполнения расчетов использовалась программа Microsoft Excel. **Результаты и обсуждение.** На основании изучения структуры водораспределения в пределах Сарпинской ООС определено, что фактические значения годовой водоподачи потребителям лишь дважды превышали плановые значения – в 2016 г. на 34,12 % и в 2021 г. на 25,12 %. В остальные периоды объемы водоподачи были ниже плановых (на 29,58–41,98 % в 2013–2015 гг. и на 1,12–10,43 % в 2017–2020 гг.), что обусловлено дефицитными значениями лимитов на подачу воды из р. Волги и значительным физическим износом системы в целом, составляющим 98,71 % (по данным на 2021 г.). Установлено, что в 2015 и 2020 гг. потери воды при транспортировке были соизмеримы с объемами подачи на орошение, а в 2015 и 2019 гг. наблюдались наибольшие значения потерь воды за исследуемый период (37,0–37,5 % от общих значений объемов водозабора в Сарпинскую ООС). **Выводы.** В целях обеспечения рационального и эффективного водопотребления, сохранения и последующего развития рисоводческой отрасли в Калмыкии необходимо решить комплекс задач в части: технической реновации Сарпинской ООС, увеличения лимитов на подачу воды, минимизации ее потерь, финансовой поддержки сельхозтоваропроизводителей при оплате электроэнергии для орошения сельхозкультур в рассматриваемом регионе.

Ключевые слова: обводнительно-оросительная система, орошение, магистральный канал, водораспределение, коэффициент водообеспеченности

Original article

Ways of ensuring rational and efficient water consumption in the Sarpinsky irrigation and watering system zone

Darya V. Baklanova

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

Abstract. Purpose: to study the structure of water supply and distribution within the Sarpinsky irrigation and watering system, as well as to determine the necessary measures to ensure rational and efficient water consumption in the system's responsibility. **Materials and methods.** The empirical base of the research was the statistical data of the Ministry of Agri-

culture of Russia on the Sarpinsky irrigation and watering system, as well as the results of scientific research devoted to the study of irrigated agriculture within the Sarpinsky lowland. The methodology of the work was based on general scientific methods: analysis and comparison. Microsoft Excel was used to construct diagrams and perform calculations. **Results and discussion.** Based on the study of the structure of water distribution within the Sarpinsky irrigation and watering system, it was determined that the actual values of the annual water supply to consumers exceeded the planned values only twice – in 2016 by 34.12 % and in 2021 by 25.12 %. In other periods, water supply volumes were lower than the planned ones (by 29.58–41.98 % in 2013–2015 and by 1.12–10.43 % in 2017–2020), which is due to scarce values of limits for water supply from the river Volga and significant physical deterioration of the system as a whole, amounting to 98.71 % (as of 2021). It was found that in 2015 and 2020 water losses during transportation were commensurate with the volumes supplied for irrigation, and in 2015 and 2019 the largest values of water losses were observed during the study period (37.0–37.5 % of the total values of water intake volumes in the Sarpinsky irrigation and watering system). **Conclusions.** To ensure rational and efficient water consumption, conservation and further development of the rice-growing industry in Kalmykia, it is necessary to solve a set of tasks in terms of: technical renovation of the Sarpinsky irrigation and watering system, increasing the limits for water supply, minimizing its losses, financial support for agricultural producers when paying for electricity for irrigating crops in the region under consideration.

Keywords: watering and irrigation system, irrigation, main canal, water distribution, water supply coefficient

Введение. Для территории Сарпинской низменности, расположенной в Прикаспийском регионе, характерен сухой континентальный климат с жарким сухим летом и малоснежной зимой. Ввиду этого данный район относится к зоне скудного увлажнения, являясь при этом одним из наиболее теплообеспеченных районов европейской части страны.

Годовое количество осадков за последние 3 года колеблется в пределах 132–467 мм, а количество испарившейся влаги составляет 850–900 мм. То есть разница между испаряемостью и количеством выпавших осадков может достигать 700–800 мм, что подтверждает наличие дефицита влаги в данном районе [1]. Тем не менее Сарпинская низменность является самым северным районом промышленного рисосеяния с преимущественно плоским однообразным рельефом местности, в пределах которого в 1960–1980 гг. были устроены рисовые инженерные системы (карты-чеки) широкого фронта затопления [2].

Важным объектом мелиоративного комплекса Сарпинской низменности на территории Калмыкии является Сарпинская обводнительно-оросительная система (ООС), которая введена в эксплуатацию в 1960 г. и обеспечивает подачу воды в рисоводческие хозяйства из р. Волги. Основная водораспределительная сеть системы расположена в пределах Октябрьского и Малодербентовского районов Республики Калмыкия и находится на балансе ФГБУ «Управление «Калмелиоводхоз». Водоприемником системы является оз. Сарпа. Все каналы системы проложены в земляном русле, без устройства противоточных экранов.

Вода, поступающая в систему из р. Волги, имеет разрозненный химический состав – от гидрокарбонатно-кальциевого до сульфатно-кальциево-натриевого, при общем уровне минерализации 0,7 г/л.

Минерализация дренажно-сбросного стока в период затопления риса составляет 0,6–1,7 г/л, однако во вневегетационный период содержание солей в нем возрастает до 6,0 г/л [3]. В работе М. М. Сангаджиева и др. [1] также отмечено, что качество воды в Сарпинской ООС не соответствует требованиям нормативов по нескольким показателям, в т. ч. по содержанию железа (таблица 1).

Таблица 1 – Концентрации загрязняющих веществ в водах Сарпинской обводнительно-оросительной системы [1]**Table 1 – Concentrations of pollutants in the Sarpinsky irrigation and watering system waters [1]**

Место отбора проб	NH ₄	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb	Li	Sr	Al	Ni
Канал Сарпинской ООС (в районе ООО «Восход»)	0,2	0,5	0,0004	0,095	0,162	0,001	0,1	4,11	0,21	0,002

Почвенно-мелиоративные условия в зоне действия Сарпинской ООС непростые, массивы возделывания риса расположены на светло-каштановых и бурых полупустынных почвах в комплексе с солонцами. При этом только 43 % из общей площади орошаемых земель степной части Сарпинской низменности находятся в удовлетворительном состоянии, остальные – подвержены вторичному засолению и осолонцеванию [4].

Изучение проблем функционирования Сарпинской ООС в Республике Калмыкия [2] позволило определить, что функционирование системы осложняется следующими факторами:

- неравномерностью подачи воды в систему из р. Волги [5], связанной с недостатком средств у водопользователей на оплату электроэнергии [6];
- недостатком воды по причине низких лимитов на водоподачу;
- снижением пропускной способности каналов Сарпинской ООС ввиду их заиливания и зарастания водной растительностью [5];
- недостатком поливной техники [6];
- изношенностью насосного оборудования и отсутствием приборов водоучета для подсчета объемов подаваемой потребителям воды;
- несанкционированным забором (изъятием) водных ресурсов из системы [1];
- ухудшением экологической обстановки ввиду значительных фильтрационных потерь из необлицованных каналов системы, подъемом уровня минерализованных грунтовых вод, засолением и заболачиванием территорий [7–9] с последующим выбытием из сельхозоборота земель в условиях плохой дренированности территории.

В настоящее время подача и распределение воды на нужды орошения по Сарпинской ООС осуществляется на основе планового водопользования, которое осложняется не только вышеперечисленными факторами, но и существующей спецификой структуры управления системой, так как головной водозаборный узел (в п. Райгород Светлоярского района Волгоградской области) находится на балансе ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз», а основная водопроводящая и распределительная сеть системы расположена на территории Калмыкии и управляется ФГБУ «Управление «Калммелиоводхоз» (рисунок 1).

Целью настоящего исследования является изучение структуры водоподдачи и водораспределения в пределах Сарпинской ООС, а также определение необходимых мер, направленных на обеспечение рационального и эффективного водопотребления в зоне ответственности данной системы.

Материалы и методы. Эмпирическую базу исследований составили статистические данные Минсельхоза России по Сарпинской ООС, а также результаты научных исследований, посвященных изучению орошаемого земледелия в пределах Сарпинской низменности.

Методология работы опиралась на общенаучные методы: анализ, сравнение. Для построения диаграмм и выполнения расчетов использовалась программа Microsoft Excel.

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
2015	259,35	182,28	195,10	114,82
2016	106,33	143,15	78,73	105,59
2017	155,00	166,04	111,06	106,01
2018	155,00	163,96	116,25	104,12
2019	221,20	221,20	139,86	138,29
2020	155,00	166,00	116,25	105,66
2021	155,00	189,94	116,25	145,45

Для оценки выполнения плана водопользования используется коэффициент водообеспеченности K_B [12]:

$$K_B = \frac{W_\phi}{W_\pi},$$

где W_ϕ – годовой объем фактической водоподдачи, млн м³;

W_π – годовой объем плановой водоподдачи, млн м³.

Рассчитанные значения коэффициентов водообеспеченности для Сарпинской ООС по каждому рассматриваемому году представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты водообеспеченности по Сарпинской ООС за 2013–2021 гг.

Table 3 – Water supply coefficients for the Sarpinsky irrigation and watering system for 2013–2021

Показатель	Год								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
K_B	0,70	0,58	0,59	1,34	0,95	0,90	0,99	0,91	1,25

Данные таблиц 2 и 3 свидетельствуют о том, что за последние 9 лет эксплуатации Сарпинской ООС фактические значения годовой водоподдачи потребителям только дважды превышали плановые значения: в 2016 г. на 34,12 % и в 2021 г. на 25,12 % (рисунок 2), о чем свидетельствуют значения коэффициентов водообеспеченности, превышающие 1, в эти годы. В оставшиеся периоды фактические значения объемов водоподдачи были ниже плановых (на 29,58–41,98 % в 2013–2015 гг. и на 1,12–10,43 % в 2017–2020 гг.). Такая ситуация обуславливается как техническим несовершенством системы ($K_{ПДООС} = 0,64$, физический износ 98,71 %), так и дефицитными значениями лимитов на подачу воды из р. Волги.

Изучение структуры водораспределения по Сарпинской ООС за 2013–2021 гг. (таблица 4) подтверждает сокращение объемов водоподдачи до 105,66 млн м³ в 2020 г., когда в Калмыкии была сильнейшая засуха. В 2021 г. подача воды была увеличена до 145,45 млн м³, тем не менее потребность системы в водных ресурсах на начало года составляла не менее 224,5 млн м³. В 2021 г. остались без полива 18,267 тыс. га, что составляет 58,8 % от всех земель, фактически обслуживаемых Сарпинской ООС.

Опираясь на данные технико-эксплуатационных карт Сарпинской ООС за 2013–2021 гг., определили значения потерь воды при ее транспортировке по системе (таблица 5).

С учетом того, что все каналы рассматриваемой системы выполнены в земляном русле, значения потерь воды при транспортировке в некоторые периоды (в 2015 и 2020 гг.) оказались соизмеримы с объемами подачи воды на орошение (рисунок 3),

а в 2015 и 2019 гг. потери достигали наибольших значений за исследуемый период – 37,0–37,5 % от общих значений объемов водозабора в Сарпинскую ООС.

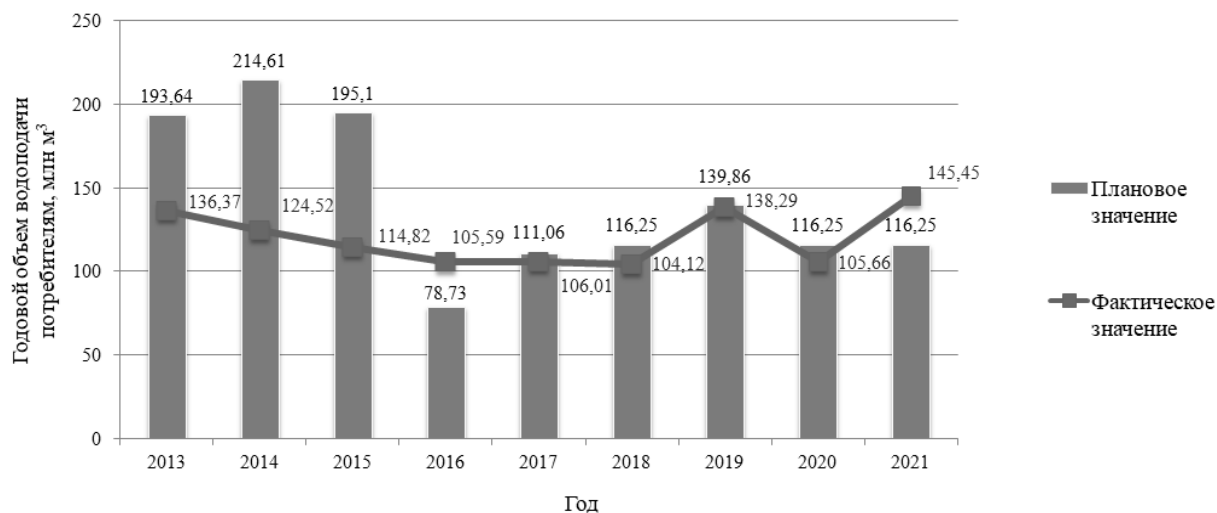


Рисунок 2 – Изменение плановых и фактических значений годовых объемов подачи воды потребителям по Сарпинской оросительно-обводнительной системе за 2013–2021 гг.

Figure 2 – Change in the planned and actual values of annual water supply volumes to consumers through the Sarpinsky irrigation and watering system for 2013–2021

Таблица 4 – Структура водораспределения по Сарпинской оросительно-обводнительной системе

В млн м³

Table 4 – Structure of water distribution in the Sarpinsky irrigation and watering system

In million m³

Назначение	Объем водоподачи потребителям									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Орошение	126,7	86,4	73,85	73,25	78,78	92,49	125,47	68,69	104,41	
Лиманное орошение	25,6	22,47	21,19	28,14	18,13	18,85	24,13	25,03	32,03	
Обводнение	7,2	0,55	0,77	–	–	–	–	–	–	
Прочие нужды	9,10	11,56	19,01	4,2	9,10	–	12,82	11,94	9,01	
Итого	168,8	120,98	114,82	105,59	106,01	111,34	162,42	105,66	145,45	

Таблица 5 – Значение потерь воды при транспортировке

Table 5 – The value of water losses during transportation

Год	Объем потерь воды при транспортировке по системе, млн м ³	В % от годового объема водозабора
1	2	3
2013	66,69	32,84
2014	29,794	19,3
2015	67,46	37,0
2016	37,56	26,24
2017	60,03	36,15

Продолжение таблицы 5

1	2	3
2018	59,84	36,5
2019	82,91	37,5
2020	60,34	36,35
2021	44,49	23,42



Рисунок 3 – Динамика объемов забора воды для нужд орошения и потерь при транспортировке
Figure 3 – Dynamics of water withdrawal for irrigation needs and losses during transportation

Отсутствие противофильтрационных элементов, длительный период эксплуатации каналов, а также плохая дренированность и бессточность территории междуречья Терека, Дона и Волги, где расположена Сарпинская ООС, способствовали подъему уровня грунтовых вод, подтоплению и заболачиванию земель, а также ухудшению экологической ситуации в зоне действия системы.

Государственной программой по развитию сельского хозяйства уже намечена реконструкция магистрального канала Р-1 Сарпинской ООС, однако для обеспечения рациональности и повышения эффективности распределения волжской воды в пределах всей Сарпинской системы потребуется реализация целого комплекса мер. В частности, необходимо:

- исключить несанкционированный забор воды из системы и оснастить ее современными приборами водоучета как на магистральных каналах, так и на водовыпусках в рисовые чеки;
- провести своевременную очистку русел каналов от наносов и растительности для исключения снижения пропускной способности проводящей сети;
- разработать мероприятия по эффективному отводу дренажного стока с рисовых массивов и оценить возможность повторного использования данного стока для полива сопутствующих культур в рисовом севообороте;
- реализовать противофильтрационные мероприятия на наиболее проблемных участках водораспределительной сети;
- решить вопросы, связанные с недостатком поливной техники и оплатой электроэнергии при осуществлении орошения сельхозкультур;

- обосновать необходимость повышения лимитов водоподачи в Сарпинскую ООС в целях увеличения площадей регулярного и лиманного орошения;
- автоматизировать водораспределение по системе для обеспечения водосбережения.

Выводы. На основании изучения структуры водораспределения в пределах Сарпинской ООС определено, что фактические значения годовой подачи воды потребителям лишь дважды превышали плановые значения (в 2016 г. на 34,12 % и в 2021 г. на 25,12 %). В остальные периоды объемы водоподачи были ниже плановых (на 29,58–41,98 % в 2013–2015 гг. и на 1,12–10,43 % в 2017–2020 гг.), что обусловлено дефицитными значениями лимитов на подачу воды из р. Волги, а также значительным физическим износом сооружений системы, составляющим 98,71 % (по данным на 2021 г.).

Установлено, что в 2015 и 2020 гг. потери воды при транспортировке были соизмеримы с объемами подачи воды на орошение, а в 2015 и 2019 гг. наблюдались наибольшие значения потерь воды за исследуемый период (37,0–37,5 % от общих значений объемов водозабора в Сарпинскую ООС).

В целях обеспечения рационального водопотребления, сохранения и развития рисоводческой отрасли в Калмыкии необходимо решить комплекс приоритетных задач в части: технической реновации Сарпинской ООС, увеличения лимитов на подачу воды, минимизации потерь, финансовой поддержки сельхозтоваропроизводителей при оплате электроэнергии для орошения сельхозкультур в рассматриваемом регионе.

Список источников

1. Геоэкологические последствия хозяйственной деятельности в Республике Калмыкия [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М. М. Сангаджиев, Т. В. Манджиева, С. А. Сангаджиева, В. А. Онкаев. Элиста, 2020. 222 с. URL: <http://scipro.ru/conf/geology.pdf> (дата обращения: 25.04.2022).
2. Дедова Э. Б., Шабанов Р. М., Дедов А. А. Пути повышения эффективности функционирования рисовой оросительной системы на территории Сарпинской низменности // *Colloquium-journal*. 2019. № 5(29). С. 41–43.
3. Мониторинг водных ресурсов Республики Калмыкия и проблемы экосистемного водопользования в агропромышленном комплексе / А. С. Овчинников, В. В. Бородычев, Э. Б. Дедова, М. А. Сазанов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2015. № 3(39). С. 9–19.
4. Бородычев В. В., Дедова Э. Б., Сухарев Ю. И. Ресурсно-экологическая оценка рисовых агроландшафтов Сарпинской низменности // *Природообустройство*. 2016. № 2. С. 55–61.
5. Сарпинская оросительно-обводнительная система на территориях Волгоградской, Астраханской областей и Республики Калмыкия, ее геоэкологические и гидротехнические проблемы и пути их решения / А. А. Сухов, Д. П. Арьков, Д. Н. Никифорова, К. А. Ляшенко // *Вестник мелиоративной науки*. 2021. № 2. С. 28–32.
6. Техничко-эксплуатационная карта мелиоративной системы [2020] // Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: https://inform-raduga.ru/gts/93439?report=tek¤t_id=113869 (дата обращения: 19.01.2022).
7. Дедова Э. Б. Мелиоративный комплекс Калмыкии: проблемы и пути решения // *Вестник Института комплексных исследований аридных территорий*. 2011. Т. 2, № 2(33). С. 123–128.
8. К проблеме подтопления земель на юге европейской части России / В. В. Разумов, Э. Н. Молчанов, А. Я. Глушко, Н. В. Разумова // *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2014. Вып. 73. С. 3–28.

9. Проблемы водопользования и функционирования водохозяйственного комплекса Республики Калмыкия / Э. Б. Дедова, А. А. Дедов, В. И. Иванова, Т. Н. Манджиева // Основные результаты научных исследований института за 2018 год: сб. науч. тр. / ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2019. С. 64–73.

10. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин [и др.]. Новочеркасск: Геликон, 2013. Ч. 1. 307 с.

11. Сарпинская обводнительно-оросительная система [2013–2020] // Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/gts/93439> (дата обращения: 26.04.2022).

12. Вердыш М. В. Анализ планового водопользования на Каховской оросительной системе // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 4(68). С. 11–19.

References

1. Sangadzhiev M.M., Mandzhieva T.V., Sangadzhieva S.A., Onkaev V.A., 2020. *Geoekologicheskie posledstviya khozyaystvennoy deyatel'nosti v Respublike Kalmykiya: uchebnik* [Geoecological Consequences of Economic Activity in the Republic of Kalmykia: textbook]. Elista, 222 p., available: <http://scipro.ru/conf/geology.pdf> [accessed 25.04.2022]. (In Russian).

2. Dedova E.B., Shabanov R.M., Dedov A.A., 2019. *Puti povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya risovoy orositel'noy sistemy na territorii Sarpinskoy nizmennosti* [Ways to improve operating efficiency of the rice irrigation system on the territory of Sarpinsky lowland]. Colloquium-Journal, no. 5(29), pp. 41-43. (In Russian).

3. Ovchinnikov A.S., Borodychev V.V., Dedova E.B., Sazanov M.A., 2015. *Monitoring vodnykh resursov Respubliki Kalmykiya i problemy ekosistemnogo vodopol'zovaniya v agropromyshlennom komplekse* [Monitoring of water resources of the Republic of Kalmykia and problems of water use ecosystem in the agro-industrial complex]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(39), pp. 9-19. (In Russian).

4. Borodychev V.V., Dedova E.B., Sukharev Yu.I., 2016. *Resursno-ekologicheskaya otsenka risovykh agrolandshaftov Sarpinskoy nizmennosti* [Resource-ecological assessment of rice agrolandscapes of the Sarpinsky lowland]. *Prirodoobustroystvo* [Environment Engineering], no. 2, pp. 55-61. (In Russian).

5. Sukhov A.A., Arkov D.P., Nikiforova D.N., Lyashenko K.A., 2021. *Sarpinskaya orositel'no-obvodnitel'naya sistema na territoriyakh Volgogradskoy, Astrakhanskoy oblastey i Respubliki Kalmykiya* [Sarpinsky irrigation and watering system in the territories of Volgograd, Astrakhan regions and the Republic of Kalmykia, its geoecological and hydro-technical problems and ways to solve them]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bulletin of Reclamation Science], no. 2, pp. 28-32. (In Russian).

6. *Tekhniko-ekspluatatsionnaya karta meliorativnoy sistemy [2020]. Informatsionnyy portal FGBNU VNIИ "Raduga"* [Technical and operational map of the reclamation system [2020]. Information Portal of the "Rainbow"], available: https://inform-raduga.ru/gts/93439?report=tek¤t_id=113869 [accessed 19.01.2022]. (In Russian).

7. Dedova E.B., 2011. *Meliorativnyy kompleks Kalmykii: problemy i puti resheniya* [Reclamation complex of Kalmykia: problems and solutions]. *Vestnik Instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territoriy* [Bulletin of Institute for Complex Research of Arid Territories], vol. 2, no. 2(33), pp. 123-128. (In Russian).

8. Razumov V.V., Molchanov E.N., Glushko A.Ya., Razumova N.V., 2014. *K probleme*

podtopleniya zemel' na yuge evropeyskoy chasti Rossii [On the problem of land flooding in the south of European Russia]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva* [Bulletin of Soil Institute named after V.V. Dokuchaev], iss. 73, pp. 64-73. (In Russian).

9. Dedova E.B., Dedov A.A., Ivanova V.I., Mandzhieva T.N., 2019. *Problemy vodopol'zovaniya i funktsionirovaniya vodokhozyaystvennogo kompleksa Respubliki Kalmykiya* [Problems of water use and functioning of the water management complex of the Republic of Kalmykia]. *Osnovnye rezul'taty nauchnykh issledovaniy instituta za 2018 god: sb. nauchnykh trudov* [Main Results of Scientific Research of the Institute for 2018: Proc. of FGBNU VNIIGiM named after A.N. Kostyakov]. Moscow, VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, pp. 64-73. (In Russian).

10. Shchedrin V.N. [et al], 2013. *Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya* [Irrigation Systems of Russia: from Generation to Generation: monograph]. Novocheerkassk, Helikon Publ., pt. 1, 307 p. (In Russian).

11. *Sarpinskaya obvodnitel'no-orositel'naya sistema [2013–2020]. Informatsionnyy portal FGBNU VNII "Raduga"* [Sarpinsky watering and irrigation system [2013–2020]. Information portal of the Federal State Budget Scientific Institution All-Russian Research Institute "Rainbow"], available: <https://inform-raduga.ru/gts/93439> [accessed 26.04.2022]. (In Russian).

12. Verdysh M.V., 2017. *Analiz planovogo vodopol'zovaniya na Kakhovskoy orositel'noy sisteme* [Analysis of planned water use on the Kakhovka irrigation system]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(68), pp. 11-19. (In Russian).

Информация об авторе

Д. В. Бакланова – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the author

D. V. Baklanova – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.05.2022; одобрена после рецензирования 06.05.2022; принята к публикации 18.05.2022.

The article was submitted 04.05.2022; approved after reviewing 06.05.2022; accepted for publication 18.05.2022.

Обзорная статья
УДК 626.81:631.67

**К вопросу использования водных ресурсов для целей орошения
на Пролетарской оросительной системе Ростовской области**

Сергей Владимирович Ковалев, Александр Анатольевич Кузьмичев
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Сергей Владимирович Ковалев,
rosniipmovpvpark@yandex.ru

Аннотация. Цель: выполнить анализ использования водных ресурсов для целей орошения на Пролетарской оросительной системе Ростовской области, а также сравнить нормативную и фактическую водопотребность рисовых севооборотов. **Материалы и методы.** В качестве исходных данных использованы материалы, характеризующие количественные показатели по объему использования водных ресурсов и динамике площади орошаемых земель за период 2013–2019 г. Усредненная норма водопотребности рисового севооборота при насыщенности рисом 65 % для условий Ростовской области принята в размере 13670 м³/га. **Выводы.** Объем воды, фактически забираемый из Донского магистрального канала в Пролетарский магистральный канал, за исследуемый период соответствовал плановым показателям, однако водоподача на орошение непосредственно хозяйствам превысила план на 3–10 %. Площадь фактически политых земель составляет 19,9–23,7 тыс. га, что меньше проектной площади на 78 %. С 2017 г. наблюдается сокращение фактически орошаемых земель на 19 % по сравнению с предыдущим трехлетним периодом. За исследуемый период фактическая норма водопотребности рисового севооборота превышала нормативный показатель. С 2013 по 2016 г. превышение составило 12 %, начиная с 2017 г. – 32 %. Причинами сокращения площади политых земель с увеличением фактической нормы водопотребности рисового севооборота являются нерациональное использование водных ресурсов, завышение поливных норм, выращивание нерайонированных сортов риса, обладающих большей водопотребностью, а также потери при транспортировке из-за низкого технического состояния каналов водопроводящей сети.

Ключевые слова: Пролетарская оросительная система, орошение, Ростовская область, проектная площадь орошения, фактически политые земли, водные ресурсы

Review article

**On the issue of using water resources for irrigation
at the Proletarian irrigation system of Rostov region**

Sergey V. Kovalev, Alexander A. Kuzmitchev
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

Corresponding author: Sergey V. Kovalev, rosniipmovpvpark@yandex.ru

Abstract. Purpose: to analyze the water resources use for irrigation purposes in the Proletarian irrigation system of Rostov region, as well as to compare the standard and actual water demand of rice crop rotations. **Materials and methods.** Materials characterizing quantitative indicators in terms of the water resources use volume and the irrigated land area dynamics for the period 2013–2019 were used as initial data. The average rate of water demand

for rice crop rotation with rice saturation of 65 % for the conditions of Rostov region was adopted as 13670 m³/ha. **Conclusions.** The volume of water actually withdrawn from the Donskoy main canal to the Proletarsky main canal for the study period corresponded to the planned indicators, however, water supply for irrigation directly to the farms exceeded the plan by 3–10 %. The area of actually irrigated lands is 19.9–23.7 thousand hectares, which is 78 % less than the design area. Since 2017, there has been a reduction in actually irrigated land by 19 % compared to the previous three-year period. During the study period, the actual water demand rate in rice crop rotation exceeded the normative indicator. From 2013 to 2016, the excess was 12 %, since 2017 – 32 %. The reasons for the reduction of the irrigated land area with an increase in the actual rate of water demand in rice crop rotation are the irrational use of water resources, overestimation of irrigation rates, the cultivation of non-zoned rice varieties with greater water demand, as well as losses during transportation due to the poor technical condition of the water supply network channels.

Keywords: the Proletarian irrigation system, irrigation, Rostov region, project irrigation area, actually irrigated lands, water resources

Введение. В 50–60-х гг. XX в. в России начато масштабное развитие мелиорации земель. Строительство мелиоративных систем охватило различные регионы страны, наиболее подверженные влиянию засух. Были созданы крупные оросительные системы (ОС) на Северном Кавказе, Кубани, Дону и в Поволжье, а общая площадь орошаемых и осушаемых земель достигала 17 млн га [1].

В Ростовской области на территории Мартыновского и Пролетарского районов в 1957 г. начато строительство Пролетарской ОС. Строительство продолжалось 15 лет и было закончено в 1972 г. Сельскохозяйственные земли были разбиты на четкие прямоугольники рисовых чеков, их пересекала сеть оросительных и коллекторно-сбросных каналов. Общая площадь орошения на построенной ОС составила 30,2 тыс. га, а протяженность оросительных каналов, как внутрихозяйственных, так и межхозяйственных, – 1371,7 км. В систему была предусмотрена подача воды из Донского магистрального канала (ДМК). Схема размещения орошаемых земель на Пролетарской ОС приведена на рисунке 1 [2–4].

Материалы и методы. Норма фактической водопотребности риса на Пролетарской ОС оценивалась по отношению к нормативным показателям, приведенным в монографии «Нормативы водопотребности риса в различных агроклиматических зонах России» под редакцией С. М. Васильева и др. [5]. В качестве исходных данных использованы материалы, характеризующие количественные показатели по объему использования водных ресурсов и динамике площади орошаемых земель за период 2013–2019 г.

Обсуждение. В настоящее время в состав рисовых севооборотов включаются такие культуры, как люцерна и гречиха, а доля преобладающей культуры – риса – достигает 65 %. Для орошения риса при постоянном затоплении необходима правильная организация водопользования. Ключевыми этапами такого водопользования являются забор воды из источника, а также доставка и распределение ее между хозяйствами. Как известно, использование воды на орошение осуществляется на основании внутрихозяйственного и системного планов водопользования, регламентирующих в соответствии с определенными условиями забор воды из источника орошения, а также ее транспортировку [6–8].

Однако объем фактически используемых водных ресурсов зачастую значительно отличается от плановых показателей. Данные об объеме использования водных ресурсов Пролетарской ОС представлены на рисунке 2.

Объем воды, фактически забираемый из ДМК в Пролетарскую ОС, за шестилетний период практически не превышал плановых показателей, только в 2016 г. наблюдается превышение фактического объема забранной воды на 8 %. Таким образом, эксплу-

атирующая организация полностью выполнила обязательства по обеспечению ОС водными ресурсами. Однако объем воды, фактически поданный на орошение за тот же период, был выше плановых показателей на 3–10 %.



Рисунок 1 – Орошаемые земли Пролетарской оросительной системы

Figure 1 – Irrigated lands of the Proletarian irrigation system

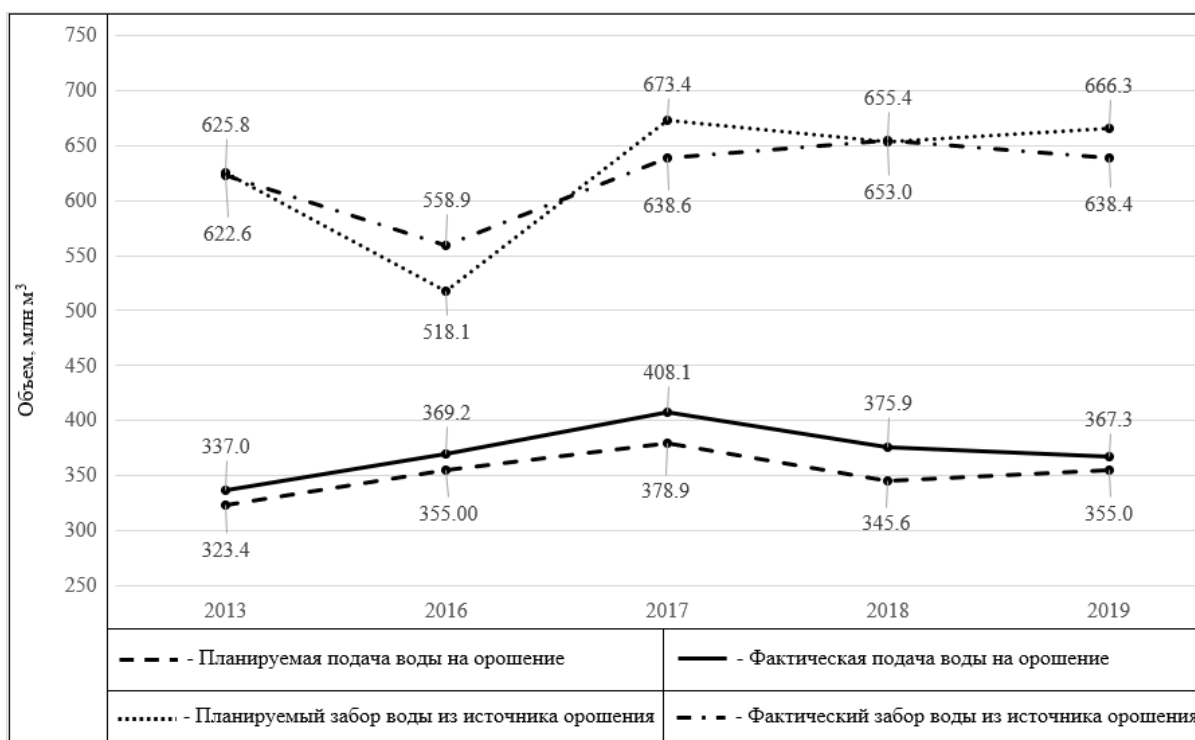


Рисунок 2 – Использование водных ресурсов Пролетарской оросительной системы

Figure 2 – Water resources use of the Proletarian irrigation system

На орошаемом массиве Пролетарской ОС имеется восемь рисосеющих хозяйств: СПК «Цимлянский», СПК «Луч», ООО «Буденновский», ОПХ «Пролетарское», ООО «Аргамак», ООО «Энергия», ООО «Приманычский» и ООО «МерАл» [9]. За период 2013–2019 гг. площадь фактически политых земель на ОС составляла 19,9–23,7 тыс. га, что значительно меньше проектных значений. Максимум был достигнут в 2016 г. и составил 23,7 тыс. га (78 % от проектной площади). При этом с 2017 г. наблюдается существенное сокращение площади фактически политых земель. По отношению к 2016 г. сокращение составило 19 %, а меньше всего было полито в 2018 г. График изменения площади орошаемых земель представлен на рисунке 3.

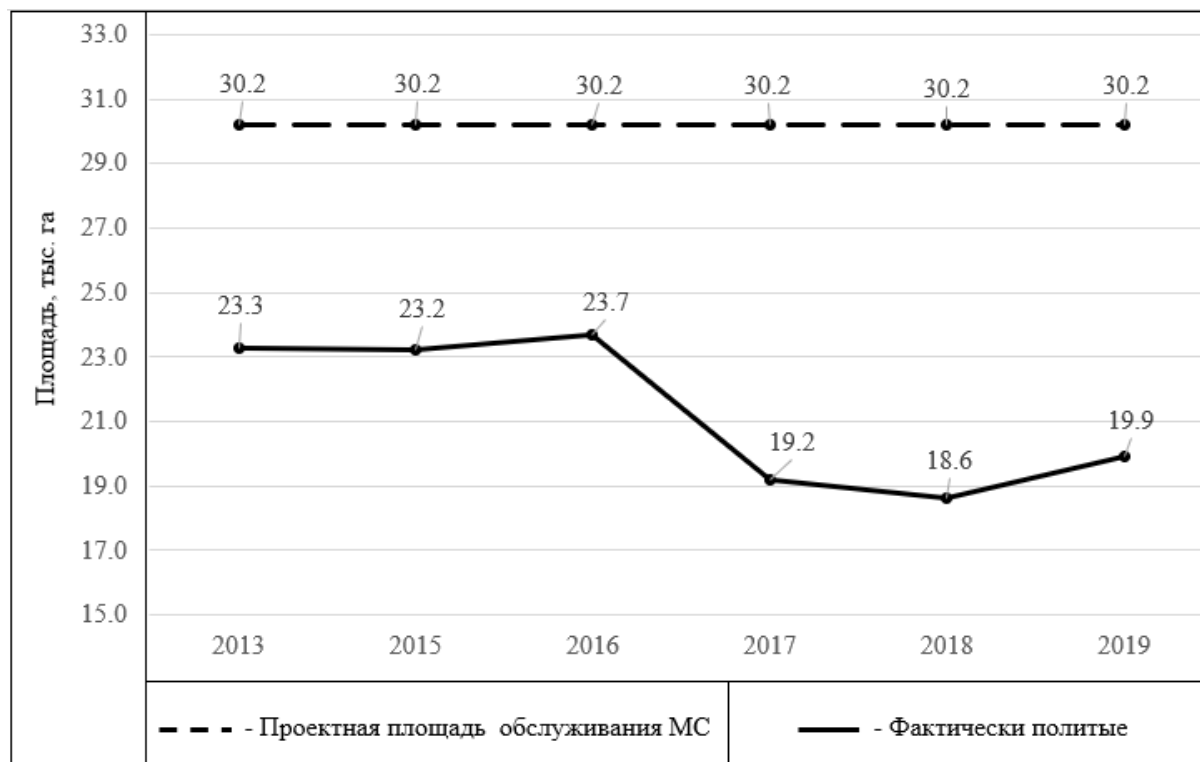


Рисунок 3 – Динамика площади орошаемых земель

Figure 3 – Dynamics of the irrigated land area

Имея данные о фактически политой площади земель, а также объемах вододачи на орошение, можно рассчитать фактическую норму водопотребности рисового севооборота за исследуемый период. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Норма фактической водопотребности рисового севооборота на Пролетарской оросительной системе за период 2013–2019 гг.

В м³/га

Table 1 – The rate of actual water demand for rice crop rotation on the Proletarian irrigation system for the period 2013–2019

In m³/ha

Год	2013	2015	2016	2017	2018	2019
Норма водопотребности	14460	16790	15580	21260	20210	18460

Полученные данные показывают существенное увеличение фактической нормы водопотребности с 2017 г. – среднее значение за период с 2017 по 2019 г. увеличилось на 22 % по сравнению с предыдущим трехлетним периодом.

Согласно данным монографии «Нормативы водопотребности риса в различных агроклиматических зонах России» под редакцией С. М. Васильева и др. [5], усредненная

норма водопотребности рисового севооборота при насыщенности рисом 65 % для условий Ростовской области составляет 13670 м³/га. Сравнивая нормативный показатель с фактическими значениями, можно сделать вывод о том, что фактическая норма водопотребности рисовых севооборотов на Пролетарской ОС за рассматриваемый период превышала нормативную.

За период с 2013 по 2016 г. фактическая норма водопотребности превысила нормативный показатель на 12 %, а начиная с 2017 г. превышение составило 32 %. Вероятными причинами возникновения подобной ситуации могут служить: нерациональное использование водных ресурсов, завышение поливных норм, а также потери при транспортировке из-за низкого технического состояния каналов.

Выводы. Объем воды, фактически забираемый из ДМК в Пролетарский магистральный канал, за период 2013–2016 гг. соответствовал плановым показателям. Однако фактическая подача воды для целей орошения непосредственно в хозяйства превышала план на 3–10 %.

За период 2013–2019 гг. площадь фактически политых земель составляла 19,9–23,7 тыс. га и была меньше проектной площади (78 % от проектной). С 2017 г. площадь фактически политых земель сократилась на 19 % по сравнению с предыдущим трехлетним периодом.

За исследуемый период фактическая норма водопотребности рисового севооборота превышала нормативный показатель. С 2013 по 2016 г. превышение составило 12 %, начиная с 2017 г. – 32 %.

Выявленными причинами сокращения площади политых земель на Пролетарской ОС за исследуемый период с увеличением фактической нормы водопотребности рисового севооборота являются нерациональное использование водных ресурсов, завышение поливных норм, выращивание нерайонированных сортов риса, обладающих большей водопотребностью, а также потери при транспортировке из-за низкого технического состояния каналов водопроводящей сети.

Список источников

1. Современное состояние и пути решения проблем водохозяйственного использования Пролетарской оросительной системы / Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4(64). С. 12–16.

2. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. Новочеркасск: Геликон, 2013. 307 с.

3. Анализ некоторых показателей развития орошаемого земледелия в зоне ответственности Пролетарского магистрального канала в Ростовской области / Г. А. Сенчуков, Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4(64). С. 155–160.

4. Техническое состояние и эффективность режима эксплуатации Пролетарского магистрального канала / В. Д. Гостищев, Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 2(70). С. 6–10.

5. Нормативы водопотребности риса в различных агроклиматических зонах России: монография / С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, С. Н. Якуба, Н. Н. Мальшева, С. В. Кизинек. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2020. 202 с.

6. Пономаренко Т. С., Бреева А. В. Анализ современного состояния рисоводческой отрасли в Ростовской области // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 1(61). С. 23–28.

7. Шумаков Б. Б. Щедра напоенная земля [Электронный ресурс] // Природа Донского края. Научно-популярные статьи и очерки. Ростов н/Д., 1978. 208 с. URL: <http://rostov-region.ru/books/item/f00/s00/z0000039/st011.shtml> (дата обращения: 15.04.2022).

8. Штанько А. С. Планирование и реализация водопользования на оросительных системах в условиях дефицита водных ресурсов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2016. № 2(22). С. 73–94. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1082> (дата обращения: 15.04.2022).

9. Макаров В. В., Середа М. В. Особенности агротехники возделывания риса в Ростовской области // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2012. № 79(05). 10 с. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/52.pdf> (дата обращения: 15.04.2022).

References

1. Ponomarenko T.S., Ryzhakov A.N., Breeva A.V., Martynov D.V., 2016. *Sovremennoe sostoyanie i puti resheniya problem vodokhozyaystvennogo ispol'zovaniya Proletarskoy orositel'noy sistemy* [Current state and ways of solving water management problems of the Proletarian irrigation system]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(64), pp. 12-16. (In Russian).

2. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasiliev S.M., Churaev A.A., 2013. *Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya* [Irrigation Systems of Russia: from Generation to Generation: monograph]. In 2 parts, pt. 2, Novochoerkassk, Helikon Publ., 307 p. (In Russian).

3. Senchukov G.A., Ponomarenko T.S., Ryzhakov A.N., Breeva A.V., 2016. *Analiz nekotorykh pokazateley razvitiya oroshaemogo zemledeliya v zone otvetstvennosti Proletarskogo magistral'nogo kanala v Rostovskoy oblasti* [Analysis of some indicators of irrigated agriculture development in the area of responsibility of the Proletarian main canal in Rostov region]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(64), pp. 155-160. (In Russian).

4. Gostishchev V.D., Ponomarenko T.S., Ryzhakov A.N., Martynov D.V., 2018. *Tekhnicheskoe sostoyanie i effektivnost' rezhima ekspluatatsii Proletarskogo magistral'nogo kanala* [Technical state and operational regime of Proletarskiy main canal]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(70), pp. 6-10. (In Russian).

5. Vasilyev S.M., Balakay G.T., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Yakuba S.N., Malsheva N.N., Kizinek S.V., 2020. *Normativy vodopotrebnosti risa v razlichnykh agroklimaticheskikh zonakh Rossii: monografiya* [Rice Water Requirements in Various Agro-Climatic Zones of Russia: monograph]. Novochoerkassk, RosNIIPM, 202 p. (In Russian).

6. Ponomarenko T.S., Breeva A.V., 2016. *Analiz sovremennogo sostoyaniya risovodcheskoy otrasli v Rostovskoy oblasti* [Analysis of the current state of the rice industry in Rostov region]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(61), pp. 23-28. (In Russian).

7. Shumakov B.B., 1978. *Shchedra napoyennaya zemlya* [Generous Watered Land]. *Priroda Donskogo kraya. Nauchno-populyarnye stat'i i ocherki* [Don Region Nature. Popular Science Articles and Essays]. Rostov-on-Don, 208 p., available: <http://rostov-region.ru/books/item/f00/s00/z0000039/st011.shtml> [accessed 15.04.2022]. (In Russian).

8. Shtanko A.S., 2016. [Water consumption planning and implementation for irrigation systems under the conditions of water scarcity]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(22), pp. 73-94, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1082> [accessed 15.04.2022]. (In Russian).

9. Makarov V.V., Sereda M.V., 2012. [Peculiarities of agricultural technology of rice cultivation in Rostov region]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU: politematicheskiy setevoy elektronnyy zhurnal*, no. 79(05), 10 p., available: <http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/52.pdf> [accessed 15.04.2022]. (In Russian).

Информация об авторах

С. В. Ковалев – инженер, rosniipmoprparp@yandex.ru

А. А. Кузьмичев – старший научный сотрудник, кандидат технических наук,

rosniipmoprparp@yandex.ru

Information about the authors

S. V. Kovalev – Engineer, rosniipmoprparp@yandex.ru

A. A. Kuzmichev – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences,

rosniipmoprparp@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 19.05.2022; принята к публикации 02.06.2022.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 19.05.2022; accepted for publication 02.06.2022.

Научная статья
УДК 338.43:631.67

Технико-экономические показатели восстановления орошаемых массивов в Ростовской области на примере субсидированных проектов

Вячеслав Дмитриевич Гостищев¹, Таисия Сергеевна Пономаренко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹nb515@mail.ru

²ponomarenko.taisia@yandex.ru

Аннотация. Цель: рассмотрение проблематики восстановления орошения на территориях оросительных систем Ростовской области. **Материалы и методы.** В статье проанализированы 20 проектов строительства и технического перевооружения орошаемых участков, которые были реализованы на территории девяти районов Ростовской области в период с 2017 по 2020 г. **Результаты.** В распоряжении имеется 38 систем с площадью орошения 300 тыс. га, при этом за период с 2015 по 2020 г. площади фактически политых земель составляли не более 25 % от общей обслуживаемой площади. Решающим фактором отказа от восстановления орошения является финансовая составляющая. Основные статьи расхода средств при проектировании орошаемых участков – это покупка оборудования, строительные и монтажные работы. В процентном соотношении средняя стоимость строительных работ составляет 34,9 %, монтажных 1,7 %, покупка оборудования 63,2 % и прочие затраты 0,2 % от общей цены проекта. Удельные затраты из расчета восстановления 1 га орошаемой площади, тыс. руб.: на оборудование насосной станции – 26,42, на устройство закрытой оросительной сети – 53,25, на приобретение и установку дождевальных машин – 117,35, на устройство оросительной сети для капельного орошения – 263,08. В среднем стоимость строительства и технического вооружения 1 га при орошении дождеванием составляет 202 тыс. руб., при капельном орошении – 191 тыс. руб. **Выводы.** Современные реалии диктуют необходимость заинтересовать и оказать содействие всем хозяйствам, которые находятся в зоне влияния оросительных систем, но не осуществляют поливы по различным причинам. На начальном этапе для принятия руководителями таких хозяйств решений немаловажным аспектом является разработка бизнес-планов на основе укрупненных стоимостных показателей затрат на восстановление орошения с использованием современных дождевальных машин, а также устройством систем капельного орошения.

Ключевые слова: восстановление орошения, причины недополива, технико-экономические показатели, удельная стоимость восстановления орошаемого гектара

Original article

Technical and economic indicators of the irrigated areas restoration in Rostov region by the example of subsidized projects

Vyacheslav D. Gostishchev¹, Taisiya S. Ponomarenko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹nb515@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0868-0712>

²ponomarenko.taisia@yandex.ru

Abstract. Purpose: consideration of the irrigation restoration issues in the territories of irrigation systems of Rostov region. **Materials and methods.** 20 construction and technical

re-equipment projects of irrigated plots implemented on the territory of nine districts of Rostov region from 2017 to 2020 were analyzed. **Results.** There are 38 systems with 300000 hectares irrigation area at disposal, while for the period from 2015 to 2020, the area of actually irrigated lands amounted to no more than 25 % of the total serviced area. The decisive factor to refuse irrigation restoration is the financial component. The main expenditure items in designing irrigated areas are the purchase of equipment, construction and installation work. In percentage terms, the average cost of construction work is 34.9 %, installation 1.7 %, equipment purchase 63.2 % and other costs 0.2 % of the total project price. Specific costs based on the restoration of 1 hectare of irrigated area, thousand rubles: for the pumping station equipment – 26.42, for the closed irrigation network installation – 53.25, for the purchase and installation of sprinkling machines – 117.35, for the installation of the drip irrigation system networks – 263.08. On average, the cost of construction and technical equipment of 1 ha with sprinkling irrigation is 202 thousand rubles, with drip irrigation is 191 thousand rubles. **Conclusions.** Modern realities dictate the need to provoke interest and assistance to all farms that are in the zone of irrigation systems influence, but do not irrigate for various reasons. At the initial stage, for the managers of such farms to make decisions, an important aspect is the development of business plans based on aggregate cost indicators for the irrigation restoration with modern sprinklers, as well as the installation of drip irrigation systems.

Keywords: restoration of irrigation, reasons for under-irrigation, technical and economic indicators, unit cost of an irrigated hectare restoration

Введение. Интенсивное вовлечение в орошение земель сельскохозяйственного назначения позволило во второй половине прошедшего столетия технически реализовать орошение на площади 11,3 млн га. Для мелиораторов далеко не секрет, что, занимая чуть более 10 % от общей площади сельскохозяйственных земель, орошаемые земли обеспечивали порядка 30 % продукции растениеводства в общем объеме ее валового производства [1].

Площадь орошаемых земель в 2020 г., по данным Доклада о мелиоративном комплексе России, составила 4670 тыс. га, при этом поливы были осуществлены на площади всего 1690 тыс. га [2]. Это свидетельствует о том, что на 64 % площади (2,9 млн га) орошение не осуществлялось.

Существенное сокращение орошаемых площадей произошло в 90-е гг. XX в. в связи с переходом к рыночным отношениям и возникшим системным кризисом. Вместо крупных хозяйств государственной собственности стали появляться мелкие хозяйства с различными видами частной собственности. При этом часть оросительных систем в виде магистральных каналов и головных водозаборных сооружений осталась в собственности государства. Такая форма хозяйствования неизбежно привела к проблемам управления и поддержания в работоспособном состоянии оросительной сети, включая все ее элементы – насосные станции, водопроводящую сеть, ГТС, поливную технику. Кроме того, остро встали вопросы сохранения почвенного плодородия по причине отсутствия должного обеспечения благоприятного эколого-мелиоративного состояния. В первую очередь сокращение коснулось территорий оросительных систем, требующих наибольших затрат на подачу поливной воды, а также земель с низким естественным плодородием [3].

Современные реалии времени требуют более внимательного подхода к решению этих вопросов [4, 5].

Материалы и методы. В настоящее время в Ростовской области насчитывается 38 оросительных систем, суммарная площадь орошения которых составляет 300 тыс. га. За период с 2015 по 2020 г. площадь фактически политых земель находилась в диапазоне 41–74 тыс. га (15–25 % от общей обслуживаемой площади). За этот же период

суммарный водозабор из водоисточников составлял 1,4–1,9 км³, а подача воды на орошение – 0,7–0,9 км³.

Статистические данные Министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области о потенциальных площадях орошения в хозяйствах после проведения мероприятий по вовлечению неиспользованных орошаемых земель за 2020 г. отображают перспективные площади в количестве 184 тыс. га (из них на государственных системах 170 тыс. га и на местном стоке 14 тыс. га). В качестве причин невозможности осуществления орошения в соответствующем столбце таблицы значатся следующие формулировки: неисправность внутрихозяйственной сети, неисправность (отсутствие) насосных станций, разрушенные ГТС, лотковая сеть разрушена, разрушен подающий трубопровод, отсутствие финансовых средств, неисправность (отсутствие) дождевальной техники, почвы частично засолены. Такая форма сбора информации дает общее представление о причинах отсутствия поливов на ранее орошаемых площадях.

Результаты и обсуждение. Более подробное погружение в проблематику вопроса на основе детального анкетирования хозяйств Ростовской области, находящихся в зоне влияния оросительных систем и не осуществляющих поливы, показывает, что такая неблагоприятная ситуация складывается, как правило, из-за совокупности целого «букета» причин. Это и организационные причины, и отсутствие представления о порядке действий для восстановления орошения, получение разрешений, согласований, составление технических заданий на проведение изысканий и проектирование, отсутствие специалистов (в т. ч. гидротехников), дождевальной техники и насосно-силового оборудования. Для решения комплекса этих вопросов первые шаги, которые хозяйства предпринимают на начальном этапе, упираются в так называемые бизнес-планы, а именно отсутствие стоимостных показателей по всем статьям предполагаемых затрат и возможной прибыли хотя бы в укрупненных показателях.

Решающим фактором отказа от восстановления орошения является финансовая составляющая. Поэтому немаловажным аспектом при разработке бизнес-планов будет учет компенсаций всевозможных затрат от государства в виде субсидий. Такие программы дают возможность получения компенсаций на проекты орошения, культуртехнические работы, мелиорацию земель и техническое перевооружение при грамотном и своевременном оформлении всех документов, предусмотренных постановлениями Правительства Российской Федерации [6].

Для формирования представления в укрупненных показателях о стоимостных характеристиках затрат на восстановление орошения современными дождевальными машинами (ДМ) и устройство капельного орошения из расчета на 1 га нами было проанализировано 20 проектов строительства и технического перевооружения орошаемых участков, которые были реализованы на территории девяти районов Ростовской области (рисунок 1) на общей площади 2810 га. Из них 14 на проектирование орошения дождевальной техникой, пять на капельное орошение и один на проектирование насосной станции. В процентном соотношении из общей проектной площади капельное орошение составляет 18 %.

Наибольшее количество проектов было реализовано в Неклиновском районе (четыре), из них три – капельное орошение.

По данным проектов сельскохозяйственное использование орошаемых земель выглядит следующим образом: 60 % от общей площади – кукуруза на зерно, 23 % – зерновые, 13 % – садовые растения и по 2 % картофель и технические культуры (рисунок 2).

Суммарное количество ДМ на общей площади 2305,9 га составило 38 шт., что в удельных показателях составляет одну ДМ на 60,7 га. Усредненно это поле со сторонами 775 м, что является хорошим показателем в плане эффективности использования

ДМ кругового типа. Количественное распределение по маркам производителя представлено на рисунке 3. Страны – производители машин – США и Италия.

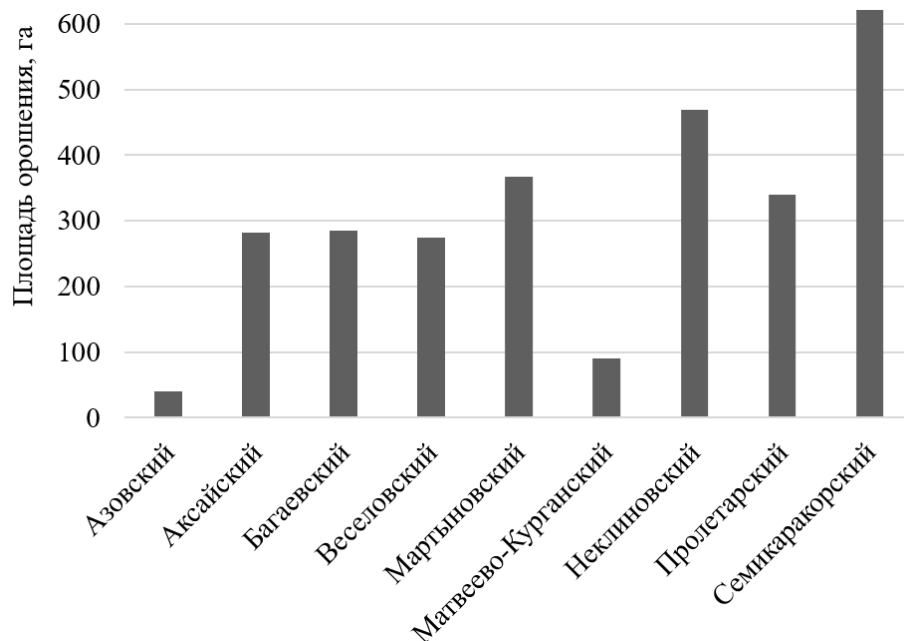


Рисунок 1 – Проектные площади по районам (2017, 2019–2021 гг.)

Figure 1 – Projected areas by districts (2017, 2019–2021)

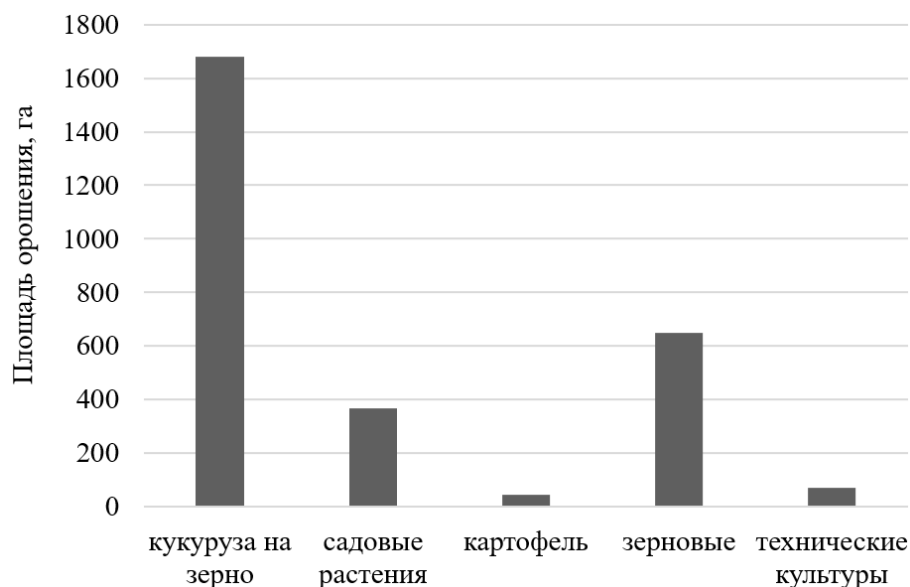


Рисунок 2 – Проектные площади по районам (2017–2021 гг.)

Figure 2 – Projected areas by districts (2017–2021)

Стоимость реализации проектов различна и варьируется в диапазоне 6,4–95,2 млн руб. в зависимости от площади и технического оснащения. Общее количество реализованных проектов 21 на сумму 561,4 млн руб., из них: один проект в 2017 г. на сумму 6,4 млн руб., четыре проекта в 2019 г. на сумму 135 млн руб., 15 в 2020 г. на сумму 379 млн руб. и один в 2021 г. на сумму 41 млн руб. В среднем стоимость строительства и технического вооружения 1 га при орошении дождеванием составляет 202 тыс. руб., при капельном орошении – 191 тыс. руб.

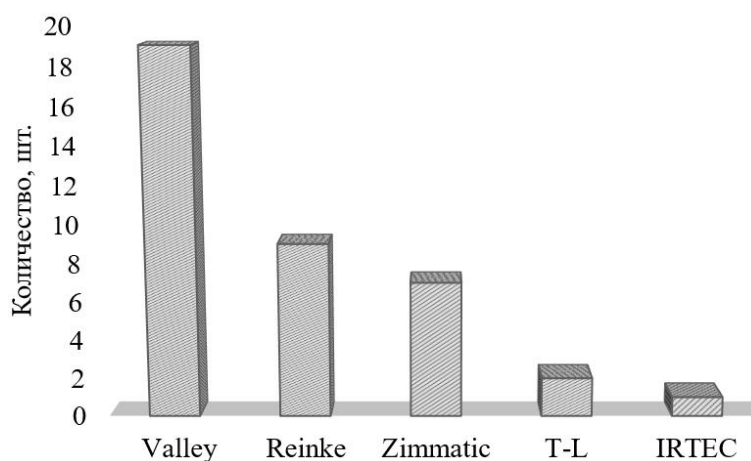


Рисунок 3 – Количество дождевальных машин

Figure 3 – Number of sprinklers

Основные статьи расхода средств при проектировании орошаемых участков – это покупка оборудования, строительные и монтажные работы. В процентном соотношении средняя стоимость строительных работ составляет 34,9 %, монтажных 1,7 %, покупка оборудования 63,2 % и прочие затраты 0,2 % от общей цены проекта.

В структуре проектов можно выделить три основные позиции, на которые рассчитываются все вышеописанные виды работ: насосные станции, оросительная сеть и поливная техника.

По данным рассмотренных нами 20 проектов, общая протяженность оросительной сети закрытого типа составила 76299 пог. м. Проектная стоимость строительства оросительной сети такой протяженности составляет 110,7 млн руб. При пересчете на единицу длины затраты составляют 1,45 тыс. руб./пог. м.

Насосные станции в рассмотренных проектах по источнику питания подразделяются на дизельные и электрифицированные в соотношении 60 и 40 % соответственно. Возможности подачи воды насосными станциями находятся в диапазоне 16–244 л/с, а максимальный напор составляет 120 м вод. ст. При пересчете на усредненные показатели проектная стоимость приобретения и установки одной насосной станции составляет 3,37 млн руб.

Поливная техника является наиболее весомой статьей затрат, и в среднем стоимость с учетом приобретения и выполнения строительно-монтажных работ составляет 7,12 млн руб. за 1 единицу. Из 20 проектов ДМ предусмотрены в 14. Капельное орошение предусмотрено в пяти проектах общей стоимостью 96,5 млн руб. за 504,1 га.

Усредненные показатели стоимости по всем видам работ выглядят следующим образом (таблица 1).

Продолжительность строительства орошаемых участков, предусмотренная проектами, в среднем составляет от трех до пяти месяцев.

Одна из значимых составляющих проектов – характеристика мелиоративного состояния, важной частью которой является глубина и минерализация грунтовых вод. Во всех рассмотренных нами проектах глубина залегания грунтовых вод превышала 3 м, в связи с чем дренажная сеть не требовалась. Однако, как показывает накопленный практический опыт эксплуатации орошаемых земель в советские годы, стоимость строительства дренажной сети достигает стоимостных значений оросительной сети. И в случае близкого залегания к дневной поверхности грунтовых вод (ближе 3 м) эту составляющую следует брать в расчет [7].

Таблица 1 – Удельные технико-экономические показатели строительства орошаемого участка в Ростовской области (данные по 20 проектам за 2017–2021 гг.)

Table 1 – Specific technical and economic indicators of the construction of an irrigated area in Rostov region (data for 20 projects for 2017–2021)

Статья затрат	Количество (единица измерения)/ площадь, га	Сметная стоимость, тыс. руб.				Итого, тыс. руб./га
		строительных работ	монтажных работ	оборудования, мебели, инвентаря	прочее	
Насосная станция	22 шт./ 2810	25865,62	1239,57	46288,50	835,24	26,42
Оросительная сеть для ДМ	46147 пог. м/ 2305,9	122788,38	–	–	–	53,25
ДМ	38 шт./ 2305,9	3860,97	6907,13	259825,16	–	117,35
Оросительная сеть для капельного орошения	30152 пог. м/ 504,1	132618,02	–	–	–	263,08

Выводы. Ростовская область имеет в распоряжении 38 оросительных систем с площадью орошения 300 тыс. га. За период с 2015 по 2020 г. площади фактически поливаемых земель составляли не более 25 % от общей обслуживаемой площади. При этом статистические данные Минсельхоза Ростовской области о потенциальных площадях орошения в хозяйствах после проведения мероприятий по вовлечению неиспользованных орошаемых земель за 2020 г. отображают перспективные площади в количестве 184 тыс. га (из них на государственных системах 170 тыс. га и на местном стоке 14 тыс. га).

Переход к частной форме собственности на орошаемые земли в 90-е гг. XX в. был болезненным и повлиял на возникновение проблем управления и поддержания в работоспособном состоянии оросительной сети, включая все ее элементы – насосные станции, водопроводящую сеть, ГТС и поливную технику. Наиболее крупные и финансово устойчивые хозяйства остались в орошаемом клине. Однако современные реалии диктуют необходимость заинтересовать и оказать содействие всем хозяйствам, которые находятся в зоне влияния оросительных систем, но не осуществляют поливы по различным причинам.

На начальном этапе для принятия руководителями таких хозяйств решений немаловажным аспектом является разработка бизнес-планов на основе укрупненных стоимостных показателей затрат на восстановление орошения с использованием современных ДМ, а также устройство систем капельного орошения. Анализ 20 проектов строительства и технического перевооружения орошаемых участков в Ростовской области в период с 2017 по 2020 г. позволил получить следующие стоимостные показатели. Удельные затраты из расчета восстановления 1 га орошаемой площади, тыс. руб.: на оборудование насосной станции – 26,42, на устройство закрытой оросительной сети – 53,25, на приобретение и установку ДМ – 117,35, на устройство оросительной сети для капельного орошения – 263,08.

Список источников

1. Колганов А. В., Щедрин В. Н., Сенчуков Г. А. О путях сохранения, восстановления и развития мелиораций // Борис Борисович Шумаков – ученый, человек, гражданин (посвящается памяти Б. Б. Шумакова). Новочеркасск: НГМА, 1998. С. 186–191.

2. Мелиоративный комплекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: информ. изд. М.: Росинформагротех, 2020. 304 с. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/100/10066d946f5310cccea55020bd2ac7bf.pdf> (дата обращения: 13.01.2022).

3. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / А. Л. Иванов [и др.]; под ред. Г. А. Романенко. М.: Росинформагротех, 2008. 64 с.

4. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/technical-program/> (дата обращения: 10.03.2022).

5. Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 12 апр. 2020 г. № 993-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564654448> (дата обращения: 22.12.2021).

6. О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 731: с изм. и доп. от 2 сент., 27 окт. 2021 г., 1 февр., 16 марта 2022 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

7. Капустян А. С., Пономаренко Т. С. Совершенствование нормативно-методического обеспечения эксплуатации дренажа на оросительных системах // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2011. № 2(02). 5 с. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=434> (дата обращения: 22.12.2021).

References

1. Kolganov A.V., Shchedrin V.N., Senchukov G.A., 1998. *O putyakh sokhraneniya, vosstanovleniya i razvitiya melioratsiy* [Ways of conservation, restoration and development of reclamation]. *Boris Borisovich Shumakov – uchenyy, chelovek, grazhdanin (posvyashchaetsya pamyati B. B. Shumakova)* [Boris Borisovich Shumakov – Scientist, Man, Citizen (dedicated to the memory of B.B. Shumakov)]. Novocherkassk, NGMA, pp. 186-191. (In Russian).

2. *Meliorativnyy kompleks Rossiyskoy Federatsii* [Reclamation Complex of the Russian Federation: information edition]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2020, 304 p., available: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/100/10066d946f5310cccea55020bd2ac7bf.pdf> [accessed 13.01.2022]. (In Russian).

3. Ivanov A.L. [et al.], 2008. *Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaystvennogo oborota* [Agro-Ecological State and Prospects for the Russian Lands Use Withdrawal from Active Agriculture]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 64 p. (In Russian).

4. *Federal'naya nauchno-tehnicheskaya programma razvitiya sel'skogo khozyaystva na 2017–2025 gody* [Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017–2025], available: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/technical-program/> [accessed 10.03.2022]. (In Russian).

5. *Ob utverzhdenii Strategii razvitiya agropromyshlennogo i rybokhozyaystvennogo kompleksov Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda* [On approval of the Strategy for the agro-industrial and fishery complexes development of the Russian Federation for the period up to 2030]. Decree of the Government of the Russian Federation of 12 April, 2020, no. 993-r, available: <https://docs.cntd.ru/document/564654448> [accessed 22.12.2021]. (In Russian).

6. *O Gosudarstvennoy programme effektivnogo vovlecheniya v oborot zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya i razvitiya meliorativnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii* [On the State program for the effective involvement of agricultural land in the circulation and

the development of the reclamation complex of the Russian Federation]. Decree of the Government of the Russian Federation of 14 May, 2021, no. 731. (In Russian).

7. Карустян А.С., Пonomаренко Т.С., 2011. [Improving the normative and methodological support operation of drainage for irrigation systems]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(02), 5 p., available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=434> [accessed 22.12.2021]. (In Russian).

Информация об авторах

В. Д. Гостищев – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Т. С. Пономаренко – научный сотрудник.

Information about the authors

V. D. Gostishchev – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

T. S. Ponomarenko – Researcher.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации
Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата,
самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.*

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

*Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 18.05.2022;
принята к публикации 31.05.2022.*

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 18.05.2022; accepted for publication 31.05.2022.

Обзорная статья
УДК 631.61:631.3

Технологические приемы биомелиорации комбинированными агрегатами не используемых в агропроизводстве земель

Виталий Станиславович Пунинский

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация, vspuninsky@rambler.ru

Аннотация. Цель: изучение приемов биомелиорации сильнокислых, рыхлых грунтов, песчаных почв в зоне ветровой эрозии и разработка предложений по комплексу технических средств для окультуривания неиспользуемых земель. **Материалы и методы.** Исследования проводились по общепринятым методикам с обоснованием количества технологических процессов. **Результаты.** Требуется повышение плодородия почв на переувлажненных (18,42 млн га), эродированных (11,38 млн га), дефлированных (22,18 млн га), засоленных и засоленно-солонцеватых (12,02 млн га) сельскохозяйственных угодьях. Приведен обзор приемов, способов, осуществляемых перспективными видами машин для обработки слоя грунта и почвы богарных сельхозугодий с устранением деградации. На основе математического моделирования ранее получены показатели ведущих машин и определены рациональные параметры вспомогательных технических средств для биомелиорации не используемых в агропроизводстве мелиорированных почв и освоения ранее не мелиорированных сельскохозяйственных угодий. Разработаны технологии, содержащие технологические модули комплексов машин, которые на ранее мелиорированных землях с кислой почвой, заросших древесной растительностью до 80 т/га, осуществляют 20 технологических процессов, а на немелиорированных землях с древесной растительностью от 60 до 100 т/га и более осуществляют 22 технологических процесса. На засоленных сухостепных, полупустынных, пустынных землях без древесной растительности предлагаются технологические приемы, осуществляемые в 18 технологических процессах. **Выводы.** Для модулей с однопроходным комбинированным агрегатом предусматриваются конструкции рабочего органа, обеспечивающие срезку грунта под почвой на неровностях рельефа с мест повышения и транспортирование грунта к понижениям рельефа с отсыпкой под почву. Рекомендуются агротребования на проектирование четырех комбинированных агрегатов, адаптируемых к рассредоточенности объектов, их уровню деградации и приоритетности выполнения видов работ.

Ключевые слова: рассредоточенность, комбинированный агрегат, органические удобрения, слой обработки, кислотность, пески, измельчение, лесокустарник, утилизация, посев

Review article

**Bioreclamation procedures of soil not used
in agricultural production by combined units**

Vitaliy S. Puninskiy

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation, vspuninsky@rambler.ru

Abstract. Purpose: to study the methods of bioreclamation of strongly acidic, loose soils, sandy soils in the wind erosion zone and the proposal development for technical means

for the unused lands cultivation. **Materials and methods.** The studies were carried out according to generally accepted methods with justification of the number of technological processes. **Results.** An increase in soil fertility on the waterlogged (18.42 million ha), the eroded (11.38 million ha), the deflated (22.18 million ha), the saline and saline-alkaline (12.02 million ha) agricultural farmlands is required. An overview of the techniques, the methods implemented by promising types of machines for soil layer and rainfed farmland soil treatment with the degradation elimination is given. On the basis of mathematical modeling, the indicators of the leading machines were previously obtained and the rational parameters of auxiliary technical means for bioreclamation of reclaimed soils not used in agricultural production and the development of previously unreclaimed agricultural land were determined. Technologies containing technological modules of machine complexes that carry out 20 technological processes on previously reclaimed lands with acidic soil, overgrown with woody vegetation up to 80 t/ha, and on non-reclaimed lands with woody vegetation from 60 to 100 t/ha and more carry out 22 technological processes have been developed. On saline dry steppe, semi-desert, desert lands without woody vegetation, technological methods carried out in 18 technological processes are proposed. **Conclusions.** For modules with a single-pass combined unit, the design of the working body is provided for cutting the soil under the ground on uneven terrain from the elevation places and transporting the soil to the relief lowering with filling under the soil. Agro-requirements for the design of four combined units, adaptable to the object dispersion, their degradation level and the priority of performing types of work are recommended.

Keywords: dispersion, combined unit, organic fertilizers, treatment layer, acidity, sands, crushing, forest shrubs, utilization, sowing

Введение. Занимая ведущее положение среди природных ресурсов, сельскохозяйственные угодья являются исходной базой благосостояния людей. Земли сельскохозяйственного назначения России составляют 402,6 млн га, из них 43,6 млн га находятся в фонде перераспределения и не используются для сельскохозяйственного производства [1]. Они деградируют как в ходе механических обработок, так и в результате действия природно-климатических условий зон при неиспользовании в сельскохозяйственном производстве, общая площадь деградированных сельскохозяйственных угодий составляет 130 млн га [2].

В процессе длительного неиспользования в агропроизводстве сельскохозяйственных земель возникает слитизация почвенных микроагрегатов, просадка грунта, приводящая к образованию бессточных макроронжений рельефа, волнистости и увеличению изреженности, для устранения которых требуются новые приемы в технологических процессах и комбинированные агрегаты для производства мелиоративных работ в современных условиях.

Целью исследований является изучение приемов биомелиорации сильноокислых, рыхлых грунтов, песчаных почв в зоне ветровой эрозии и разработка предложений по комплексу технических средств (ТС) для окультуривания неиспользуемых земель с обоснованием количества технологических процессов, которые совмещают агрегаты за один проход, в новых условиях производства категорий мелиоративных работ.

Материалы и методы. Объектом исследований являются приемы и способы повышения плодородия почв на переувлажненных (18,42 млн га), эродированных (11,38 млн га), дефлированных (22,18 млн га), засоленных и засоленно-солонцеватых (12,02 млн га) сельскохозяйственных угодьях [2, 3] и мелиоративные машины для восстановительно-эксплуатационных работ на неиспользуемых землях России.

Изучены базовые типизированные технологии и ТС для выполнения мелиоративных работ на деградированных землях. Для анализа новых технических решений применена авторская ранее разработанная методика имитационного моделирования

(опубликованная в 2017 г. [4]), в которой сложная система является взаимосвязанной совокупностью математических моделей (критериев); для оценки состояния деградации почв использованы критерии с диапазонами индикаторных показателей для семи степеней деградации с периодом, видом и исполнением работ, опубликованные в работе автора 2019 г. в соавторстве с Б. М. Кизяевым, Г. Х. Бедретдиновым, Н. Б. Мартыновой, И. В. Цветковым [5]. Исследования проводились по общепринятым методикам с использованием научно-практических методов определения прогнозных технико-экономических показателей ведущих машин [6–8].

Результаты и обсуждение. По результатам изучения в литературных источниках, в патентах и отчетах о НИР существующих приемов биомелиорации сильноокислых, рыхлых грунтов, песчаных почв в зоне ветровой эрозии осуществлена разработка предложений по комплексу ТС для окультуривания неиспользуемых земель с обоснованием количества технологических процессов, которые совмещает агрегат за один проход. Для разработки новых технологических приемов и технологий биомелиорации почв определены предварительные параметры и показатели ТС. На основе математического моделирования ранее получены показатели ведущих машин и определены рациональные параметры вспомогательных ТС для биомелиорации не используемых в агропроизводстве мелиорированных земель и освоения ранее не мелиорированных сельскохозяйственных угодий, которые традиционно после проведения культуртехнических мероприятий выполняют технологический процесс обработки почвогрунта с внесением веществ, не только удовлетворяющий потребности растений, микроорганизмов и биоты в питательных веществах, физико-химической среде, в оптимальном соотношении твердой, жидкой и газообразной фаз почвы, но и обеспечивающий стимуляцию ростовых и защитных свойств растений для достижения потенциальной урожайности в сельскохозяйственной зоне и возможного превышения ее [9].

В 2021 г. разработаны предложения по новым комбинированным агрегатам, обеспечивающим сохранение органических веществ в подпахотном слое почвы. Главной задачей при освоении сельскохозяйственных угодий, не используемых в агропроизводстве более 2 лет, является устранение потерь органических веществ, часть которых минерализуется в ходе мелиоративных мероприятий. При этом требуется восстановить исходное плодородие почвы, повысить плодородие до зонального уровня либо превысить его, создать наиболее благоприятные условия для роста и развития растений. Сформулированы новые принципы, которые отвечают требованиям к приемам биомелиорации: регулирование водообеспечения растений при богарном либо орошаемом способе их производства с органоминеральным водорегулирующим экраном в подстилающем грунте и биологически активной удобрительной прослойкой в подпахотном слое почвы; изменение альbedo посевов полосовым чередованием высоко-, средне-, низкостебельных засухоустойчивых сельхозкультур при обработке штаммами микроорганизмов либо ускорителями роста растений и обеспечении качественной заделки мелиорантов, органических удобрений и равномерного распределения семян; выравнивание поверхности почвы, структуры почвы с оптимальной плотностью ее корнеобитаемого слоя; устранение заболачивания покровного слоя почвы.

Существующие технологии снижения капитальных затрат на приобретение ТС предусматривают выполнение мелиоративных работ однооперационными машинами, что не учитывает негативные последствия их применения: минерализацию органических веществ почвы, последующие затраты на внесение органических удобрений, многопроходность с уплотнением почвы и потерей урожайности сельскохозяйственных культур [9].

Уменьшение негативных последствий применения на мелиоративных работах

однооперационных ТС возможно при отказе от многопроходности с созданием самоходных комбинированных агрегатов. Для минимальных технологий обработки почвы и посева рядом фирм освоен промышленный выпуск комбинированных агрегатов для минимальной обработки стерневых фонов.

Для восстановления плодородия деградированных земель предлагаются технологии, содержащие технологические модули комплексов машин, которые на ранее мелиорированных землях с кислой почвой, заросшей древесной растительностью до 80 плотных кубов на 1 га, осуществляют 20 технологических процессов (патенты на изобретения РФ № 2696034, № 2619449), а на немелиорированных землях с древесной растительностью от 60 до 100 плотных кубов на 1 га и более (патенты на изобретения РФ № 2740173, № 2535162) осуществляют 22 технологических процесса. На засоленных сухостепных, полупустынных, пустынных землях без древесной растительности для восстановления агропроизводства предлагаются технологические приемы (патенты на изобретения РФ № 2760480, № 2618097), осуществляемые в 18 технологических процессах.

Технологические процессы содержат подготовительные работы, выполняемые ведущими машинами. Модули машин основываются на категориях работы ТС и количестве их проходов по обрабатываемому объекту.

Технические решения по перспективным комбинированным агрегатам могут быть реализованы:

- в краткосрочном периоде для повышения плодородия сельскохозяйственных угодий на компактных объектах при равнинном рельефе, но с большой площадью деградации почв при использовании двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с мощностью до 500 кВт, наличии возможности установки между смежными спаренными колесами комбинированных агрегатов быстромонтируемых армированных резинометаллических гусениц. Для перемещения ТС на новый удаленный объект требуется частичный демонтаж узлов комбинированных агрегатов, грузоподъемные средства, низкорамные полуприцепы с автомобильными тягачами и автомобили с грузовыми платформами;

- в среднесрочном периоде для повышения плодородия сельскохозяйственных угодий на рассредоточенных объектах при волнистом рельефе и небольшой площади деградации почв требуется разрабатывать перспективные типы, включающие типоразмерный ряд комбинированных агрегатов с мощностью ДВС 300–450 кВт и устройством автоматического перевода рабочих органов в транспортное положение с получением габаритов, позволяющих движение по автомобильным дорогам со скоростью от 60 до 90 км/ч;

- в долгосрочном периоде для сокращения дефлированных, засоленных и засоленно-солонцеватых сельскохозяйственных угодий требуется разрабатывать комбинированные агрегаты с общей мощностью ДВС 500–650 кВт, устройством прокладки поперечных уклонов противозерозионных каналов с односторонней дамбой с посадкой на валу высоко- и среднестебельных засухоустойчивых растений, а на валу, примыкающем к посевам, – полосу галофитов.

Окультуривание почв целесообразно проводить с учетом дальности расположения сельскохозяйственных угодий от сельских и городского типа поселений, что должно отражаться в новых агротребованиях на проектирование ТС.

Ранее установлено, что технологический прием прокладки биологически активного водорегулирующего экрана на песчаных среднегумусных почвах на глубине от 0,5 до 1,0 м позволяет обеспечить урожайность фитоценоза до 60,0–70,0 т/га зеленой массы, сократить в 3 раза дозу внесения минеральных азотных удобрений и на 25–30 % снизить удельный расход оросительной воды на единицу продукции [10–12].

В 2021 г. исследования имели направленность на поиск приемов применения биологически активного водорегулирующего экрана на подвижных песках с барханными формами рельефа, на сероземах с водонерастворимыми солями при богарном производстве продукции и разработку устройства, прокладывающего противоэрозионные каналы с односторонними валами и посевом с разновысокими стеблями сельскохозяйственных растений, в т. ч. бобовых, обработанных азотофиксирующими штаммами микроорганизмов 4126 (ризоторфином) и стимулятором роста Лентехнин, при этом новизна решения защищена патентом на изобретение РФ № 2760480 с предварительной маркой КАБЗД-8,4.

Проведено определение основных агротехнических показателей и параметров новых ТС с использованием имитационного моделирования. Разработанная область применения новых технических решений включает глубину почвенного слоя, возможную утилизацию щепы при уровне зарастания земель лесокустарником от 15 до 80 плотных кубов на 1 га и при объеме более 80 плотных кубов на 1 га, окультуривание почв с щепой, уложенной на глубину 0,25–0,45 м и более, можно избыточный объем древесины предварительно удалять комбинированным модульным агрегатом (патент РФ № 2535162). Модули комплексов машин предлагаемых технологий содержат ТС, новизна которых защищена патентами на изобретение РФ, с предварительными марками и показателями, а в 2021 г. для их проектирования на четыре агрегата с предварительными марками КАПП-6,1-0,65, КАБПП-7,2-0,65, КАБДЗ-4,2-0,45, КМЛА-4-0,45 разработаны агротехнические требования. Агротехнические требования на проектирование самоходных многофункциональных комбинированных агрегатов содержат условия применения: вид расположения объектов с окультурируемыми почвами и последующий способ ведения сельского хозяйства на этих почвах, полученные в ходе исследований, технико-экономические основные показатели и параметры агрегатов для окультуривания почв (таблица 1).

Агротехнические требования на комбинированный агрегат биомелиорации сильноокислых почв с рассолением и комплексной обработкой деградированных богарных земель устанавливаются, что агрегат предназначен для комплексной обработки с внесением удобрений, мелиорантов, севом культур-освоителей и уплотнением окультуриваемых почв за один проход. Агрегат должен осуществлять окультуривание почв залежных луговых земель и не используемых от 2 до 30 лет сенокосов, пашни и пастбищ на волнистом рельефе с кустарником, мелколесьем, пнями, одиночным спелым лесом, ядовитыми травами и редкими кочками в слое почвы до 0,35 м. За один проход самоходный агрегат должен выполнять направленную укладку и плющение травянистых растений с одновременным срезанием новой кустарниковой поросли, полосовую обработку почвы с послойной укладкой стружки, растительных остатков, внесением на поверхность почвы пылевидного мелиоранта либо гербицидов для обработки ядовитых трав, рыхление пахотного слоя почвы с внесением мелиоранта (в количестве 3,5–8,0 т/га) и лушение поверхности почвы волнистыми дисками с заделкой удобрений и щепы, глубокое рыхление (до 0,65 м) подпочвенного грунта с укладкой прерывистого водорегулирующего дугообразного экрана либо плоской сплошной органоминеральной прослойки. Результаты моделирования и расчетов представлены в табличном виде (таблица 2).

Комбинированный агрегат должен включать самоходное базовое шасси с 3-секционной рамой, на каждой секции рамы должны быть установлены по две колесные пары со спаренными колесами.

Таблица 1 – Агротехнические показатели условий применения технических средств для освоения и окультуривания почв
Table 1 – Agrotechnical indicators of the conditions for using technical means for soil development and cultivation

Условие объекта	Область применения самоходных агрегатов			
Вид объекта	Окультуривание почв освоенных ранее не мелиорированных земель	Окультуривание почв залежных луговых и не используемых от 2 до 30 лет сенокосов, пашни, пастбищ и мелиорированных земель		Подготовка к окультуриванию почв, перераспределенных из других фондов
Наименование ТС	1 Комбинированный агрегат ярусной обработки. 2 Комбинированный агрегат биомелиорации с рассолением и посевом семян	Комбинированный агрегат биомелиорации и комплексной обработки богарных земель	Комбинированный агрегат биомелиорации с переработкой лесокустарника и подсевом семян	1 Комбинированный модульный лесной агрегат. 2 Комбинированный агрегат биомелиорации засоленных земель в зоне ветровой эрозии
Предварительные марки и номер патента на изобретения РФ	КАПП-6,1-0,65, патент РФ № 2618997, КАБРП-5,6, патент РФ № 2619449	КАБПП-7,2-0,65, патент РФ № 2696034	КАБДЗ-4,2-0,45, патент РФ № 2740173	КМЛА-4-0,45, патент РФ № 2535162, КАБЗД-8,4, патент РФ № 2760480
Область применения ТС и вид расположения объектов с окультуриваемыми почвами	Равнинный рельеф от 2 лет неиспользования. Почвогрунт минеральный, вид компактный с дальнотельем и крупными площадями	Волнистый с деградацией 9–20 лет неиспользования. Почвогрунт минеральный, вид компактный с дальнотельем	Равнинный рельеф с деградацией 15–30 лет неиспользования. Почвогрунт минеральный, вид дальнотельем вдали от заводов, поселков	Слабоволнистый с деградацией 10–30 лет и более неиспользования. Пески, почвогрунт минеральный, вид сосредоточенный со среднеконтурными площадями

Таблица 2 – Варианты технологических модулей обработки деградированных почв ведущими техническими средствами для восстановления агропроизводства на неиспользуемых сельскохозяйственных угодьях

Table 2 – Variants of technological modules for the treatment of degraded soils with leading technical means for the restoration of agricultural production on the unused agricultural land

Номер варианта технологического модуля комплекса машин (ВТМ)			
1 ВТМ	2 ВТМ	3 ВТМ	4 ВТМ
1	2	3	4
Разбрасыватель твердых органических удобрений, +8, МТТ-9, $W = 75$ т/(га·ч), $M_{\text{маш}} = 9,5$ т, $L = 5 \dots 8$ м, $C = 8,0$ млн руб. Трактор «Беларус-1221.1»	Разбрасыватель твердых органических удобрений, +8, МТТ-9, $W = 75$ т/(га·ч), $M_{\text{маш}} = 9,5$ т, $L = 5 \dots 8$ м, $C = 8,0$ млн руб. Трактор «Беларус-1221.1»	Машина для внесения органических удобрений, +8, РОУ-5, $W = 52$ т/ч, $M_{\text{маш}} = 2,00$ т, $L = 4 \dots 6$ м, $C = 1,95$ млн руб. Трактор «Беларус-1221.1»	
Машина самоходная внесения химмелиорантов, +9, МСХ-10, $W = 3,7$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 9,1$ т, $L = 8 \dots 14$ м, на шасси МАЗ 631 705-264, $M_{\text{тр}} = 11$ т, расход топлива 9,8 кг/га, $N_0 = 243$ кВт, $C = 8,288$ млн руб.	Машина самоходная внесения химмелиорантов, +9, МСХ-10, $W = 3,7$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 9,1$ т, $L = 8 \dots 14$ м, на шасси МАЗ 631 705-264, $M_{\text{тр}} = 11$ т, расход топлива 9,8 кг/га, $N_0 = 243$ кВт, $C = 8,288$ млн руб.	Машина самоходная внесения химмелиорантов (пылевидной извести), +9, +10, АРУП-8, $W = 44$ т/ч, при норме 3,5 т/га, на шасси ЗИЛ-441510, $M_{\text{маш}} = 7,90$ т, $N_0 = 110$ кВт, $C = 8,0$ млн руб.	
Щелерез-рыхлитель-кратователь, +10, РЩ-3,5, $W = 0,25$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 0,510$ т, $L = 2,4 \dots 4,0$ м, $C = 0,56$ млн руб. Трактор К-744Р2, $M_{\text{тр}} = 15,68$ т, $q = 215$ г/кВт·ч, $P = 50$ кН, $N_0 = 257$ кВт, $C = 15,67$ млн руб.	Щелерез-рыхлитель-кратователь, +10, РЩ-3,5, $W = 0,25$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 0,510$ т, $L = 2,4 \dots 4,0$ м, $C = 0,56$ млн руб. Трактор К-744Р2, $M_{\text{тр}} = 15,68$ т, $q = 215$ г/кВт·ч, $P = 50$ кН, $N_0 = 257$ кВт, $C = 15,67$ млн руб.	Агрегат внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений, +10, +11, +12, +16, АВВ-2,8, $W = 25,8$ т/ч, $M_{\text{маш}} = 4,740$ т, $L = 2,8$ м, $C = 2,92$ млн руб. Трактор РТМ-160У	Комбинированный агрегат биомелиорации земель с переработкой лесокустарника и подсева семян, +11, +13, +15, +16, +20, +21, +22 (предварительная марка ТС, номер патента на изобретение КАБДЗ-4,2-0,45 № 2740173 от 12.01.2021), $W = 4,6$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 40,38$ т, $L = 4,6 \dots 11,7$ м, $P = 500$ кН, $q = 247$ г/кВт·ч, $N_0 = 618$ кВт, $C = 21,00$ млн руб.

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
<p>Борона дисковая коническая, +12, +13, ПБЛ-10, $W = 17,8$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 2,48$ т, $L = 11,2$ м, $C = 2,30$ млн руб. Трактор Агромаш 90ТГ-3649А</p>	<p>Машина внесения жидких удобрений, +11, +12, УЛП-8А-01, $W = 2,6 \dots 5$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 1,10$ т, $L = 4,2; 2,7; 2,1$ м, $C = 0,92$ млн руб. На подкормщик опрыскиватель ПО-4500, Versatile, трактор РТМ-160У</p>	<p>Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный с блочно-модульной комплектацией трех рабочих органов, +13, +14, АПМ-6А, $W = 3,6 \dots 4,8$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 9,60$ т, $L = 6,0$ м, $C = 4,65$ млн руб. Трактор К-744Р2</p>	
<p>Борона дисковая мелиоративная, +13, +14, БДМ-2,5А, $W = 1,14$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 3,00$ т, $L = 2,9$ м, $C = 2,6$ млн руб. Трактор К-744Р2. Ротор почвообрабатывающий, +15, +16, РПН-1,8, $W = 0,54 \dots 1,44$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 0,90$ т, $L = 1,8$ м, $C = 0,87$ млн руб. Трактор РТМ-160У</p>	<p>Агрегат комбинированный почвообрабатывающий навесной, +13, +14, АКПН-6А, $W = 4,2 \dots 6,0$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 2,90$ т, $L = 6,0$ м, $C = 2,84$ млн руб. Трактор К-744Р2. Ротор почвообрабатывающий, +15, РПН-1,8, $W = 0,54 \dots 1,44$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 0,90$ т, $L = 1,8$ м, $C = 0,87$ млн руб. Трактор РТМ-160У</p>	<p>Комбинированный агрегат биомелиорации и комплексной обработки богарных земель, +15, +16, +17, +19, +21 (предварительная марка ТС, номер патента на изобретение КАБПП-7,2-0,65 № 2696034), $W = 6,0$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 38,70$ т, $L = 7,2$ м, $P = 400$ кН, $q = 222$ г/кВт·ч, $N_0 = 522$ кВт, $C = 19,70$ млн руб.</p>	
<p>Плуг универсальный навесной, +17, ПВУ-225, $W = 1,74 \dots 2,3$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 4,10$ т, $L = 2,25$ м, $C = 3,8$ млн руб. Трактор РТМ-160У</p>	<p>Комбинированный универсальный агрегат для предпосевной обработки почвы, +16, КУМ-4, $W = 4$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 2,90$ т, $L = 4$ м, $V = 7,2$ км/ч, $C = 1,47$ млн руб. Трактор РТМ-160У</p>		

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Агрегат комбинированный почвообрабатывающий навесной, +18, АКПН-6А, $W = 4,2 \dots 6,0$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 2,90$ т, $L = 6,0$ м, $C = 2,84$ млн руб. Трактор К-744Р2	Агрегат комбинированный почвообрабатывающий посевной с комплектом разных блоков рабочих органов, +18, +19, +20, КА-6/8, $W = 4,5 \dots 6,0$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 10,5$ т, $L = 6 \dots 8$ м, $C = 9,80$ млн руб. Трактор К-744Р2		
Сеялка пневматическая широкозахватная «Берестье» С-9, +14, +19, $W = 7,2 \dots 13,5$ га/ч, $M_{\text{маш}} = 8,60$ т, $L = 9$ м, $C = 5,49$ млн руб. Трактор «Беларус-3522», $M_{\text{гр}} = 11,00$ т, $q = 205$ г/кВт·ч, $P = 50$ кН, $N_0 = 261$ кВт, $C = 11,13$ млн руб.			
Суммарная номинальная мощность ДВС по модулям, кВт			
3323,4	3381,5	3017	2101,9
В т. ч. по ведущим машинам, кВт			
1704	1497	1114	618
Суммарная масса по ведущим машинам, т			
135,05	119,65	90,22	40,38
Суммарные капвложения по ведущим машинам, млн руб.			
136,89	164,36	64,69	21

На первой секции рамы должны быть размещены почвообрабатывающие машины, 2–3-местная кабина комбинированного агрегата с компьютером, управляющим процессором с кодовым ГЛОНАСС-приемником координат и пультом управления автоматическим включением и выключением привода рабочих органов, а за кабиной должны быть 2-секционные емкости гербицидов (для обработки ядовитых трав) или пылевидного мелиоранта с дозаторами с запорным устройством, насосом, соединенным с выпусками дисперсных мелиорантов за ножами под пластинами плющения почвообрабатывающих машин, по бокам спереди кабины должны быть емкости для гербицидов с насадками под отвалом за батареей рубильно-пильных дисков.

На второй секции рамы должны быть:

- двигатель (не менее $N_0 = 522$ кВт) базового шасси с делителем потока, фильтром выхлопных газов;
- топливный бак и бак рабочей жидкости гидросистемы;
- 2-секционный контейнер (при общем объеме не менее $4,8 \text{ м}^3$) для органических компонентов удобрительной прослойки или водорегулирующего экрана;
- стойки рыхлителей (глубиной до $0,55$ м) с наклонными пластинами-ножами, отвалами (глубиной до $0,65$ м), патрубками и щелевыми выпусками смеси должны составлять 3-секционный ярусный объемный глубокорыхлитель с механизмом автоматического управляемого установочно-подвижного положения параболических стоек для ярусной разноглубинной от $0,24$ до $0,55$ м обработки с укладкой прерывистого экрана.

На третьей секции рамы должны быть размещены: компрессор, продуктопровод, контейнеры (при общем объеме не менее $1,9 \text{ м}^3$) для семян, емкость (не менее $1,1 \text{ м}^3$) для раствора азотофиксирующих микроорганизмов, соединенная с распределительной головкой и патрубком, закрепленным на кронштейне дискового сошника.

За рамой третьей секции и на ее боках должны быть аналогичные пневматические сеялки, а за стойками сошников сеялки для заделки семян расположено выравнивающе-уплотняющее устройство.

Агротехнические требования на комбинированный агрегат биомелиорации земель с переработкой лесокустарника для утилизации щепы, древесной золы и подсева семян устанавливают, что агрегат предназначен для комплексной обработки лесокустарника с утилизацией измельченной древесины пиролизом в газогенераторе, одновременным внесением в подпокрывной слой полученной золы, пневмотранспортирования щепы в топочную камеру и в подпочвенный слой, адресного дозированного внесения удобрений, мелиорантов, планировки грунта без буртования почвы и для сева культур-освоителей с уплотнением окультуриваемых почв за один проход. Агрегат должен осуществлять окультуривание почв залежных луговых земель и не используемых от 15 до 30 лет сенокосов, пашни и пастбищ на равнинном рельефе с кустарником, мелкоколесом, пнями, спелым лесом, сорными травами.

За один проход самоходный агрегат должен выполнять направленную укладку и плющение травянистых растений с одновременным срезанием новой кустарниковой поросли, полосовую обработку почвы с послышной укладкой стружки, мелких комков почвы, растительных остатков, внесением в покрывной слой почвы пылевидного мелиоранта либо гербицидов в ковш за фрезером для обработки ядовитых трав, рыхление подпокрывного слоя почвы с внесением мелиоранта (в количестве $3,5\text{--}8,0$ т/га) на образованное дно с заделкой удобрений и щепы, рыхление почвы (до $0,35$ м) и планируемого подпочвенного грунта с укладкой в пограничную зону почвы и грунта прерывистого водорегулирующего экрана. Комбинированный агрегат должен включать самоходное базовое шасси с 3-секционной рамой, на каждой секции рамы должны быть установлены по две колесные пары со спаренными колесами.

На первой секции рамы должны быть:

- установочно-подвижно фронтально размещенный измельчитель с приемно-подающим лотком на корпусе бездонного ковша;
- фронтально расположенная стрела с системой гидравлических цилиндров перевода измельчителя с рубительным устройством;
- на бездонном ковше поворотный лоток с приемно-подающим механизмом;
- полноповоротный манипулятор, включающий телескопическую стрелу;
- кабина оператора с компьютером, управляющим процессором с кодовым ГЛОНАСС – приемником координат и пультом управления автоматическим включением и выключением привода рабочих органов.

Агрегат на второй секции рамы содержит двигатель (не менее $N_0 = 618$ кВт) базового шасси.

На третьей секции рамы размещена емкость для раствора азотофиксирующих микроорганизмов, бункеры сеялок, прикатывающее устройство, накопители древесины.

Выводы. Проведенные исследования показали, что совершенствование технологий улучшения кислых почв на закустаренных землях либо подвижных песков с барханами или среднегумусных песчаных почв с бугристым рельефом, дефлированных, засоленных богарных сельскохозяйственных угодий наряду с дополнением их ранее не применявшимися операциями укладки водорегулирующих экранов возможно при полосовой подпокровной обработке и создании самоходных комбинированных агрегатов с рабочими органами, новизна которых подтверждена патентами. Обзор и изучение рассмотренных технических решений выявили тенденцию создания комбинированных агрегатов, обеспечивающих возможность подпочвенного планирования деградированных земель с сохранением органических веществ в подпахотном слое почвы.

Список источников

1. Национальный доклад. Сведения о наличии и распределении земель в Российской Федерации на 01.01.2020 в разрезе субъектов Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/sostoyamezemerrossii/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 26.02.2021).

2. Гордеев А. В., Романенко Г. А. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России. М.: Росинформагротех, 2008. 67 с.

3. Отчет о реализации I этапа (2014–2016 годы) Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». М.: Росинформагротех, 2017. 80 с.

4. Пунинский В. С. Совершенствование технологических процессов и техники для улучшения деградированных сельхозугодий с солонцами // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 1(65). С. 69–80.

5. Рекомендации по методическим основам формирования Федеральных регистров технологий и машин для производства мелиоративных работ в современных условиях / Б. М. Кизяев, В. С. Пунинский, Г. Х. Бедретдинов, Н. Б. Мартынова, И. В. Цветков. М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2019. 65 с.

6. Методика эффективного освоения разновозрастных залежей на основе многовариантных технологий под пастбища и сенокосы и очередности возврата в пашню в Нечерноземной зоне РФ / А. А. Кутузова, К. Н. Привалова, Д. М. Тебердиев, Н. А. Семенов, А. П. Раев, Д. Н. Лебедев, Д. А. Алтунин, И. В. Степанищев, Е. Е. Проворная, А. В. Родионова, Н. В. Жезмер, Р. Р. Каримов, А. В. Лысыков; ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. М., 2017. 64 с.

7. Методы системного анализа в мелиорации и водном хозяйстве / Б. Г. Штепа [и др.]. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 261 с.

8. Методические рекомендации по разработке прогнозных нормативных показателей для планирования развития сельского хозяйства на долгосрочную перспективу / А. Ф. Поцкалев, В. И. Петранев, И. Д. Олисаева, Т. Н. Макарова. М.: Изд-во НИИПиН, 1981. 52 с.

9. Пунинский В. С. Совершенствование механизации технологических процессов биомелиорации и водорегулирования на деградированных землях // Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации: материалы междунар. науч.-практ. конф. М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2019. С. 256–262.

10. Царапкина И. Л. Методы инженерной биомелиорации сложных в освоении почв: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07. М., 1992. 23 с.

11. Пунинский Ю. С. Мелиорация и окультуривание песчаных пустынных земель. М.: ВНИИГиМ, 1986. 12 с.

12. Разработать методы биомелиорации песчаных и тяжелых почв при орошении культур-освоителей: НТО / Пунинский Ю. С. [и др.]. М.: ВНИИГиМ, 1989. 154 с. № ГР 01870022546.

References

1. *Natsional'nyy doklad. Svedeniya o nalichii i raspredelenii zemel' v Rossiyskoy Federatsii na 01.01.2020 v razreze sub"ektov Rossiyskoy Federatsii* [National report. Information on land availability and distribution in the Russian Federation as of 01.01.2020 in the context of the constituent entities of the Russian Federation], available: <https://rosreestr.gov.ru/site/activity/sostoyamezemerrossii/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii> [accessed 26.02.2021]. (In Russian).

2. Gordeev A.V., Romanenko G.A., 2008. *Problemy degradatsii i vosstanovleniya produktivnosti zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v Rossii* [Problems of Degradation and Restoration of Agricultural Land Productivity in Russia]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 67 p. (In Russian).

3. *Otchet o realizatsii I etapa (2014–2016 gody) Federal'noy tselevoy programmy "Razvitie melioratsii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossii na 2014–2020 gody"* [Report on the implementation of Stage I (2014-2016) of the Federal Target Program "Development of the reclamation of agricultural land in Russia for 2014-2020"]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2017, 80 p. (In Russian).

4. Puninsky V.S., 2017. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov i tekhniki dlya uluchsheniya degradirovannykh sel'khozugodiy s solontsami* [Improvement of technological processes and techniques for improving degraded farmland with solonchaks]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(65), pp. 69-80. (In Russian).

5. Kizyaev B.M., Puninsky V.S., Bedretdinov G.Kh., Martynova N.B., Tsvetkov I.V., 2019. *Rekomendatsii po metodicheskim osnovam formirovaniya Federal'nykh registrov tekhnologiy i mashin dlya proizvodstva meliorativnykh rabot v sovremennykh usloviyakh* [Recommendations on the Methodological Foundations of the Formation of Federal Registers of Technologies and Machines for Land Reclamation Work under Modern Conditions]. Moscow, VNIIGiM Publ., 65 p. (In Russian).

6. Kutuzova A.A., Privalova K.N., Teberdiev D.M., Semenov N.A., Raev A.P., Lebedev D.N., Altunin D.A., Stepanishchev I.V., Provornaya E.E., Rodionova A.V., Zhezmer N.V., Karimov R.R., Lysikov A.V., 2017. *Metodika effektivnogo osvoeniya raznovozrastnykh*

zalezhey na osnove mnogovariantnykh tekhnologiy pod pastbishcha i senokosy i ocherednosti vozvrata v pashnyu v Nechernozemnoy zone RF [The Methodology for the Effective Development of Different Ages Deposits Based on Multi-variant Technologies for Pastures and Hayfields and the Order of Return to Arable Land in the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation]. V.R. Williams All-Russian Fodder Research Institute, Moscow, 64 p. (In Russian).

7. Shtepa B.G. [et al.], 1983. *Metody sistemnogo analiza v melioratsii i vodnom khozyaystve* [Methods of System Analysis in Land Reclamation and Water Management]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 261 p. (In Russian).

8. Potkalev A.F., Petranov V.I., Olisaeva I.D., Makarova T.N., 1981. *Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke prognoznnykh normativnykh pokazateley dlya planirovaniya razvitiya sel'skogo khozyaystva na dolgosrochnuyu perspektivu* [Guidelines for the Development of Predictive Normative Indicators for Long-term Agricultural Development Planning]. Moscow, NIPI Publ., 52 p. (In Russian).

9. Puninsky V.S., 2019. *Sovershenstvovanie mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov biomelioratsii i vodoregulirovaniya na degradirovannykh zemlyakh* [Improving the mechanization of technological processes of bioreclamation and water regulation on degraded lands]. *Melioratsiya zemel' – neot'emlemaya chast' vosstanovleniya i razvitiya APK Nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Land Reclamation is an Integral Part of the Restoration and Development of the Agro-industrial Complex of the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation: Proc. of the International Scientific-Practical Conf.]. Moscow, VNIIGiM Publ., pp. 256-262. (In Russian).

10. Tsarapkina I.L., 1992. *Metody inzhenernoy biomelioratsii slozhnykh v osvoyenii pochv. Avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk* [Methods of engineering bioreclamation of soils difficult to develop. Abstract of cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 23 p. (In Russian).

11. Puninsky Yu.S., 1986. *Melioratsiya i okul'turivanie peschanykh pustynnykh zemel'* [Reclamation and Cultivation of Sandy Desert Lands]. Moscow, VNIIGiM, 12 p. (In Russian).

12. Puninskiy Yu.S. [et al.], 1989. *Razrabotat' metody biomelioratsii peschanykh i tyazhelykh pochv pri oroshenii kul'tur-osvoiteley: NTO* [To develop methods for bioreclamation of sandy and heavy soils during the irrigation of master crops: NTO]. Moscow, VNIIGiM, 154 p., no. GR 01870022546. (In Russian).

Информация об авторе

В. С. Пунинский – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the author

V. S. Puninskiy – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 29.04.2022; одобрена после рецензирования 18.05.2022; принята к публикации 31.05.2022.

The article was submitted 29.04.2022; approved after reviewing 18.05.2022; accepted for publication 31.05.2022.

Обзорная статья

УДК 631.347

Анализ систем передвижения многоопорных дождевальных машин

Аркадий Павлович Васильченко¹, Александр Евгеньевич Шепелев²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹Vap79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9556-4260>

²oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5941-3254>

Аннотация. Цель: анализ систем передвижения многоопорных дождевальных машин. **Обсуждение.** Гидравлическая система передвижения с использованием оросительной воды хоть и проста по конструкции, но имеет ряд недостатков, таких как использование цельнометаллических колес, образующих глубокие колеи, высокий расход воды из-за питания гидроцилиндров, невысокая мощность гидропривода, а значит, и скорость передвижения дождевальной машины. Электрическая система передвижения имеет ряд достоинств, таких как простота ее обслуживания, регулировка скорости передвижения путем увеличения или уменьшения подачи напряжения на электродвигатели, отсутствие сложных элементов в конструкции, а также использование пневмоколес (в отличие от гидравлической системы передвижения с использованием оросительной воды). Имеются и недостатки, такие как отсутствие плавности хода и рывки опорных тележек в начале движения и остановки. Система передвижения с замкнутой гидросистемой хоть и имеет некоторые преимущества перед электрической при движении опорных тележек, все же громоздка, недостаточно надежна, имеет низкий КПД гидромоторов, применяемых в ней, и трудоемка в обслуживании. **Выводы.** Результаты анализа систем передвижения дождевальных машин показали, что в настоящее время на многоопорных дождевальных машинах применяются следующие виды систем передвижения: гидравлическая система передвижения с использованием оросительной воды, электрическая система передвижения и гидравлическая система передвижения с замкнутой гидросистемой. Анализ достоинств и недостатков систем передвижения дождевальных машин показал, что требуется проведение дальнейших исследований, посвященных их совершенствованию.

Ключевые слова: дождевальная машина, система передвижения, тележка, оросительная сеть, гидропривод, мотор-редуктор, колесо

Review article

Analysis of systems of multi-tower sprinkling machine movement

Arkadiy P. Vasilchenko¹, Alexander E. Shepelev²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹Vap79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9556-4260>

²oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5941-3254>

Abstract. Purpose: analysis of the movement systems of multi-tower sprinklers. **Discussion.** The hydraulic system of movement using irrigation water, although simple in design, has a number of disadvantages, such as the use of all-metal wheels that form deep ruts, high water consumption due to the hydraulic cylinders supply, low hydraulic power, that is sprinkler movement speed. The electric movement system has a number of advantages, such

as ease of its maintenance, movement speed adjustment by increasing or decreasing the voltage supply to the electric motors, the absence of complex elements in the design, and the use of pneumatic wheels (unlike the hydraulic movement system using irrigation water). There are also disadvantages, such as the lack of a smooth ride and jerkings of support boggies at the beginning of movement and at stopping. The movement system with a closed loop hydraulic system, although it has some advantages over the electric one when moving support boggies, is still bulky, not reliable enough, has a low efficiency of the hydraulic motors used in it, and is laborious to maintain. **Conclusions.** The results of the analysis of the sprinkler machine movement systems showed that the following types of movement systems are currently used on multi-tower sprinkler machines: a hydraulic movement system using irrigation water, an electric movement system and a hydraulic movement system with a closed loop hydraulic system. An analysis of the advantages and disadvantages of sprinkler movement systems has shown the need of further research to improve them.

Keywords: sprinkling machine, movement system, trolley, irrigation network, hydraulic gear, gear motor, wheel

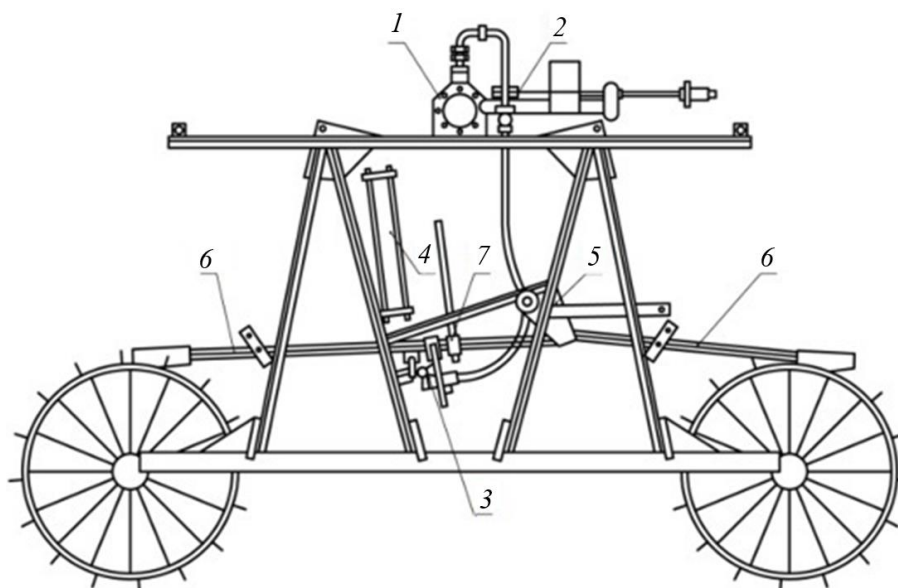
Введение. Согласно государственным программам по развитию сельского хозяйства, предусматривается его развитие на современных принципах и с соблюдением критериев, продиктованных современными условиями. Они характеризуются автономностью и самоходностью осуществляющих полив в движении дождевальных машин, которая обеспечивается системой передвижения, включающей в себя ведущие тележки в качестве опор водопроводящего трубопровода [1, 2].

Обсуждение. Анализ систем передвижения дождевальных машин показал, что в настоящее время на многоопорных дождевальных машинах применяются следующие виды систем передвижения: гидравлическая система передвижения с использованием оросительной воды, электрическая система передвижения и система передвижения с замкнутой гидросистемой [3–7].

Гидравлическая система передвижения с использованием оросительной воды применяется на дождевальной унифицированной машине ДМУ «Фрегат» [3–5, 8]. Это многоопорная, самодвижущаяся машина, она поливает в движении от закрытой оросительной сети [8, 9].

Принципиальная схема гидравлической системы передвижения с использованием оросительной воды представлена на рисунке 1.

Из водопроводящего пояса 1 машины вода через дроссельный клапан 2 поступает в распределительный клапан 3, а оттуда по пустотелому штоку – в верхнюю полость гидроцилиндра 4. Под действием напора воды гидроцилиндр 4 будет подниматься вверх, увлекая за собой двуплечий рычаг с косынкой 5, соединенной с толкающей штангой 6. При перемещении штанги 6 ее концевые выступы упрутся в почвозацепы колес и толкают их, колеса поворачиваются на некоторый угол, увлекая за собой водопроводящий пояс 1. Подъем гидроцилиндра 4 продолжается до тех пор, пока двуплечий рычаг не упрется в зацеп 7 вертикальной тяги, связанной с рычагом переключения распределительного клапана 3. При этом открывается сливное отверстие распределительного клапана 3 и прекращается поступление воды в гидроцилиндр 4. Под действием возвратной пружины шток гидроцилиндра 4 опускается, и вода через сливные патрубки и перфорированные полиэтиленовые трубы выливается на поверхность орошаемого участка. При опускании гидроцилиндра 4 толкающие штанги отходят назад, в первоначальное положение, и выступы их входят в зацепление со следующими почвозацепами. Когда гидроцилиндр 4 достигает своего нижнего положения, срабатывает распределительный клапан 3, закрывая сливное отверстие, и вода снова начинает поступать в гидроцилиндр 4. Затем рабочий цикл повторяется [3, 8, 10–12].



1 – водопроводящий пояс; 2 – дроссельный клапан; 3 – распределительный клапан;
4 – гидроцилиндр; 5 – двулучий рычаг с косынкой; 6 – штанга; 7 – зацеп

Рисунок 1 – Принципиальная схема гидравлической системы передвижения с использованием оросительной воды

Picture 1 – Schematic diagram of the hydraulic system of movement using irrigation water

Данная система передвижения имеет ряд преимуществ:

- простота элементов конструкции системы передвижения;
- не требуется дополнительных источников питания для перемещения машины.

Имеется также ряд недостатков:

- использование цельнометаллических колес, приводящих к образованию глубокой колеи, что вызывает значительные показатели сопротивления передвижению;
- для питания гидроцилиндров требуется расход воды около 3 л/с, что приводит к перерасходу воды;
- диаметр цилиндра и давление воды ограничивают мощность гидропривода;
- конструкция гидропривода имеет трущуюся пару «поршень – цилиндр»;
- холостой ход гидропривода.

К машинам, имеющим электрическую систему передвижения, относится электрическая дождевальная машина фронтального действия ЭДМФ «Кубань», а также импортные дождевальные машины, например, дождевальная машина Centerliner 5000 (Bauer) [8, 10, 13, 14].

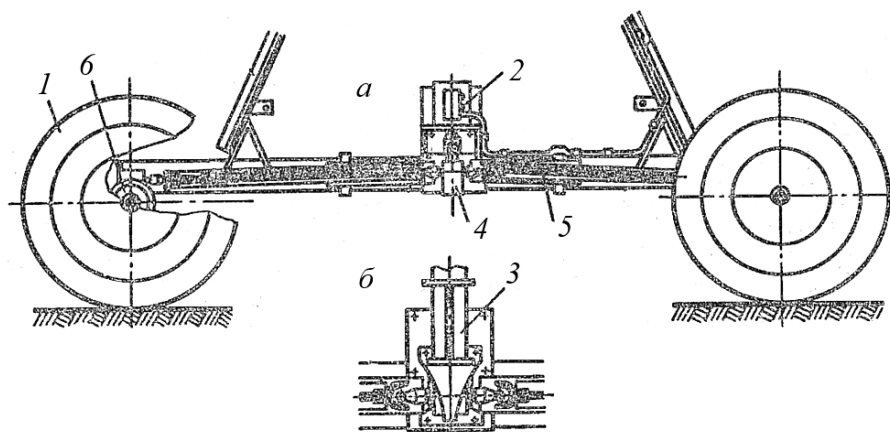
Передвижение машины по полю осуществляется за счет мотор-редукторов ходовых тележек, получающих электроэнергию от генератора энергетической установки.

Принципиальная схема электрической системы передвижения представлена на рисунке 2.

Ходовая опорная тележка опирается на два приводных колеса 1 с пневматическими шинами. Они вращаются от установленного на тележке электродвигателя 2 или мотор-редуктора 3. В передаче вращения на тележках используются также червячный мотор-редуктор 4, два трансмиссионных карданных вала 5 и два конечных червячных редуктора 6 [8, 13, 14].

Колесные редукторы соединены с балкой поворотными кронштейнами, что обеспечивает вертикальное перемещение колес при движении по неровностям. Кон-

струкции промежуточных и опорных тележек различаются незначительно: передаточное число редукторов крайних тележек меньше, чем опорных. Поэтому крайние тележки перемещаются с большей скоростью по отношению к остальным. Это способствует движению трубопровода машины без перекоса и излома. Режим движения крайних тележек может быть непрерывным или стоп-стартным с продолжительностью включения и остановки электродвигателя тележки от 1 до 100 с [10, 13, 14].



a – общий вид; *б* – мотор-редуктор промежуточной тележки; 1 – пневматическое колесо; 2 – электродвигатель; 3 – мотор-редуктор; 4 – червячный мотор-редуктор; 5 – трансмиссионный карданный вал; 6 – конечный червячный редуктор

Рисунок 2 – Принципиальная схема электрической системы передвижения

Figure 2 – Schematic diagram of the electric system of movement

К достоинствам электрической системы передвижения относятся:

- простота элементов конструкции;
- регулировка скорости передвижения дождевальной машины путем увеличения или уменьшения подачи напряжения на электродвигатели;
- отсутствие сложных элементов в конструкции;
- использование пневмоколес.

К недостаткам относятся:

- отсутствие плавности хода;
- рывки опорных тележек в начале движения и при остановках.

Представителем, использующим систему передвижения с замкнутой гидросистемой, является дождевальная машина фирмы T-L Irrigation [6, 15, 16].

Она работает от гидропривода с замкнутым циклом (автономная гидросистема), который включает в себя общий гидронасос, гидродвигатель каждого колеса опорной тележки, нагнетательную и сливную магистраль, а также устройство автоматического управления [16]. Для заполнения системы используется экологически безопасная гидравлическая жидкость.

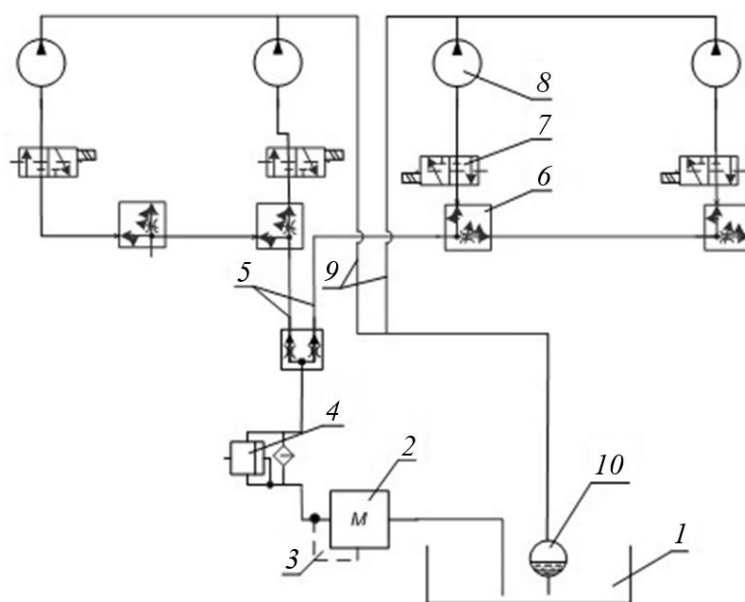
Каждое колесо тележки оснащается гидромотором, который производит передачу вращения этому колесу [15, 16].

Гидроклапаны осуществляют управление скоростью передвижения тележек. Управление может быть как автоматическим, так и ручным.

Принципиальная схема привода двух тележек дождевальной машины с замкнутой гидросистемой приведена на рисунке 3.

Масло из бака 1 по входному трубопроводу засасывается гидравлическим насосом 2, выходная линия (линия высокого давления) которого оборудована предохранительным клапаном 3. По линии высокого давления гидравлическое масло, проходя че-

рез охладитель рабочей жидкости с фильтром 4, попадает в двухсекционный делитель потока 5. Двухсекционный делитель потока устанавливается только на дождевальные машины, имеющие правое и левое крылья. С двухсекционного делителя потока 5 гидравлическая жидкость по трубопроводу высокого давления попадает в клапан регулирования потока 6. Клапан регулирования потока 6 часть гидравлической жидкости отводит на первую тележку, а основная часть гидравлической жидкости идет по магистральному проводу на последующие тележки. После клапана регулирования потока 6 на магистральной линии установлен электрогидрозолотник двухпозиционного действия 7, через который осуществляется подача рабочей жидкости на гидродвигатель 8, тот в свою очередь приводит колесо опорной тележки в движение. С гидродвигателя 8 рабочая жидкость по сливной магистрали 9, пройдя гидроаккумулятор 10, сливается в бак.



1 – бак; 2 – гидравлический насос; 3 – предохранительный клапан; 4 – охладитель рабочей жидкости с фильтром; 5 – двухсекционный делитель потока; 6 – клапан регулирования потока; 7 – электрогидрозолотник двухпозиционного действия; 8 – гидродвигатель; 9 – сливная магистраль; 10 – гидроаккумулятор

Рисунок 3 – Принципиальная схема привода двух тележек дождевальной машины с замкнутой гидросистемой

Figure 3 – Schematic diagram of the drive of two sprinkler boggies with closed loop hydraulic system

Плюсами данной системы передвижения являются:

- движение опорных тележек, в отличие от машин с электроприводом, осуществляется постоянно без рывков (во время старта и остановки);
- уменьшается вероятность застревания колес и их пробуксовки, так как машина движется постоянно и равномерно.

Недостатками системы передвижения являются:

- громоздкость конструкции гидросистемы;
- трудоемкость в обслуживании гидросистемы;
- недостаточная надежность, обусловленная большим количеством соединений по длине гидросистемы;
- низкий КПД гидромоторов (не более 68 %);
- наличие гидромоторов по 2 шт. на каждой опорной тележке и перемещение их всех одновременно ведет к увеличению затрат мощности;

- низкий нормативный срок службы гидромоторов (4000 мото-часов);
- необходимость изготовления многих элементов гидропривода по высокому классу точности усложняет конструкцию и повышает стоимость их изготовления.

Выводы

1 Результаты анализа систем передвижения дождевальных машин показали, что в настоящее время на многоопорных дождевальных машинах применяются следующие виды систем передвижения: гидравлическая система передвижения с использованием оросительной воды, электрическая система передвижения и гидравлическая система передвижения с замкнутой гидросистемой.

2 Гидравлическая система передвижения с использованием оросительной воды хоть и проста по конструкции, но имеет ряд недостатков, таких как использование цельнометаллических колес, образующих глубокие колеи, высокий расход воды из-за питания гидроцилиндров, невысокая мощность гидропривода, а значит, и скорость передвижения дождевальной машины.

3 Электрическая система передвижения имеет ряд достоинств, таких как простота ее обслуживания, регулировка скорости передвижения посредством увеличения или уменьшения подачи напряжения на электродвигатели, отсутствие сложных элементов в конструкции, а также использование пневмоколес (в отличие от гидравлической системы передвижения с использованием оросительной воды). Имеются и недостатки, такие как отсутствие плавности хода и рывки опорных тележек в начале движения и остановки. Однако эти недостатки слабо влияют на эксплуатационные свойства данной системы.

4 Система передвижения с замкнутой гидросистемой хоть и имеет некоторые преимущества перед электрической при движении опорных тележек, все же громоздка, недостаточно надежна, имеет низкий КПД гидромоторов, применяемых в ней, и трудоемка в обслуживании.

5 Анализ достоинств и недостатков систем передвижения дождевальных машин показал, что требуется проведение дальнейших исследований, посвященных их совершенствованию.

Список источников

1. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 (с изм. на 26 нояб. 2021 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет (дата обращения: 24.02.2022).

2. Государственная программа РФ «Комплексное развитие сельских территорий» [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 31 мая 2019 г. № 696 (с изм. на 22 окт. 2021 г.). Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет (дата обращения: 24.02.2022).

3. Городничев В. И. Автоматизация технологических процессов орошения: произв.-практ. изд. М.: Росинформагротех, 2008. 268 с.

4. Фокин Б. П., Носов А. К. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин. Ставрополь, 2011. 80 с.

5. Савушкин С. С. Гидропривод широкозахватных дождевальных машин // Материалы IX Международного форума по гидравлике, пневматике и приводам «Интердрайв-2012»: офиц. кат. М., 2012. С. 167–170.

6. T-L Irrigation (США) [Электронный ресурс]. URL: <http://irrigationparts.ru/t-l-irrigation-ssha> (дата обращения: 24.02.2022).

7. Широкозахватные дождевальные машины зарубежного производства [Элек-

тронный ресурс]. URL: https://itexn.com/699_shirokozahvatnye-dozhdevalnye-mashiny-zarubezhnogo-proizvodstva.html (дата обращения: 15.02.2022).

8. Сапунков А. П. Механизация полива. М.: Агропромиздат, 1987. 336 с.

9. Васильев С. М., Шкура В. Н. Дождевание. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 352 с.

10. Основные типы дождевальных машин и установок [Электронный ресурс]. URL: https://m.studref.com/597063/agropromyshlennost/osnovnye_tipy_dozhdevalnyh_mashin_ustanovok (дата обращения: 25.02.2022).

11. Русинов А. В. Подготовка оператора дождевальных машин и установок: метод. указания. Саратов: Саратовский ГАУ, 2017. 144 с.

12. Машины и оборудование для орошения сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / В. В. Слюсаренко, А. В. Хизов, Л. А. Журавлева, А. В. Русинов, Д. А. Соловьев, С. А. Левченко, О. В. Кабанов, Н. С. Отрадно. Саратов: Саратовский ГАУ, 2011. 161 с.

13. Дождевальная машина «Кубань» [Электронный ресурс]. URL: https://itexn.com/636_dozhdevalnaja-mashina-kuban.html (дата обращения: 28.02.2022).

14. Руководство по эксплуатации оросительной установки BAUER CENTERLINER 5000 [Электронный ресурс]. 128 с. URL: https://www.bauer-at.com/upload/file/BA_Centerliner_5000_ru.pdf (дата обращения: 28.02.2022).

15. Круговые ирригационные системы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tlirg.com/ru/товары/круговые-ирригационные-системы/> (дата обращения: 01.03.2022).

16. Гидравлический привод для непрерывного движения [Электронный ресурс]. URL: <http://uniferx.com/assets/files/ua/russian-family-lit.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).

References

1. *O Gosudarstvennoy programme razvitiya sel'skogo khozyaystva i regulirovaniya rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya* [On the State Program of Development of Agricultural Development and Regulation of Markets for Agricultural Products, Raw Materials and Food]. Decree of the Government of the Russian Federation of 14 July, 2012, no. 717, as amended on November 26, 2021. Access from information system “Techexpert”. (In Russian).

2. *Gosudarstvennaya programma RF “Kompleksnoe razvitie sel'skikh territoriy”* [State program of the Russian Federation “Integrated Development of Rural Areas”]. Decree of the Government of the Russian Federation of 31 May, 2019, no. 696, as amended on October 22, 2021. Access from information system “Techexpert”. (In Russian).

3. Gorodnichev V.I., 2008. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov orosheniya: proizvodstvenno-prakticheskoe izdanie* [Automation of Technological Irrigation Processes: industrial-practical ed.]. Moscow, Rosinformagrotekh, 268 p. (In Russian).

4. Fokin B.P., Nosov A.K., 2011. *Sovremennye problemy primeneniya mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin* [Modern Problems of Using Multi-Support Sprinkling Machines]. Stavropol, 80 p. (In Russian).

5. Savushkin S.S., 2012. *Gidroprivod shirokozahvatnykh dozhdeval'nykh mashin* [Hydraulic drive of wide-cut sprinkling machines]. *Materialy IX Mezhdunarodnogo foruma po gidravlike, pnevmatike i privodam “Interdrive-2012”: ofitsial'nyy katalog* [Proc. of the IX International Forum on Hydraulics, Pneumatics and Drives “Interdrive-2012”: official cat.]. Moscow, pp. 167-170. (In Russian).

6. T-L Irrigation (USA), available: <http://irrigationparts.ru/t-l-irrigation-ssha> [accessed 24.02.2022]. (In Russian).

7. *Shirokozahvatnye dozhdeval'nye mashiny zarubezhnogo proizvodstva* [Wide-cut sprinkler machines of foreign production], available: https://itexn.com/699_shirokozahvatnye-dozhdevalnye-mashiny-zarubezhnogo-proizvodstva.html [accessed 15.02.2022]. (In Russian).

-
8. Sapunkov A.P., 1987. *Mekhanizatsiya poliva* [Irrigation Mechanization]. Moscow, Agropromizdat Publ., 336 p. (In Russian).
9. Vasiliev S.M., Shkura V.N., 2016. *Dozhdevanie* [Sprinkling]. Novocherkassk, RosNIIPM, 352 p. (In Russian).
10. *Osnovnye tipy dozhdeval'nykh mashin i ustanovok* [Main types of sprinkler machines and installations], available: https://m.studref.com/597063/agropromyshlennost/osnovnye_tipy_dozhdevalnyh_mashin_ustanovok [accessed 25.02.2022]. (In Russian).
11. Rusinov A.V., 2017. *Podgotovka operatora dozhdeval'nykh mashin i ustanovok: metod. ukazaniya* [Training of the Operator for Sprinkling Machines and Installations: guidelines]. Saratov, Saratov GAU, 144 p. (In Russian).
12. Slyusarenko V.V., Khizov A.V., Zhuravleva L.A., Rusinov A.V., Solovyov D.A., Levchenko S.A., Kabanov O.V., Otradnov N.S., 2011. *Mashiny i oborudovanie dlya orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: uchebnoe posobie* [Machinery and Equipment for Irrigation of Agricultural Crops: textbook]. Saratov, Saratov GAU, 161 p. (In Russian).
13. *Dozhdeval'naya mashina "Kuban"* [Irrigation machine "Kuban"], available: https://itexn.com/636_dozhdevalnaja-mashina-kuban.html [accessed 28.02.2022]. (In Russian).
14. *Rukovodstvo po ekspluatatsii orositel'noy ustanovki BAUER CENTERLINER 5000* [Operating manual for the irrigation installation BAUER CENTERLINER 5000]. 128 p., available: https://www.bauer-at.com/upload/file/BA_Centerliner_5000_en.pdf [accessed 28.02.2022]. (In Russian).
15. *Krugovye irrigatsionnye sistemy* [Center pivot irrigation systems], available: <https://www.tlirr.com/ru/products/circular-irrigation-systems/> [accessed 01.03.2022]. (In Russian).
16. *Gidravlicheskiy privod dlya nepreryvnogo dvizheniya* [Hydraulic drive for continuous movement], available: <http://uniferx.com/assets/files/ua/russian-family-lit.pdf> [accessed 01.03.2022]. (In Russian).
-

Информация об авторах

А. П. Васильченко – научный сотрудник, кандидат технических наук;

А. Е. Шепелев – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the authors

A. P. Vasilchenko – Researcher, Candidate of Technical Sciences;

A. E. Shepelev – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 06.05.2022; одобрена после рецензирования 20.05.2022; принята к публикации 06.06.2022.

The article was submitted 06.05.2022; approved after reviewing 20.05.2022; accepted for publication 06.06.2022.

Научная статья
УДК 633.34:631.67

Поливной режим и продуктивность сои при различных способах орошения

Дмитрий Петрович Сидаренко¹, Сергей Артурович Селицкий²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹sidarenko1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3273-6499>

²rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>

Аннотация. Цель: изучение влияния поливных режимов на урожайность сои при различных способах орошения. **Материалы и методы.** Исследования, посвященные изучению поливных режимов сои при различных способах орошения, проводились в 2021 г. на орошаемых землях Приазовской зоны Ростовской области. Полевые опыты закладывались рендомизированным методом в соответствии с общепринятыми методиками опытного дела по Б. А. Доспехову. Учет биологического урожая сои осуществлялся в фазе полного созревания семян методом отбора пробных снопов с метровок. Математическая обработка полученных результатов включала агрономический анализ и статистическую оценку. **Результаты.** Наблюдения за поливным режимом сои при разных способах орошения показали, что за период исследований оросительная норма при капельном орошении была меньше на 600 м³/га, чем при дождевании. При дождевании урожайность сои несколько ниже (на 0,72 т/га), чем при использовании системы капельного орошения (5,20 т/га), но по сравнению с вариантом без орошения прибавка урожая составила соответственно 91,5 и 122,2 %. Таким образом, установлено более существенное влияние системы капельного орошения по сравнению с дождеванием на рост, развитие и урожайность сои (сорт СК Оптима). **Выводы.** Проведенные исследования выявили преимущество капельного орошения сои перед дождеванием. Использование данной технологии позволяет сократить оросительную норму и обеспечивает получение более высоких урожаев сои, что делает изучаемую технологию более востребованной для применения в условиях сельхозтоваропроизводства.

Ключевые слова: соя, поливной режим, дождевание, капельный полив, урожайность

Original article

Irrigation regime and soybean productivity under different irrigation methods

Dmitry P. Sidarenko¹, Sergey A. Selitskiy²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹sidarenko1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3273-6499>

²rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>

Abstract. Purpose: to study the effect of irrigation regimes on soybean yields under various irrigation methods. **Materials and methods.** Studies of soybean irrigation regimes under different irrigation methods were carried out in 2021 on irrigated lands of the Azov zone Rostov region. Field experiments were laid by a randomized method in accordance with generally accepted methods of experimental work according to B. A. Dospekhov. Accounting

for the soybean biological yield was carried out in the phase of seed full maturation by selecting test sheaves from one-meter long board. Mathematical processing of the results obtained included agronomic analysis and statistical evaluation. **Results.** Soybean irrigation regime observations with different irrigation methods showed that during the research period, the irrigation rate with drip irrigation was 600 m³/ha less than with sprinkling. With sprinkling, the soybean yield is slightly lower (by 0.72 t/ha) than when using the drip irrigation system (5.20 t/ha), but compared to the variant without irrigation, the yield increase was 91.5 and 122.2 %, respectively. Thus, a more significant effect of the drip irrigation system compared to sprinkling on the growth, development and yield of soybean (SK Optima cultivar) has been found. **Conclusions.** The conducted studies revealed the advantage of soybean drip irrigation over sprinkling. The use of this technology makes it possible to reduce the irrigation rate and ensures higher soybean yields, which makes the technology under study more in demand for use in agricultural production.

Keywords: soybean, irrigation regime, sprinkling, drip irrigation, yield

Введение. Возрастающая потребность в растительном белке и масле как важнейших компонентах, используемых в рационах человека, животных и птицы, а также как сырье для медицинских и технических целей определяет актуальность проведения исследований, направленных на оптимизацию технологии возделывания сои, позволяющей при экономном использовании ресурсов получать стабильные урожаи [1–4].

Для увеличения валового производства отечественной сои в России требуется расширение посевных площадей и увеличение урожайности этой культуры, а также, что очень важно, совершенствование самой технологии ее возделывания, особенно при орошении. Для достижения поставленной цели в условиях орошения на юге России необходимо проведение полевых исследований, посвященных отработке сортовой агротехники сои, введению новых элементов технологии, включая ресурсосберегающие способы и режимы орошения рассматриваемой культуры [5–7].

Цель данных исследований состояла в изучении влияния поливных режимов на урожайность сои при различных способах орошения.

Материалы и методы. Исследования, посвященные изучению поливных режимов сои при различных способах орошения, проводились в 2021 г. на орошаемых землях Приазовской зоны Ростовской области. Для данной сельскохозяйственной зоны характерны следующие климатические и почвенные условия. Продолжительность вегетационного периода с температурой выше 10 °С 165–180 дней. Сумма активных температур ($t > 10$ °С) 3200–3400 °С. Тепловые ресурсы области не являются ограничительным фактором для возделывания сельскохозяйственных культур, и сои в частности. В основном недостаток влаги в весенне-летний период является фактором, который не позволяет получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Количество среднегодовых осадков распределено неравномерно и в среднем составляет до 500 мм во влажные годы до 350 мм в засушливые годы. Гидротермический коэффициент (ГТК) составляет 0,7–0,8, характеризует район с засушливым климатом. Естественная влагообеспеченность сои составляет всего около 40 % от оптимальной [8].

Большое влияние кроме климатических условий на формирование урожайности растений оказывают особенности почвенного покрова. Преобладающей почвенной разновидностью зоны является чернозем обыкновенный.

Мощность гумусового горизонта А + В обыкновенных черноземов, залегающих на плато водоразделов, колеблется от 70 до 90 см. Горизонт А имеет темно-серую окраску и хорошо выраженную ореховато-зернистую структуру. Для данного подтипа чернозема, как и для всех других, характерно образование и накопление гуматного насыщенного кальцием гумуса. В почвенно-поглощающем комплексе преобладают

кальций и магний, сумма которых превышает 40 мг-экв/100 г почвы. Реакция почвенной среды нейтральная и слабощелочная. Значительная мощность гумусового горизонта, его хорошая структура положительно влияют на физические свойства: плотность сложения пахотного слоя 1,10–1,15 т/м³, наименьшая влагоемкость (НВ) 32–33 %. Общее количество пор в верхней части профиля 52–56 %, что обеспечивает нормальный рост и развитие сельскохозяйственных растений [9].

Полевые опыты закладывались рендомизированным методом в соответствии с общепринятыми методиками опытного дела по Б. А. Доспехову [10].

Учет биологического урожая сои осуществлялся в фазе полного созревания семян методом отбора пробных снопов с метровок [11, 12]. Математическая обработка полученных результатов включала агрономический анализ и статистическую оценку [10].

Результаты и обсуждения. Суммарное количество осадков, выпавшее за вегетационный период сои в 2021 г., составило 393,3 мм, что выше суммы среднемноголетних значений осадков за этот же период на 126,3 мм. Помесячно превышение осадков над среднемноголетними значениями распределилось следующим образом: в мае – на 69,8 %, в июне – на 32,7 %, в июле – на 52,2 %, в августе – на 115 %. В сентябре количество осадков было на уровне среднемноголетних значений.

Температура воздуха была выше среднемноголетних значений за эти месяцы. Особенно жаркими были июль и август, превышение среднесуточных температур в эти месяцы составило 3 и 2 °С соответственно. Высокие температуры воздуха обеспечили большое испарение с поверхности почвы. Сумма среднесуточных температур воздуха выше 10 °С за расчетный период вегетации сои составила 3440,2 °С.

По степени обеспеченности осадками за период вегетации (май – август) год исследований можно охарактеризовать как влажный (ГТК = 1,14).

Наблюдения за поливным режимом сои при разных способах орошения показали, что за период исследований оросительная норма при капельном орошении была меньше на 600 м³/га, чем при дождевании. Это значит, что при использовании систем капельного орошения вода расходуется более экономно по сравнению с дождеванием (таблица 1).

Таблица 1 – Поливной режим сои при различных способах орошения

Table 1 – Watering regime of soybean under different irrigation methods

Вариант	Номер полива	Дата полива	Поливная норма, м ³ /га	Оросительная норма, м ³ /га	Поливной сезон, сут
1 Дождевание 1 т (80 % НВ в слое 0,6 м)	1	12.07	450	2250	69
	2	27.07	450		
	3	30.07	450		
	4	10.08	450		
	5	28.08	450		
2 Капельное орошение 1 т (80 % НВ в слое 0,6 м)	1	12.07	210	1680	73
	2	16.07	210		
	3	21.07	210		
	4	03.08	210		
	5	10.08	210		
	6	20.08	210		
	7	27.08	210		
	8	01.09	210		

Урожайность сои при различных способах орошения по вариантам опыта (таблица 2) варьировала существенно.

Таблица 2 – Урожайность сои при различных способах орошения**Table 2 – Soybean yield under different irrigation methods**

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка урожайности	
		т/га	%
1 Дождевание (80 % НВ)	4,48	2,14	91,5
2 Капельное орошение (80 % НВ)	5,20	2,86	122,2
3 Без орошения	2,34	–	–
НСР ₀₅		0,21	5

Как видно из данных таблицы 2, при дождевании урожайность сои несколько ниже (на 0,72 т/га), чем при использовании системы капельного орошения (5,20 т/га), но по сравнению с вариантом без орошения прибавка урожая составила соответственно 91,5 и 122,2 %.

Таким образом, установлено более существенное влияние системы капельного орошения по сравнению с дождеванием на рост, развитие и урожайность сои (сорт СК Оптима).

Выводы. Проведенные исследования позволили выявить преимущество капельного орошения сои перед дождеванием. Использование данной технологии позволяет сократить оросительную норму и обеспечивает получение более высоких урожаев сои, что делает изучаемую технологию более востребованной для применения в условиях сельхозтоваропроизводства.

Список источников

1. Андреева Т. П., Балакай Г. Т. Способы снижения экологической нагрузки на орошаемые земли при возделывании сои // Исследования в области решения проблем мелиорации. М., 2002. С. 95–99.

2. Балакай Г. Т., Безуглова О. С. Соя: экология, агротехника, переработка. Ростов н/Д.: Феникс, 2003. 160 с.

3. Соя в Волгоградской области / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. М. Салдаев, Д. А. Пахомов. Волгоград: Панорама, 2008. 224 с.

4. Соя в России: монография / В. А. Федотов [и др.]. М.: Агролига России, 2013. 429 с.

5. Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Роль точного земледелия в программном выращивании урожая сельскохозяйственных культур // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(66). С. 50–53.

6. Система управления широкозахватной дождевальной машины кругового действия для прецизионного орошения / А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко, Р. В. Скиданов, В. В. Подлипов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1(73). С. 195–199.

7. Щедрин В. Н., Васильев С. М. Концептуально-методологические принципы (основы) стратегии развития мелиорации как национального достояния России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 1(33). С. 1–11. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585> (дата обращения: 01.04.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11.

8. Районирование территории Ростовской области по агроклиматическим подзонам для перспективных сортов сои различных групп спелости / Г. Т. Балакай, С. А. Селицкий, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 3(39). С. 52–67. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1138> (дата обращения: 01.04.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-52-67.

9. Полуэктов Е. В., Цвылев Е. М. Почвенно-земельные ресурсы Ростовской области: учеб. пособие. Новочеркасск: НГМА, 1999. 201 с.

10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 315 с.

11. Федин М. А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с.

12. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / В. М. Лукомец [и др.]. Краснодар, 2010. 327 с.

References

1. Andreeva T.P., Balakay G.T., 2002. *Sposoby snizheniya ekologicheskoy nagruzki na oroshaemye zemli pri vozdeleyvanii soi* [Methods for reducing the environmental load on irrigated lands during soybean cultivation]. *Issledovaniya v oblasti resheniya problem melioratsii* [Research in the Field of Solving Reclamation Problems]. Moscow, pp. 95-99. (In Russian).

2. Balakai G.T., Bezuglova O.S., 2003. *Soya: ekologiya, agrotehnika, pererabotka* [Soya: Ecology, Agricultural Technology, Processing]. Rostov-on-Don, Fenix Publ., 160 p. (In Russian).

3. Borodychev V.V., Lytov M.N., Saldaev A.M., Pakhomov D.A., 2008. *Soya v Volgogradskoy oblasti* [Soya in Volgograd Region]. Volgograd, Panorama Publ., 224 p. (In Russian).

4. Fedotov V.A. [et al.], 2013. *Soya v Rossii: monografiya* [Soya in Russia: monograph]. Moscow, Agroliga of Russia Publ., 429 p. (In Russian).

5. Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2017. *Rol' tochnogo zemledeliya v programmirovannom vyrashchivanii urozhaya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [The role of precision farming in the programmed cultivation of agricultural crops]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(66), pp. 50-53. (In Russian).

6. Babichev A.N., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.Ig., Skidanov R.V., Podlipnov V.V., 2019. *Sistema upravleniya shirokozakhatnoy dozhdaval'noy mashiny krugovogo deystviya dlya pretsizionnogo orosheniya* [The control system of a wide-cut center pivot irrigation machine for precision irrigation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(73), pp. 195-199. (In Russian).

7. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., 2019. [Conceptual and methodological principles (basics) of development strategies for land reclamation as a national treasure of Russia]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(33), pp. 1-11, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585> [accessed 01.04.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11. (In Russian).

8. Balakay G.T., Selitsky S.A., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., 2020. [Rostov region territory zoning on agro-climate subzones for perspective soy varieties of various maturity groups]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(39), pp. 52-67, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1138> [accessed 01.04.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-52-67. (In Russian).

9. Poluektov E.V., Tsvylev E.M., 1999. *Pochvenno-zemel'nye resursy Rostovskoy oblasti: uchebnoe posobie* [Soil and Land Resources of Rostov Region: textbook]. Novocherкасск, NGMA, 201 p. (In Russian).

10. Dospikhov B.A., 1985. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of Field Experience (with the Basics of Statistical Processing of Research Results)]. 5th ed., suppl., Moscow, Agropromizdat Publ., 315 p. (In Russian).

11. Fedin M.A., 1989. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Methodology of State Variety Testing of Agricultural Crops]. Moscow, 194 p. (In Russian).

12. Lukomets V.M. [et al.], 2010. *Metodika provedeniya polevykh agrotekhnicheskikh opytov s maslichnymi kul'turami* [Methodology for Conducting Field Agrotechnical Experiments with Oilseeds]. Krasnodar, 327 p. (In Russian).

Информация об авторах

Д. П. Сидаренко – научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;

С. А. Селицкий – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

D. P. Sidarenko – Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;

S. A. Selitsky – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 03.06.2022; принята к публикации 06.06.2022.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 03.06.2022; accepted for publication 06.06.2022.

Обзорная статья

УДК 627.133

К вопросу об использовании гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в качестве средства измерения в открытом канале

Александр Анатольевич Чураев¹, Любовь Васильевна Юченко²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹churaev75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9198-169x>

²oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8372-0852>

Аннотация. Цель: использование гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в качестве средства измерения расхода воды на открытом оросительном канале. **Обсуждение.** Гидрометрические сооружения обеспечивают требуемую точность измерения. Относительная погрешность измерения (не более $\pm 5\%$) зависит от принятой модели измерения расхода, а также погрешностей способов определения средней скорости потока и живого сечения. Использование гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в виде средства измерения на открытом канале требует проведения градуировки, при которой устанавливается зависимость величины расхода воды от изменения уровня воды в открытом канале оросительной сети в виде графика «уровень – расход» и рассчитываются расходные таблицы. При градуировке гидрометрического створа типа «фиксированное русло» измерения расхода воды выполняются известным методом «скорость – площадь». Для измерения скорости потока воды в открытых каналах с расходами более 25–50 м³/с могут применяться ультразвуковые приборы и установки. **Выводы.** Для решения проблемы оснащения средством водоучета на открытом оросительном канале при отсутствии подтопления предлагается гидрометрическое сооружение типа «фиксированное русло», которое зарекомендовало себя достаточно надежным средством измерения, имеющим устойчивые метрологические характеристики. Для использования данного сооружения в качестве средства измерения в перспективе необходимо обновление нормативно-технической документации, регламентирующей основные требования к проведению градуировочных работ на открытых каналах.

Ключевые слова: гидрометрическое сооружение, фиксированное русло, средство измерения, градуировка, относительная погрешность измерения

Review article

On issue of using a hydrometric structure of a “fixed channel type” as a measuring instrument in an open canal

Aleksandr A. Churaev¹, Lyubov V. Yuchenko²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹churaev75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9198-169x>

²oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8372-0852>

Abstract. Purpose: the use of a hydrometric structure of the “fixed channel” type as a means of measuring water flow in an open irrigation canal. **Discussion.** Hydrometric facilities provide the required measurement accuracy. The relative measurement error (no more than $\pm 5\%$) depends on the accepted flow measurement model, as well as the errors in the methods

for determining the average flow velocity and free cross section. The use of a “fixed channel” hydrometric structure as a measuring instrument on an open canal requires calibration, in which the water flow rate dependence on the water level change in the open irrigation canal is determined in the form of a “level-flow rate” graph and flow tables are calculated. When calibrating a hydrometric section of the “fixed channel” type, water discharge measurements are performed by the known “velocity-area” method. Ultrasonic devices and installations can be used to measure the water flow rate in open canals with flow rates of more than 25–50 m³/s. **Conclusions.** To solve the problem of equipping a water meter on an open irrigation canal in the absence of flooding, a hydrometric structure of the “fixed channel” type is proposed, which has proven itself to be a rather reliable measuring tool with stable metrological characteristics. To use this facility as a measuring instrument in the future, it is necessary to update the regulatory and technical documentation that regulates the basic requirements for carrying out calibration work on open canals.

Keywords: hydrometric structure, fixed channel, measuring instrument, calibration, relative measurement error

Введение. Водоучет на оросительных системах необходим для определения объема подаваемой воды и решения вопросов водораспределения между потребителями. Водоучет не существует без средств измерения. В интересах потребителей выдвигать такие требования к средствам водоучета, как: периодичность, точность, достоверность и надежность результатов измерений, уменьшение объема материальных затрат на их приобретение [1].

Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» определил правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации, а также требования к средствам измерения и методам измерений [2].

Федеральный закон от 25.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» отрегулировал отношения в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в т. ч. и в отношении воды – подаваемой, передаваемой и потребляемой. С 1 июля 2010 г. организации, которые осуществляют в том числе и снабжение водой инженерно-технических объектов, должны оснастить их приборами учета и осуществлять деятельность по их замене и эксплуатации. Все это также направлено на улучшение водоучета и водораспределения на мелиоративных системах и поиск эффективных и недорогостоящих средств измерений водного потока [3].

Оснащение открытых каналов средствами водоучета связано с объемами материальных затрат на организацию пункта водоучета и приобретение средств измерений. Низкая оснащенность мелиоративных систем средствами измерений, в т. ч. автоматизированными средствами водоучета, сложности в бюджетном финансировании эксплуатационных организаций делают актуальной задачу использования на открытых каналах оросительной сети гидрометрических сооружений типа «фиксированное русло» в качестве средств измерения расхода и объема воды.

Как показал анализ информации, получаемой из региональных управлений мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения, в нашей стране в последние годы наблюдалось значительное снижение количества и уровня технического состояния пунктов водоучета на оросительных системах. По данным В. Н. Щедрина и др. [4, 5], в 2005 г. около 40 % пунктов водоучета вообще не были оборудованы средствами водоучета, а на открытой оросительной сети более 60 % были оснащены лишь простейшими средствами измерений, такими как гидрометрическая рейка. Анализ типов гидрометрических сооружений на открытой сети показал, что наиболее распространенны-

ми являются сооружения в виде гидрометрических створов с фиксированными руслами, сужающие устройства различной конструкции и перегораживающие сооружения.

Цель исследования – использование гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в открытом канале оросительной сети как наиболее изученного и надежного средства измерения, не требующего больших материальных затрат.

Обсуждение. Гидрометрические створы «фиксированное русло» относятся к специальным гидрометрическим сооружениям, которые обеспечивают минимальность количества и стабильность измеряемых параметров в процессе выполнения своей основной задачи [6]. Гидрометрические сооружения обеспечивают требуемую точность измерения. Погрешность измерения во многом зависит от принятой модели измерения и вычисления расходов воды, а также погрешностей способов определения средней скорости потока и живого сечения. Допустимая общая относительная погрешность измерения расхода воды должна быть не более $\pm 5\%$.

Использование гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в виде средства измерения расхода и объема воды на оросительном канале требует проведения градуировки, при которой устанавливается зависимость величины расхода воды от изменения уровня воды в открытом канале оросительной сети в виде графика (кривая «уровень – расход») и рассчитываются расходные таблицы. При градуировке гидрометрического створа типа «фиксированное русло» измерения расхода воды выполняют известным методом «скорость – площадь» [7].

Сущность метода измерений «скорость – площадь» заключается в определении расхода воды путем суммирования элементарных расходов. Последние вычисляются как результат умножения площадей отсеков между вертикалями, на которые разбивается сечение русла канала в измерительном створе, на величины средних скоростей потока в пределах каждого отсека. Это можно представить в виде формулы [7]:

$$Q = \sum_1^n q_x = \sum_1^n (f_x \cdot V_x),$$

где Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

n – число отсеков между вертикалями;

\sum – сумма элементарных расходов в отсеках между вертикалями, $\text{м}^3/\text{с}$;

q_x – элементарный расход в отсеке между соседними вертикалями, $\text{м}^3/\text{с}$;

f_x – площадь отсека, м^2 ;

V_x – средняя скорость в отсеке между вертикалями, $\text{м}/\text{с}$.

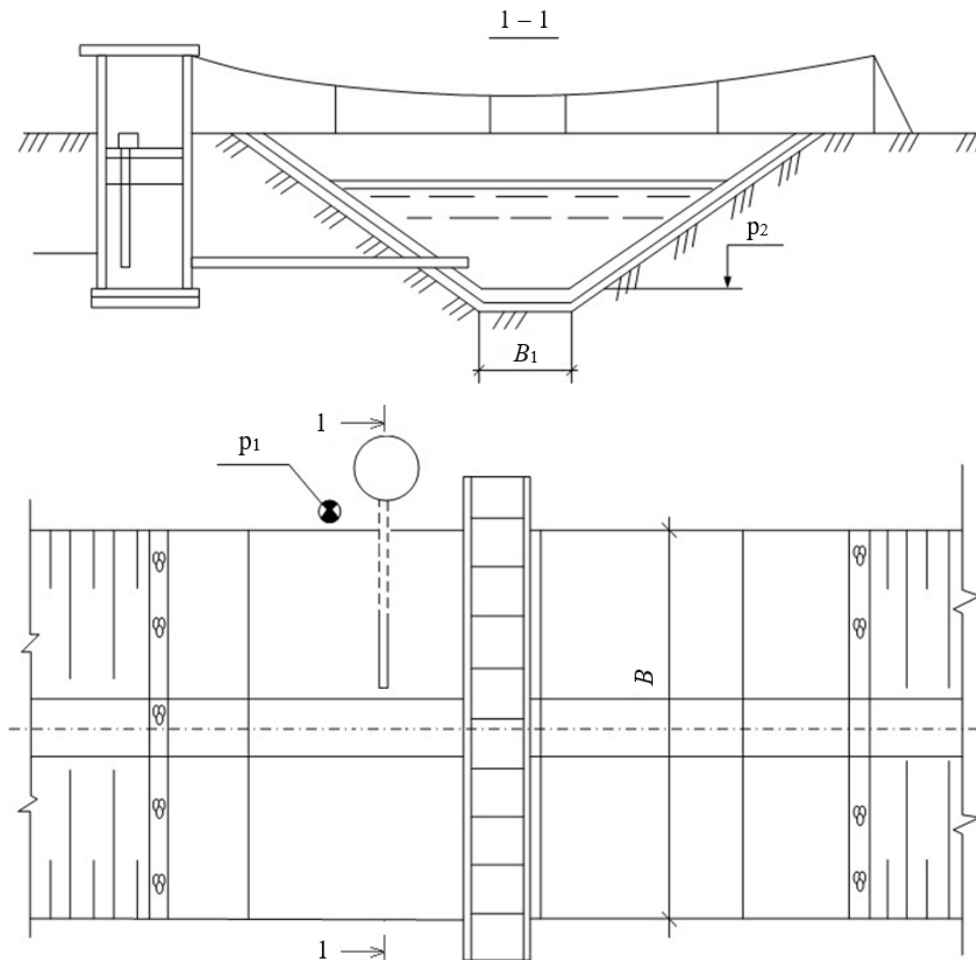
На рисунке 1 показана схема гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» с расходом до $25 \text{ м}^3/\text{с}$.

Средняя скорость потока в открытом канале может определяться с использованием различных способов и технических средств. В настоящее время самым распространенным средством измерения скорости потока воды на открытом канале остается гидрометрическая вертушка. При помощи ее средняя скорость потока воды может определяться тремя способами: многоточечным, интеграционным и одноточечным. На рисунке 2 приведена гидрометрическая вертушка с измерителем-регистратором ИСП-1М [8, 9].

Использование гидрометрических вертушек имеет как положительные стороны (промышленный выпуск, простота в конструкции, несложность в эксплуатации), так и отрицательные (значительная трудоемкость, сложность полной автоматизации, чувствительность к загрязнению потока наносами и плавающим мусором) [9, 10].

Для измерения в открытых каналах с расходами более $25\text{--}50 \text{ м}^3/\text{с}$ за рубежом и в нашей стране кроме гидрометрических вертушек начинают применять ультразвуко-

вые (акустические) приборы и установки, состоящие из одно- или многоканальных измерителей скорости, уровнемеров вторичной аппаратуры, позволяющие определять расход и объем воды, но требующие дополнительных материальных затрат [11].



B – ширина канала поверху, м; B_1 – ширина дна канала, м;
 p_1 – геодезическая отметка репера, м; p_2 – геодезическая отметка дна канала, м

Рисунок 1 – Схема гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» с расходом до 25 м³/с

Figure 1 – Scheme of a hydrometric structure of a “fixed channel” type with flow rate up to 25 m³/s



Рисунок 2 – Гидрометрическая вертушка с измерителем-регистратором ИСП-1М

Figure 2 – Hydrometric flowmeter with the ISP-1M recorder

Принцип ультразвуковых уровнемеров состоит в передаче и приеме ультразвукового сигнала, выходящего из приемопередатчика, устанавливаемого над каналом, излучатель которого направлен вниз перпендикулярно поверхности воды. Время отражения ультразвукового сигнала интегрируется с уровнем воды в канале, а для определения расхода используется градуировочная характеристика канала. На рисунке 3 приведен ультразвуковой (акустический) расходомер ЭХО-Р-03 с интегратором для измерения объема жидкости в открытых каналах [12].



Рисунок 3 – Ультразвуковой (акустический) расходомер ЭХО-Р-03

Figure 3 – Ultrasonic (acoustic) flowmeter ECHO-R-03

Для того чтобы гидрометрические сооружения работали в заданных режимах и погрешности определения расходов воды не увеличивались по сравнению с заданными, необходимо при установке сооружения в русле канала соблюдать условия, изложенные в МИ 1759-87 [13].

Гидрометрические посты типа «фиксированное русло» должны быть оснащены вспомогательным гидрометрическим оборудованием. Гидрометрическим оборудованием считаются различные средства переправы, которые рекомендуется выбирать в зависимости от ширины канала поверху. Для размещения стандартной уровнемерной гидротехнической рейки служат различные конструкции успокоительных ниш или колодцев. На гидрометрических створах, предназначенных для периодического измерения расхода воды, размещение успокоительных устройств не обязательно. В этом случае допускается контролировать положение уровней воды с помощью гидрометрической штанги [14].

Некоторые исследователи [15, 16] считают, что определение расходов воды на пунктах водоучета, устроенных по типу фиксированных русел, требует больших затрат ручного труда, так как в данном случае используется метод «скорость – площадь» с измерением осредненных скоростей потока с помощью гидрометрических вертушек. Если целесообразность применения такого типа пунктов водоучета для открытых русел и каналов с большими расходами воды можно экономически и технически обосновать, то для измерения расходов воды менее $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ такой способ измерений экономически не эффективен. Для данных расходов эффективнее использовать водосливы с тонкой стенкой, которые обеспечивают высокую точность измерений расходов воды, но требуют специальных успокоительных емкостей и пропуска чистой воды без взвешенных наносов и плавающего мусора.

Из опыта использования гидрометрических сооружений типа «фиксированное русло» известны их достоинства и недостатки [17]. К достоинствам можно отнести:

- изученность метода и простота оборудования;
- небольшие капитальные затраты на оборудование пункта водоучета и измерительную технику;

- достаточная надежность и оперативность;
- несложность в полевых и камеральных обработках;
- возможность использования любых (простых и сложных) приборов для измерения уровней;
- в перспективе возможность оснащения современной измерительной техникой и автоматизация интеграционных разновидностей тарировки «площадь – скорость».

К недостаткам можно отнести:

- необходимость регулярных тарировок;
- трудности работы с гидрометрической вертушкой;
- зависимость от наносного режима и необходимость в организации контрольных замеров расхода при отложениях наносов в русле;
- соблюдение размеров прямолинейного участка канала, необходимого для создания равномерного режима течения потока.

По прогнозу специалистов, в ближайший период будет преобладать тенденция оснащения открытых каналов оросительных систем более доступными и надежными средствами измерения [18, 19], где рекомендовано на современном этапе организации водоучета, наряду с использованием регламентируемых специальных водомерных сооружений и приборов, совершенствовать гидрометрический метод измерения расходов воды.

Следует отметить, что, несмотря на многообразие влияющих факторов, гидрометрические сооружения – достаточно надежные средства измерения, имеющие устойчивые метрологические характеристики. Гидрометрические сооружения значительно упрощают процесс определения расходов воды, сводя его к измерению одного гидравлического параметра. В связи с этим легко автоматизировать в перспективе процесс измерения нужного параметра, регистрацию и передачу информации в центры обработки данных и регулирования водораспределения.

В настоящее время использование гидрометрических сооружений типа «фиксированное русло» для измерения расходов и объемов воды на открытых оросительных каналах требует разработки новой нормативно-технической документации, регламентирующей основные требования к проведению градуировочных работ, так как существующая устарела или является недействующей. Наличие новой нормативно-технической документации также необходимо при решении вопросов метрологической поверки и получения лицензии на данный род деятельности [20].

Выводы. В настоящее время проблема оснащения средствами водоучета открытых оросительных каналов на гидромелиоративной сети до конца не решена и остается актуальной. Как одно из наиболее простых и изученных средств измерения при отсутствии подпорно-переменного режима движения потока в русле открытого канала предлагается гидрометрическое сооружение типа «фиксированное русло». Оно хорошо изучено, не требует больших материальных затрат, давно зарекомендовало себя достаточно надежным средством измерения, имеющим устойчивые метрологические характеристики. В качестве измерительных приборов для установления скорости потока воды в канале рекомендуются гидрометрические вертушки или ультразвуковые (акустические) приборы и установки, выпускаемые отечественной промышленностью. Использование гидрометрических сооружений типа «фиксированное русло» требует обновления нормативно-технической документации, регламентирующей основные требования к проведению градуировочных работ на открытых каналах.

Список источников

1. Филончиков А. В. Технология водоучета на мелиоративных системах / Костром. гос. с.-х. акад. Кострома, 1997. 155 с.

2. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 11 июня 2008 г. № 102-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июня 2008 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 18 июня 2008 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

3. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изменениями на 11 июня 2021 г.) [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 11 нояб. 2009 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 18 нояб. 2009 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

4. Провести мониторинг текущего состояния средств водоизмерения и разработать предложения по совершенствованию системы водоучета на оросительных и осушительных системах Минсельхоза России: отчет о НИР (заключ.): 2.1.3.5 / ФГБНУ «РосНИИПМ»; рук.: Щедрин В. Н. Новочеркасск, 2018. 68 с. Исполн.: Чураев А. А., Шепелев А. Е., Снопич Ю. Ф., Вайнберг М. В. Рег. № НИОКТР АААА-А18-118041990077-7. Рег. № ИКРБС АААА-Б18-218122090031-3.

5. Новые технологии и средства измерений, методы организаций водоучета на оросительных системах [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2012/boshkarew.pdf> (дата обращения: 31.05.2022).

6. ГОСТ Р 51657.3-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Гидрометрические сооружения и устройства. Классификация. Введ. 2001-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2001. 7 с.

7. Назмиев П. И., Григорьева А. В. Гидрометрия [Электронный ресурс]: метод. указания. Екатеринбург, 2019. 50 с. URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9156/1/m19-53.pdf> (дата обращения: 18.04.2022).

8. Измеритель скорости потока ИСП-1М [Электронный ресурс]. URL: <http://granate.ru/isp-1.html> (дата обращения: 04.05.2022).

9. Клименко Д. Е. Развитие гидрометрических вертушек в России и за рубежом [Электронный ресурс] // Географический вестник. 2010. № 2. URL: <http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/klimenko.pdf> (дата обращения: 28.04.2022).

10. Филиппов Е. Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 288 с.

11. Принцип действия ультразвуковых (акустических) расходомеров [Электронный ресурс]. URL: <http://теплоприбор.рф/produkcija/ultrazvukovye-rashodomery> (дата обращения: 28.04.2022).

12. Юченко Л. В., Кореновский А. М. Анализ возможности применения ультразвуковых расходомеров на оросительной сети // Актуальные направления развития мелиоративного комплекса: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию создания ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск, 10 сент. 2021 г. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2021. С. 124–138.

13. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость – площадь»: МИ 1759-87: утв. ФГУП ВНИИФ 11.06.86: введ. в действие с 01.01.88. М.: Изд-во стандартов, 1987. 19 с.

14. Руководство по водоучету для гидрометров магистральных каналов. Проект «Интегрированное управление водными ресурсами в Ферганской долине» [Электронный ресурс]. Ташкент, 2006. 46 с. URL: http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/guide_mcg.pdf (дата обращения: 19.04.2022).

15. Юрасов Р. Н. Использование гидрометрических сооружений в настоящее время // Актуальные проблемы современной науки. 2010. № 4. С. 168–171.

16. Бейшекеев К. К. Совершенствование водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстроотоках оросительной системы горно-предгорной зоны: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.07, 06.01.02. Бишкек, 2012. 42 с.

17. Системные принципы водоучета и управления водораспределением

18. 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. Ч. 2. Новочеркасск: Геликон, 2013. 262 с.

19. Батькова А. Ж. Усовершенствованные конструкции водоучета на водомерных сооружениях с водосливами // Вестник КРСУ. 2015. № 3. С. 159–162.

20. Бочкарев В. Я. Перспективы развития нормативно-методической базы метрологического обеспечения водоучета на мелиоративных системах // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: Геликон, 2008. Вып. 40, ч. 2. С. 117–128.

References

1. Filonchikov A.V., 1997. *Tekhnologiya vodoucheta na meliorativnykh sistemakh* [Technology of Water Metering on Reclamation Systems]. Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, 155 p. (In Russian).

2. *Ob obespechenii edinstva izmereniy* [On Ensuring the Uniformity of Measurements]. Federal Law of Russian Federation of 11 June, 2008, no. 102-FZ, adopted by the State Duma of June 11, 2008, approved by the Federation Council of June 18, 2008. Access from IS “Techexpert: 6th generation” Intranet. (In Russian).

3. *Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii (s izmeneniyami na 11 iyunya 2021 g.)* [On energy saving and on energy efficiency improvement and on amending certain legislative acts of the Russian Federation (as amended on June 11, 2021)]. Federal Law of Russian Federation of 23 November, 2009, no. 261-FZ, adopted by the State Duma of 11 November, 2009, approved by the Federation Council of 18 November, 2009. Access from IS “Techexpert: 6th generation” Intranet. (In Russian).

4. Churaev A.A., Shepelev A.E., Snipich Yu.F., Weinberg M.V., 2018. *Provesti monitoring tekushchego sostoyaniya sredstv vodoizmereniya i razrabotat' predlozheniya po sovershenstvovaniyu sistemy vodoucheta na orositel'nykh i osushitel'nykh sistemakh Minsel'khoza Rossii: otchet o NIR (zaklyuch.): 2.1.3.5* [To Monitor the Current State of Water Metering Devices and Develop Proposals for Improving the Water Metering System for Irrigation and Drainage Systems of the Ministry of Agriculture of Russia: Research Report (Final): 2.1.3.5]. Novocherkassk, 68 p. (In Russian).

5. *Novye tekhnologii i sredstva izmereniy, metody organizatsiy vodoucheta na orositel'nykh sistemakh* [New technologies and measuring instruments, methods of organizing water metering for irrigation systems], available: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2012/bochkarew.pdf> [accessed 31.05.2022]. (In Russian).

6. *GOST R 51657.3-2000. Vodouchet na gidromeliorativnykh i vodokhozyaystvennykh sistemakh. Gidrometricheskie sooruzheniya i ustroystva. Klassifikatsiya* [Water accounting for irrigation and drainage systems. Hydrometric structures and devices. Classification]. Moscow, Publ. of Standards, 2001, 7 p. (In Russian).

7. Nazmiev P.I., Grigoryeva A.V., 2019. *Gidrometriya: metodicheskie ukazaniya* [Hydrometry: method. guide]. Yekaterinburg, 50 p., available: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9156/1/m19-53.pdf> [accessed 18.04.2022]. (In Russian).

8. *Izmeritel' skorosti potoka ISP-1M* [Flow rate meter ISP-1M], available: <http://granate.ru/isp-1.html> [accessed 04.05.2022]. (In Russian).

9. Klimenko D.E., 2010. *Razvitie gidrometricheskikh vertushek v Rossii i za rubezhom* [Development of hydrometric propellers in Russia and abroad]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographic Bulletin], no. 2, available: <http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/klimenko.pdf> [accessed 28.04.2022]. (In Russian).

10. Filippov E.G., 1990. *Gidravlika gidrometricheskikh sooruzheniy dlya otkrytykh potokov* [Hydraulics of Hydrometric Structures for Open Canals]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 288 p. (In Russian).

11. *Printsip deystviya ul'trazvukovykh (akusticheskikh) raskhodomerov* [The principle of ultrasonic (acoustic) flow meters operation], available: <http://teplopribor.rf/produkcija/ultrazvukovye-rashodomery> [accessed 28.04.2022]. (In Russian).

12. Yuchenko L.V., Korenovskiy A.M., 2021. *Analiz vozmozhnosti primeneniya ul'trazvukovykh raskhodomerov na orositel'noy seti* [Analysis of the possibility of using ultrasonic flow meters on the irrigation network]. *Aktual'nye napravleniya razvitiya meliorativnogo kompleksa: sb. nauchnykh. tudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu sozdaniya FGBNU "RosNIIPM"* [Actual Directions of Reclamation Complex Development: Proc. of the International Scientific-Practical. Conf., Dedicated to the 90th Anniversary of the Establishment of the Federal State Budgetary Scientific Institution "RosNIIPM"]. Novochoerkassk, RosNIIPM, pp. 124-138. (In Russian).

13. *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Rashkod vody na rekakh i kanalakh. Metodika vypolneniya izmereniy metodom "skorost' – ploshchad'": MI 1759-87* [State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Water Flow in Rivers and Canals. Method for Measuring Using the "Speed – Area" Method: MI 1759-87]. Approved by FSUE VNIIF 11.06.1986, Moscow, Publ. of Standards, 1987, 19 p. (In Russian).

14. *Rukovodstvo po vodouchetu dlya gidrometrov magistral'nykh kanalov. Proekt "Integrirovannoe upravlenie vodnymi resursami v Ferganskoy doline"* [Guidance on Water Metering for Hydrometers of Main Canals. Project "Integrated Water Resources Management in the Fergana Valley"]. Tashkent, 2006, 46 p., available: http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/guide_mcg.pdf [accessed 19.04.2022]. (In Russian).

15. Yurasov R.N., 2010. *Ispol'zovanie gidrometricheskikh sooruzheniy v nastoyashchee vremya* [Current use of hydrometric structures]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki* [Actual Problems of Modern Science], no. 4, pp. 168-171. (In Russian).

16. Beishekeyev K.K., 2012. *Sovershenstvovanie vodomernykh i vodoraspredelitel'nykh sooruzheniy na kanalakh-bystratokakh orositel'noy sistemy gorno-predgornoy zony. Avtoreferat diss. d-ra tekhn. nauk* [Improvement of water metering and water distribution structures on irrigation high-velocity canal of the mountain piedmont zone. Abstract of Dr. tech. sci. diss.]. Bishkek, 42 p. (In Russian).

17. Shchedrin V.N., Ivanenko Yu.G., Olgarenko V.I., Zharkovskiy A.M., Filippov E.G., 1994. *Sistemnye printsipy vodoucheta i upravleniya vodoraspredeleniem na orositel'noy seti* [System Principles of Water Accounting and Water Distribution Management in the Irrigation Network]. Novochoerkassk, Novochoerkassk State Technical University, 235 p. (In Russian).

18. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Slabunov V.V., 2013. *Osnovnye pravila i polozheniya ekspluatatsii meliorativnykh sistem i sooruzheniy, provedeniya vodoucheta i proizvodstva ekspluatatsionnykh rabot: monografiya* [Basic Rules and Regulations for the Operation of Reclamation Systems and Structures, Water Accounting and Maintenance Operations: monograph]. In 2 parts. Pt. 2. Novochoerkassk, Helikon Publ., 262 p. (In Russian).

19. Batkova A.Zh., 2015. *Usovershenstvovannyye konstruksii vodoucheta na vodomernykh sooruzheniyakh s vodoslivami* [Improved construction of water metering on the water-measuring structures with weirs]. *Vestnik KRSU* [Bulletin KRSU], no. 3, pp. 159-162. (In Russian).

20. Bochkarev V.Ya., 2008. *Perspektivy razvitiya normativno-metodicheskoy bazy metrologicheskogo obespecheniya vodoucheta na meliorativnykh sistemakh* [Prospects for the development of the normative and methodological base of the metrological support of water accounting for reclamation systems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sbornik nauchnykh trudov FGNU "RosNIIPM"* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Collection of Articles of Russian Research Institute of Land Improvement Problems]. Novocherkassk, Helikon Publ., iss. 40, pt. 2, pp. 117-128. (In Russian).

Информация об авторах

А. А. Чураев – заместитель директора по науке, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

Л. В. Юченко – научный сотрудник.

Information about the authors

A. A. Churaev – Deputy Director of Research, Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

L. V. Yuchenko – Researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 26.05.2022; принята к публикации 06.06.2022.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 26.05.2022; accepted for publication 06.06.2022.

Научная статья
УДК 626.83:639.3

Конструктивное решение лоткового входного оголовка рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов

Олег Андреевич Баев¹, Алексей Викторович Шевченко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Аннотация. Цель: разработка конструктивного решения входного оголовка для рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов. **Материалы и методы.** Фактологическую основу разработки составили материалы обследования входных оголовков Николаевского и Константиновского рыбоходно-нерестовых каналов. **Результаты и обсуждение.** Анализ материалов обследования конструктивных решений входных оголовков, действующих в составе Николаевского и Константиновского гидроузлов на р. Дон, рыбоходно-нерестовых каналов и предложений по их совершенствованию свидетельствует о недостаточности их разработанности. Имеет место несоответствие конструктивных решений планово-высотного сопряжения выходных участков трактов каналов с руслом реки требованиям рыбоводно-биологических обоснований. Наблюдается снижение скоростей истекающих из трактов каналов водных потоков в пределах входных оголовков, что приводит к снижению рыбопривлекающей эффективности течений в зонах поиска рыбами входов в каналы. В составе входных оголовков предложено устраивать сопрягающие лотки, обеспечивающие физическое и гидравлическое сопряжение трактов каналов с речным руслом. Учитывая разновысотное положение отметок dna тракта канала и dna русла реки, предложили сопрягающие лотки устраивать с уклоном в направлении реки. Для компенсации снижения средней скорости течения водного потока сопрягающие лотки предложено устраивать сужающимися в направлении от тракта канала к речному руслу. Для регулирования скорости водного потока во входном отверстии предложено устраивать забральную стенку, а при значительных колебаниях уровня воды в реке рекомендуется применять плоский затвор. **Вывод.** Предложено конструктивное решение входного оголовка, формирующее соответствующее биологическим особенностям поведения анадромных рыб планово-высотное и гидравлическое сопряжение рыбоходного или рыбоходно-нерестового канала с речным руслом, а следовательно, обеспечивающее благоприятные условия для привлечения рыб в тракт канала.

Ключевые слова: рыбоходно-нерестовый канал, входной оголовок, тракт канала, сопряжение русла, анадромно-мигрирующая рыба

Original article

Design solution of the flume inlet headwall of fish passage and fish passage and spawning channels

Oleg A. Baev¹, Alexey V. Shevchenko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Abstract. Purpose: development of a design solution for the inlet headwall for fish passage and fish passage and spawning channels. **Materials and methods.** The factual basis of the development was the materials of the survey of the inlet heads of the Nikolaevsky and Konstantinovsky fish passage-spawning canals. **Results and discussion.** Analysis of survey materials for the design solutions of the inlet headwalls operating as part of the Nikolaevsky and Konstantinovsky waterworks on the river Don, fish-spawning channels and proposals for their improvement testify to the insufficiency of their development. There is a discrepancy between the design solutions of the horizontal and vertical transition of the outlet sections of the canal tracts with the riverbed to the requirements of fish breeding and biological justifications. There is a decrease in the water flow velocities flowing out of the canal tracts within the inlet headwalls, which leads to a decrease in the fish-attracting efficiency of the currents in the areas where fish search for canal entrances. As part of the inlet heads, it is proposed to arrange transition fumes that provide physical and hydraulic transition of the canal tracts with the river bed. Taking into account the uneven position of the marks of the bottom of the canal tract and the bottom of the river bed, it was proposed to arrange these fumes with a slope in the direction of the river. To compensate for the decrease in the water flow average velocity, it is proposed to arrange the transition fumes tapering in the direction from the canal tract to the river bed. To regulate the water flow velocity in the inlet, it is proposed to arrange a panel wall, and with significant fluctuations in the river water level, it is recommended to use a lift gate. **Conclusion.** A design solution for the inlet headwall is proposed, which forms a horizontal and vertical transition and hydraulic transition of a fish passage or fish passage-spawning channel with a river bed that corresponds to the biological characteristics of the behavior of anadromous fish, and therefore provides favorable conditions for attracting fish to the canal tract.

Keywords: fish passage and spawning channel, inlet headwall, canal tract, channel transition, anadromous migratory fish

Введение. Рыбоходно-нерестовые каналы (РНК) устраиваются в составе речных гидроузлов с целью создания условий для естественного воспроизводства проходных, полупроходных и части туводных рыб. Одним из наиболее ответственных инженерных (конструктивных) элементов таких сооружений являются входные (для рыб) или устьевые (для водных потоков) оголовки. Входные оголовки РНК предназначены для обеспечения соответствующего биологическим потребностям (особенностям поведения) анадромно-мигрирующих рыб физического (топографического или планово-высотного) и гидравлического сопряжения тракта канала с руслом реки. Отметим, что, несмотря на определяющее для функционирования РНК значение качества конструктивных решений входных оголовков, их разработке должного внимания не уделялось. Определенный объем эмпирических данных по условиям функционирования входных оголовков на действующих на Нижнем Дону рыбоходных и РНК и предложений по их конструированию приведен в публикациях В. П. Боровского, А. А. Чистякова, В. Н. Шкуры, Вл. Н. Шкуры и других специалистов в области рыбохозяйственной гидротехники [1–7]. В указанных публикациях сформулированы основные требования к конструктивным решениям входных оголовков РНК, суть которых определяется нижеследующими позициями.

1 Входной (для рыб) участок канала необходимо конструктивно обустроить с соблюдением условий топографического сопряжения дна тракта с дном русла реки по схеме «дно в дно», при этом должно быть обеспечено планово-высотное сопряжение береговых участков русел, что должно исключать выступы и быть топографически увязано по схемам плавного сопряжения естественных речных русел.

2 Водный поток, исходящий из водовыпускного отверстия входного (для рыб) оголовка, должен обеспечивать формирование в зоне его сопряжения с водным потоком (течением) реки область оптимальных для привлечения в канал анадромно-

мигрирующих рыб скоростей. При этом в речном потоке должен быть сформирован «шлейф привлекающих рыб скоростей», выделяющийся в водном потоке реки [8]. Указанное условие должно быть соблюдено во всем диапазоне колебаний уровней воды в реке и при соответствующих расходам скоростях течения водного потока в районе расположения входа анадромно-мигрирующих рыб в тракт РНК.

3 Руслевой участок (его дно и берега) в зоне сопряжения тракта канала и речного русла рекомендуется закрепить от возможных местных деформаций, а при необходимости обустроить рыбонаправляющим устройством (донным порогом, переливной дамбой, звуковым, световым или устройством комбинированного действия).

Отметим, что на действующих объектах соблюдение вышеуказанных требований в должной мере не обеспечивается, а соответствующие предложения по конструированию входных оголовков нуждаются в совершенствовании.

Проблему разработки эффективных конструктивных решений оголовков актуализирует их востребованность при проектировании Багаевского и Кочетовского РНК. Поэтому за целевую установку настоящей работы принята разработка конструктивного решения входного оголовка трактов рыбоходных и РНК.

Материалы и методы. В основу разработок конструкций входных оголовков РНК положены данные их обследования на действующих объектах (Николаевском и Константиновском каналах) и результаты авторского анализа известных предложений в области рыбохозяйственной гидротехники.

Результаты и обсуждение. Полевым обследованием конструкций и состояния входных (для рыб) и устьевых (для вытекающих из каналов водных масс) оголовков трактов РНК установлено нижеследующее.

1 На Николаевском гидроузле инженерное обустройство входного оголовка не предусматривалось. Водный поток, протекающий по закрепленному (каменно-гравийным покрытием) участку тракта канала, поступал в староречную протоку и по ней втекал в р. Дон. Произшедший саморазмыв русла протоки привел к увеличению глубин водного потока, а следовательно, к существенно значимому для рыб снижению скоростей течений в створе сопряжения русел. При этом скоростной режим течений в зоне сопряжения (соединения) водных потоков канала и реки определяется как «саморегулируемый» и находящийся под влиянием колебания уровней воды в р. Дон.

2 На Константиновском РНК (в отличие от ранее построенного Николаевского РНК) предусмотрено закрепление дна тракта рыбоходного канала в створе выхода истекающего из него потока в р. Дон каменным креплением ложа и устройством заглубленного зуба. Фиксация дна канала на определенной отметке с возвышением ее над отметкой дна речного русла привела к улучшению условий привлечения рыб на исходящий из устья канала водный поток, но ухудшила условия для захода в него рыб, перемещающихся в придонном слое р. Дон.

Судя по данным обследования отечественных объектов и известным публикациям [9, 10], на ряде зарубежных рыбоходных и РНК их научно обоснованное инженерное обустройство не предусмотрено. Более того, регламентирующие рекомендации в известных нормативных актах [11] вовсе отсутствуют.

Определенную проблему конструирования входных участков (входных оголовков) рыбоходных и РНК представляет необходимость физического сопряжения дна и их тракта с дном (ложем) русла реки. При выполнении рыбоводческого условия по выдерживанию в тракте канала определенной глубины ($h_k = 2,0...3,0$ м) и определенной средней скорости течения ($\bar{v}_k = 0,80...0,95$ м/с) при пропуске определенного расхода воды (Q_k , м³/с) на средних и больших реках уклоны и протяженность каналов определяются по условию беспрыжкового сопряжения их верхних и нижних бьефов. При этом

в пределах конечного участка тракта превышение отметок его дна над отметками дна русла реки составляет от 2 до 4 м и более. В этих условиях сопряжение дна канала с дном реки по схеме «дно в дно» может быть реализовано устройством сопрягающего лотка в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.

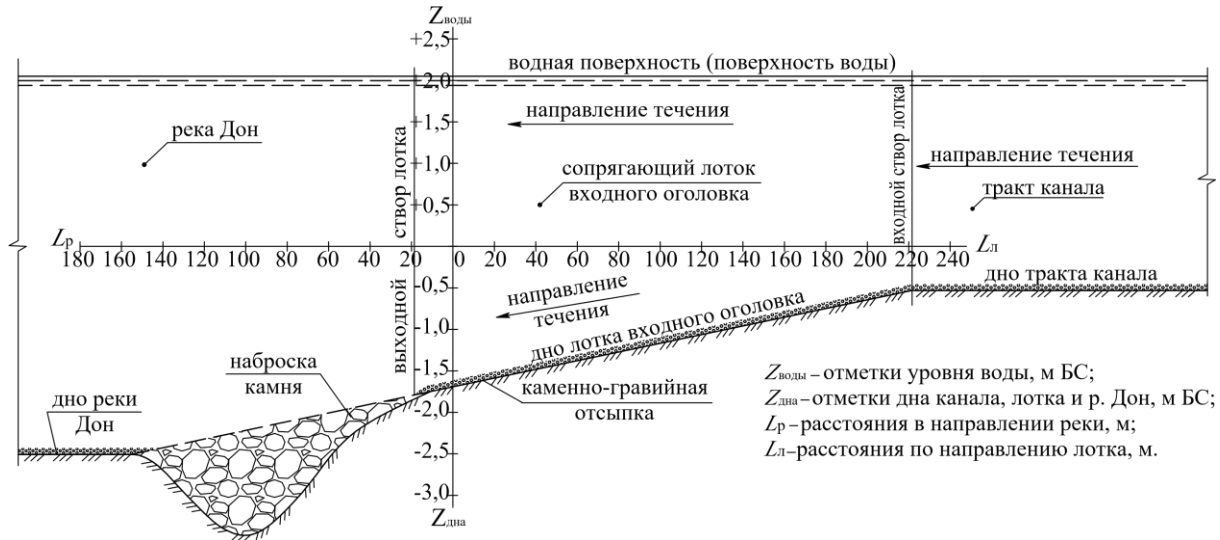


Рисунок 1 – Схема высотного сопряжения дна тракта рыбоходно-нерестового канала с дном реки

Figure 1 – Scheme of high conjugation of the bottom of the tract fish passage and spawning channel with the river bed

Сопрягающий участок тракта канала на входном (для рыб) оголовке (или «лотке») рекомендуется устраивать с продольным уклоном $i_l = 0,015 \dots 0,020$, а его протяженность определяется с учетом перепада топографических отметок в канале и речном русле. Увеличение глубин водного потока в пределах пологосклонного участка приводит к увеличению площади живого сечения водного потока и соответствующему уменьшению средней скорости течения, что негативно отражается на его рыбопривлекающей способности. Для устранения указанного негатива предлагается сопрягающий лоток устраивать сужающимся в плановом очертании. Конструктивное решение сопрягающего лотка входного оголовка для тракта рыбоходного или РНК проиллюстрировано ниже на рисунке 2.

В соответствии с рисунком 2 сопрягающий участок выполняется в форме лотка прямоугольного поперечного сечения, образованного двумя продольными устоями, устроенными в виде подпорных стенок. Днище лотка формируется отсыпкой каменно-гравийной смесью. Для компенсации падения скорости течения входного потока в направлении входного (для рыб) сечения и поддержания ее на уровне среднего значения в тракте канала лоток устраивается сужающимся по направлению течения в нем.

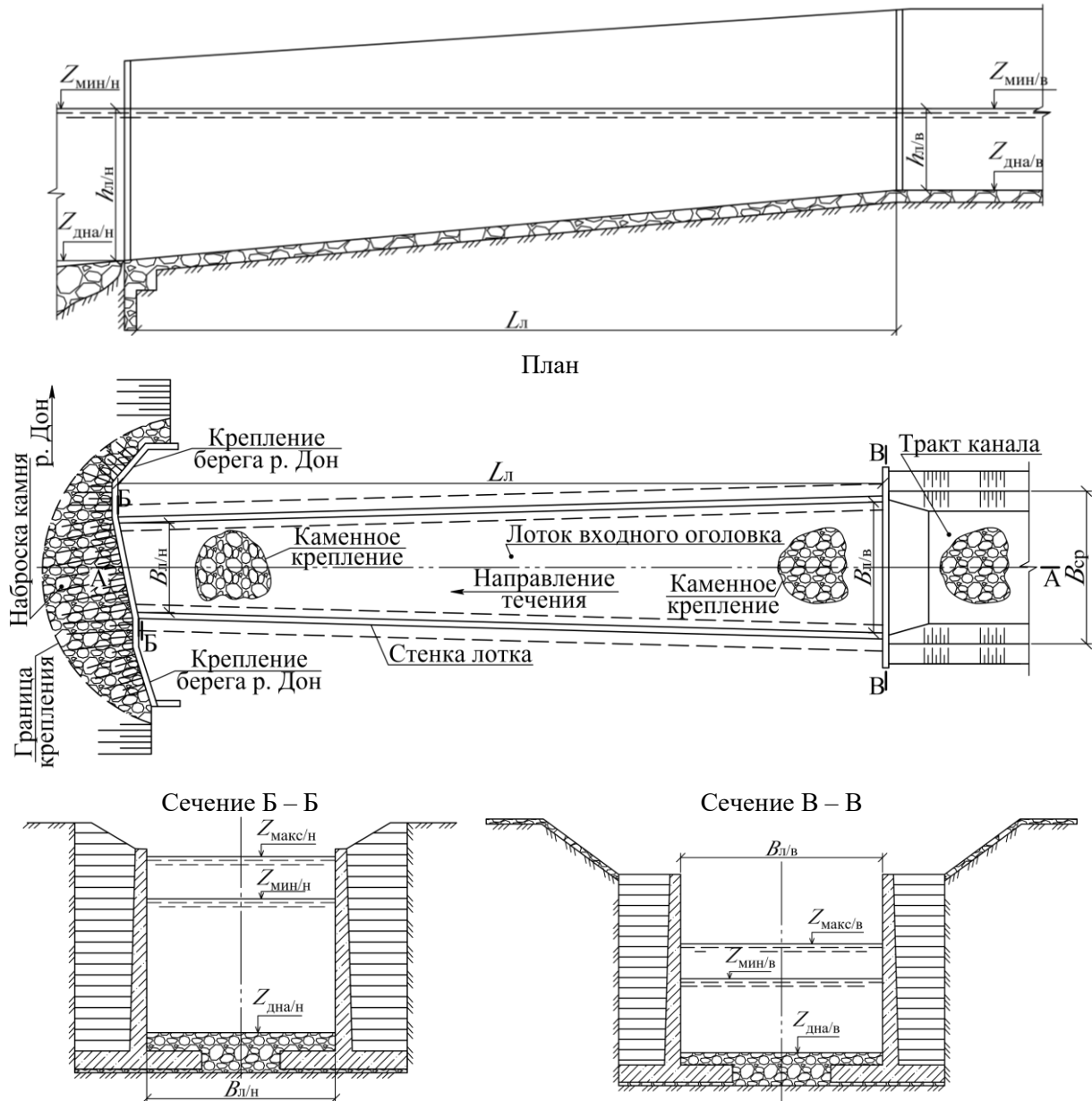
При определении геометрических размеров поперечных сечений потока по его длине предлагается учитывать нижеприведенные рекомендации.

1 Ширина потока в верхнем его сечении (в створе его сопряжения с трактом канала) $B_{л/в}$ принимается равной средней ширине водного потока в тракте $B_{к/ср}$, а глубина потока в этом сечении ($h_{л/в}$) принимается равной средней глубине в тракте ($h_{к/ср}$). При этом площадь живого сечения водного потока составляет $\omega_{л/в} = B_{л/в} \cdot h_{л/в} = Q_k / \bar{v}_k$ (где Q_k – расход канала, $\text{м}^3/\text{с}$, а \bar{v}_k – средняя скорость течения воды в канале, $\text{м}/\text{с}$).

2 Линейные размеры лотка (ширина, глубина) во входном (для рыб) сечении ($B_{л/н}$ и $h_{л/н}$) принимаются с учетом глубины воды в устьевом створе при соблюдении ра-

венства площадей потока в верховом ($\omega_{л/в}$) и низовом ($\omega_{л/н}$) створах, что позволит обеспечить постоянство средних скоростей течения в потоке. С учетом соблюдения указанных условий ширина лотка в нижнем сечении определяется по соотношению $B_{л/н} = \omega_{л/н} / h_{л/н}$, где $B_{л/н}$ – ширина лотка в низовом створе, м; $\omega_{л/н}$ – площадь живого сечения потока в низовой части лотка, м²; $h_{л/н}$ – глубина воды в нижней части лотка, м.

Продольный разрез



$L_{л}$ – длина лотка входного оголовка РНК, м; $B_{л/н}$, $B_{л/в}$ – значение ширины лотка в нижней и верхней его части, м; $B_{ср}$ – средняя ширина тракта рыбоходного канала по глубине, м; $Z_{мин/н}$, $Z_{макс/н}$, $Z_{мин/в}$, $Z_{макс/в}$ – минимальные и максимальные отметки уровня воды в нижней и верхней части входного оголовка, м; $h_{л/н}$, $h_{л/в}$ – глубина водного потока в нижней и верхней части входного оголовка, м; $Z_{дна/н}$, $Z_{дна/в}$ – отметки дна в нижней и верхней части лотка, м

Рисунок 2 – Конструктивное решение входного оголовка рыбоходно-нерестового канала

Figure 2 – Design solution of the input head of the fish passage and spawning canal

3 Протяженность лотка определяется по соотношению $L_{л} = (Z_{\text{дна/в}} - Z_{\text{дна/н}})/i_{л}$, где $Z_{\text{дна/в}}$ – отметка дна тракта канала, м; $Z_{\text{дна/н}}$ – отметка дна русла реки, м; $i_{л}$ – принятый уклон дна лотка. При этом отметка низового порога лотка принимается равной отметке дна русла реки, закрепляемого каменной наброской.

При значительных колебаниях уровней воды в реке входной оголовок в его головной части рекомендуется устраивать забральной стенкой по рисунку 3.

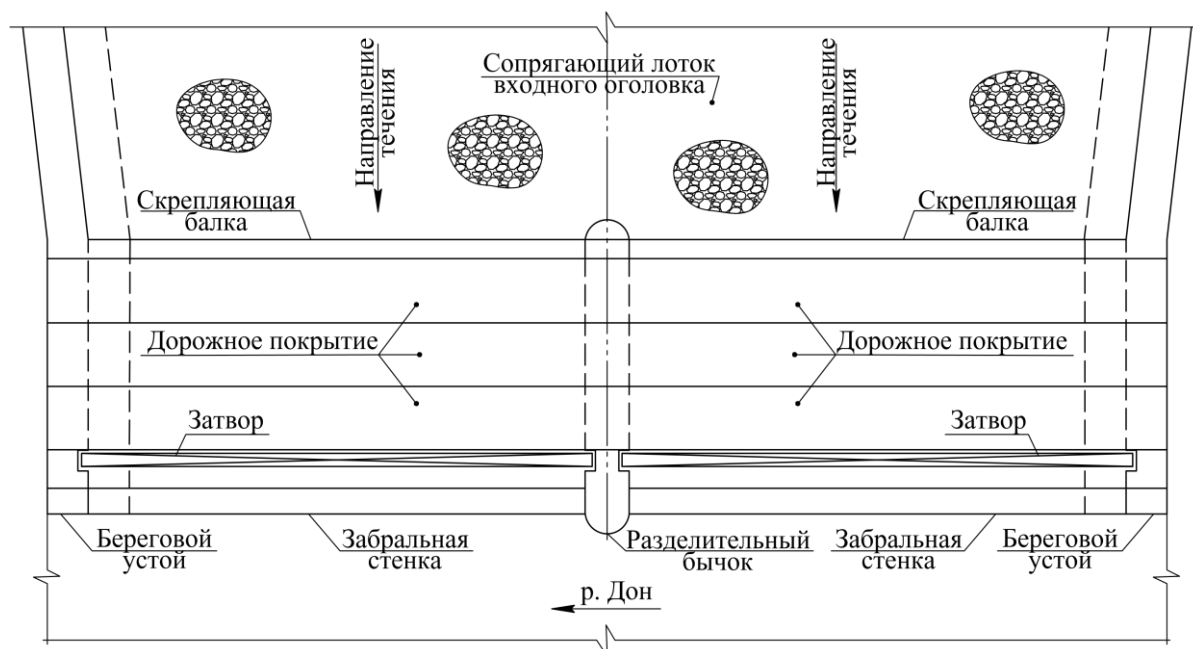


Рисунок 3 – Входной оголовок рыбоходно-нерестового канала с забральной стенкой

Figure 3 – Inlet headwall of the fish passage and spawning canal with panel wall

В соответствии с рисунком 3 низовую грань забральной стенки рекомендуется устраивать на отметке расчетного уровня воды в реке.

Вывод. Предложено конструктивное решение входного оголовка, формирующее соответствующее биологическим особенностям поведения анадромно-мигрирующих рыб морфологическое (конструктивное, планово-высотное) и гидравлическое сопряжение рыбоходного или РНК с речным руслом, а следовательно, обеспечивающее благоприятные условия для привлечения рыб в тракт канала.

Список источников

1. Боровской В. П. Рациональное расположение входных оголовков рыбоходно-нерестовых каналов // Сооружения рыбопропускных и рыбозащитных комплексов. Новочеркасск, 1987. С. 42–51.
2. Чистяков А. А. Конструкции рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов: учеб. пособие / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск, 2004. 150 с.
3. Шкура В. Н. Рыбопропускные сооружения. В 2 ч. Ч. 1. М.: Рома, 1999. 729 с.
4. А. с. 1625941 СССР, МКИ Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / В. Н. Шкура, А. А. Чистяков, Н. А. Шелестова (СССР). № 4486121/15; заявл. 23.09.88; опубл. 07.02.91, Бюл. № 5. 2 с.
5. А. с. 1599468 СССР, МКИ Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / В. Н. Шкура, А. А. Чистяков, В. А. Черкасов, В. А. Фоменко, А. М. Анохин (СССР). № 4393333/23-15; заявл. 16.03.88; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38. 5 с.

6. А. с. 1760001, МКИ Е 02 В 8/08. Рыбоходно-нерестовый канал / А. А. Чистяков, В. Н. Шкура, В. А. Черкасов, А. М. Анохин. № 4834526/15; заявл. 26.02.90; опубл. 07.09.92, Бюл. № 33. 4 с.

7. Шкура Вл. Н. Рыбоходные и рыбоходно-нерестовые каналы: монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т ДГАУ. Новочеркасск: Лик, 2012. 204 с.

8. Малеванчик Б. С., Никоноров И. В. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. М.: Лег. и пищевая пром-сть, 1984. 256 с.

9. Fishway in hydropower dams: a scientometric analysis / J. L. Brito-Santos, K. Dias-Silva, L. S. Brasil, J. B. da Silva, A. M. Santos, L. M. de Sousa, T. B. Vieira // Environmental Monitoring and Assessment. 2021, 28 Oct. Vol. 193. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09360-z>.

10. Павлов Д. С., Скоробогатов М. А. Миграции рыб в зарегулированных реках. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2014. 413 с.

11. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87: СП 101.13330.2012 [Электронный ресурс]: утв. Минрегионразвития России 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095534> (дата обращения: 01.03.2022).

References

1. Borovskoy V.P., 1987. *Ratsional'noe raspolozhenie vkhodnykh ogolovkov rybokhodno-nerestovykh kanalov* [Rational location of the inlet heads of fish passage and spawning channels]. *Sooruzheniya rybopropusknykh i rybozashchitnykh kompleksov* [Constructions of Fish Passage and Fish Protection Complexes]. Novocherkassk, pp. 42-51. (In Russian).

2. Chistyakov A.A., 2004. *Konstruksii rybokhodnykh i rybokhodno-nerestovykh kanalov: uchebnoe posobie* [Design of Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels: textbook]. Novocherkassk State Reclamation Academy, Novocherkassk, 150 p. (In Russian).

3. Shkura V.N., 1999. *Rybopropusknye sooruzheniya* [Fish Passage Structures]. In 2 parts, pt. 1, Moscow, Roma Publ., 729 p. (In Russian).

4. Shkura V.N., Chistyakov A.A., Shelestova N.A., 1991. *Rybopropusknoe sooruzhenie* [Fish Passage Structure]. Author's Certificate, no. 1625941. (In Russian).

5. Shkura V.N., Chistyakov A.A., Cherkasov V.A., Fomenko V.A., Anokhin A.M., 1990. *Rybopropusknoe sooruzhenie* [Fish Passage Structure]. Author's Certificate, no. 1599468. (In Russian).

6. Chistyakov A.A., Shkura V.N., Cherkasov V.A., Anokhin A.M., 1992. *Rybokhodno-nerestovyy kanal* [Fish Passage and Spawning Channel]. Author's Certificate, no. 1760001. (In Russian).

7. Shkura V.I., 2012. *Rybokhodnye i rybokhodno-nerestovye kanaly: monografiya* [Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels: monograph]. Novocherkassk Reclamation Engineering Institute DGAU, Novocherkassk, Lik Publ., 204 p. (In Russian).

8. Malvanchik B.S., Nikonorov I.V., 1984. *Rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya* [Fish Passage and Fish Protection Facilities]. Moscow, Light and Food Industry, 256 p. (In Russian).

9. Brito-Santos J.L., Dias-Silva K., Brasil L.S., da Silva J.B., Santos A.M., de Sousa L.M., Vieira T.B., 2021. Fishway in hydropower dams: a scientometric analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 193, pp. 1-17, <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09360-z>.

10. Pavlov D.S., Skorobogatov M.A., 2014. *Migratsii ryb v zaregulirovannykh rekakh* [Fish Migrations in Regulated Rivers]. Moscow, Association of Scientific Editions KMK, 413 p. (In Russian).

11. *SP 101.13330.2012. Podpornye steny, sudokhodnye shlyuzy, rybopropusknye i ry-*

bozashchitnye sooruzheniya. Updated edition SNIIP 2.06.07-87 [Retaining Walls, Shipping Locks, Fish Passage and Fish Protection Structures]. Ministry of Regional Development of Russia, 2012. (In Russian).

Информация об авторах

О. А. Баев – старший научный сотрудник, кандидат технических наук;

А. В. Шевченко – младший научный сотрудник, аспирант.

Information about the authors

O. A. Baev – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences;

A. V. Shevchenko – Junior Researcher, Postgraduate Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.03.2022; одобрена после рецензирования 24.03.2022; принята к публикации 21.04.2022.

The article was submitted 23.03.2022; approved after reviewing 24.03.2022; accepted for publication 21.04.2022.

Обзорная статья
УДК 332.3:631.67

Социально-экономические причины вывода земель из-под орошения и рекомендации к их устранению

Алексей Николаевич Рыжак

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

Аннотация. Цель: привести обзор научных публикаций и нормативно-правовой документации, позволивший выявить социально-экономические проблемы вывода земель из-под орошения и рекомендации к устранению этих причин. **Обсуждения.** Основными из этих причин являются: сложности при реализации выращиваемой продукции, высокие издержки на подачу воды и технические средства орошения, недостаток специалистов-гидротехников, сокращение орошаемых земель в результате освоения земель этой категории для иного пользования. Рассмотренные источники позволяют предположить, что тренд на сокращение площади орошаемых земель, сложившийся в минувшие постсоветские десятилетия, преодолен. В целом изменения в отрасли в последние годы можно рассматривать как позитивные, тем не менее достигнутых результатов недостаточно, так как значительная часть мелиорированных земель, используемых в советские годы, остается выведенной из сельскохозяйственного оборота. **Выводы.** Решения по устранению социально-экономических причин вывода земель из-под орошения можно объединить в следующие группы: анализ причин, вызывающих их неиспользование; законодательные меры (в т. ч. пересмотр федерального законодательства); государственные программы по предоставлению субсидий на возмещение затрат в области сельскохозяйственного производства; внедрение инноваций в производство и в целом повышение научно-технологического уровня. Нет никаких сомнений, что реализация планов правительства, инвесторов и производителей будет развиваться в сложных экономических условиях. Тем не менее усилия Правительства РФ направлены на то, чтобы в полном объеме сохранить все обязательства по реализации стратегических программ развития АПК и предоставлению необходимого софинансирования.

Ключевые слова: орошаемые земли, сельскохозяйственные предприятия, товаропроизводители, сельскохозяйственные площади, технические средства орошения, мелиорированные земли

Review article

Socio-economic reasons for land withdrawal from irrigation and recommendations for their elimination

Alexey N. Ryzhakov

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, xrust.89@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9268-255X>

Abstract. Purpose: to provide a review of scientific publications and legal documentation, which made it possible to identify the socio-economic problems of land withdrawal from irrigation and recommendations for eliminating these causes. **Discussions.** The main of these reasons are: difficulties in the sale of cultivated products, high costs for water supply and technical means of irrigation, lack of hydraulic specialists, reduction of irrigated lands as a result of such land development for other uses. There viewed sources suggest that the trend to-

wards the irrigated land reduction, which was in the past post-Soviet decades, has been overcome. In general, recent changes in the industry can be considered as positive, however, the results achieved are not enough, since a significant part of the reclaimed land used in the Soviet years remains withdrawn from agriculture. **Conclusions.** Decisions to eliminate the socio-economic reasons for land withdrawal from irrigation can be combined into the following groups: analysis of the reasons for their non-use; legislative measures (including revision of federal legislation); government programs to provide subsidies for reimbursement of costs in the field of agricultural production; innovations in production and, in general, raising the scientific and technological level. There is no doubt that the implementation of the plans of the government, investors and manufacturers will develop under difficult economic conditions. Nevertheless, the efforts of the Government of the Russian Federation are aimed at maintaining in full all obligations for the implementation of strategic programs for the development of agro-industrial complex and the provision of the necessary co-financing.

Keywords: irrigated lands, agricultural enterprises, commodity producers, agricultural areas, technical means of irrigation, reclaimed lands

Введение. Экономические преобразования 90-х гг. прошлого века привели к общему экономическому спаду в России, что в свою очередь предопределило вывод из оборота значительной доли сельскохозяйственных земель. В результате крупные сельскохозяйственные предприятия (колхозы, совхозы, межхозяйственные предприятия) либо прекратили свою деятельность, либо трансформировались в частные сельскохозяйственные предприятия, в т. ч. и в крестьянские (фермерские) и личные хозяйства.

Из-за повсеместного недостатка инвестирования многие сельскохозяйственные организации начали резко сокращать посевные площади вследствие недостатка горюче-смазочных материалов, техники и финансовых средств для заработной платы.

Опережающий рост цен на продукцию промышленных отраслей, обеспечивающих аграрный сектор материально-техническими ресурсами (горюче-смазочные материалы, сельхозтехника и пр.), по сравнению с ценами на сельскохозяйственную продукцию и обусловил убыточность сельского хозяйства в стране и невозможность рентабельного производства продукции растениеводства на значительных площадях.

Социальные причины вывода из сельскохозяйственного оборота пахотных угодий тесно переплетены с экономическими причинами. В первую очередь они обусловлены тяжелыми условиями проживания в сельской местности, низкой заработной платой, отсутствием работы, объектов социальной инфраструктуры [1]. Все это привело к снижению численности сельского населения и его люмпенизации, а также к его оттоку в города и более крупные сельские населенные пункты.

В изменившихся условиях далеко и неудобно расположенные земли становятся сложно и дорого обрабатывать, и они выбывают из сельскохозяйственного оборота. Вследствие падения животноводства сокращаются также и кормовые угодья. Кроме того, вывод земель из пашни происходил и в связи с изменением юридического статуса территории. Многими учеными признается, что в прошлом в сельскохозяйственное производство были включены излишне большие площади угодий, обработка которых сегодня не рентабельна [2]. По данным Роснедвижимости и Росреестра, за период 1991–2016 гг. в стране уменьшились площади сельскохозяйственных угодий, в частности пашни с 132,3 до 121,6 млн га, что составило 8,1 % [3]. Вследствие особых условий массовой приватизации сельскохозяйственных угодий в 1990-е гг. значительная их часть оказалась заброшена (по разным оценкам, от 30 до 50 млн га [4]).

В настоящее время к основным объективным причинам, вызывающим уменьшение мелиорированных земель, можно отнести следующие.

1 Сложности при реализации выращиваемой продукции.

2 Высокие издержки на подачу воды и технические средства орошения.

3 Недостаток специалистов-гидротехников.

4 Сокращение орошаемых земель в результате освоения земель этой категории для иного пользования.

Обсуждения. Рассмотрим подробно каждую из отмеченных причин.

1 Как указывалось ранее, в результате проводимых в 1990-е гг. аграрных реформ у крупных сельхозпредприятий и тем более у мелких товаропроизводителей появились трудности с реализацией произведенной сельскохозяйственной продукции. И, как следствие, это привело к сокращению самого производства сельхозпродукции. Например, посевные площади с 1990 по 2007 г. сократились на 35 %. Незначительный рост урожайности в результате интенсификации сельхозпроизводства не смог компенсировать резкое сокращение посевных площадей [5].

Но, несмотря на экономические сложности, в отрасли все еще сохраняются большие возможности для роста. Они представлены в следующих ключевых документах – «Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов на период до 2030 года» [6] и «Доктрина продовольственной безопасности» [7]. Основным направлением развития АПК, определенным данными документами, является предоставление государственной помощи на расширение сельскохозяйственных площадей (как на восстановление выведенных из оборота, так и на закладку новых).

По мере увеличения собственного производства необходимо также наращивание темпов строительства мощностей по переработке и хранению продукции; увеличение инвестиций в новые технологии, в т. ч. ресурсосберегающие; повышение производительности техники и оборудования, что должно привести к увеличению произведенной добавленной стоимости [8].

Так как российский экспорт продукции АПК показывает значительный рост в последние годы, его дальнейшее увеличение может оказаться отличным драйвером для развития сельхозпроизводства. Однако риск ухудшения инвестиционного климата в российской экономике, а значит, и ее конкурентоспособности вследствие внешнеэкономических факторов, к сожалению, может заметно замедлить установленный темп в этом направлении [4].

2 В экономическом плане установление платы за воду должно стимулировать экономию водных ресурсов. Введение платы за доставку воды заставляет водопользователей потреблять воды меньше или использовать ее более эффективно. Но так как водопроводящие сооружения находятся в основном в неудовлетворительном состоянии, а современные средства водоучета и регулирующие распределительные сооружения на оросительных каналах отсутствуют, поливная вода используется неравномерно. Водопользователи, чьи поля расположены в непосредственной близости к магистральному каналу, воду получают в избытке, а по мере удаления земельных участков возникают проблемы с поливной водой [9]. В результате все это сводит на нет выбранные экономические меры экономии. Однако при рассмотрении расчетных тарифов (одно- и двухставочных) [9, 10] на водоподачу четко прослеживаются положительные интенции, обеспечивающие возможность экономической самостоятельности водохозяйственных организаций с сопутствующим сокращением бюджетной нагрузки.

Так как от платы за водоподачу в современных реалиях отойти невозможно, повышение эффективности водопользования возможно лишь с усовершенствованием техники полива, т. е. с применением современной оросительной техники, и при реконструкции водопроводящих сооружений межхозяйственной оросительной сети, что в свою очередь оборачивается дополнительными издержками для сельхозтоваропроизводителей в связи со значительными сроками их окупаемости.

В целях стимулирования инвестиционной деятельности в сельском хозяйстве, и в мелиоративном земледелии в частности, в настоящее время существует ряд государственных программ по предоставлению субсидий на возмещение затрат по указанным выше направлениям [11–13].

Результатом предоставления субсидии является сумма погашенной ссудной задолженности по субсидируемым кредитам либо фактически понесенные затраты в отчетный период на оплату услуг по подаче воды для орошения.

Получателем могут быть сельскохозяйственные товаропроизводители (организации и индивидуальные предприниматели, а также физические лица, сельскохозяйственные потребительские кооперативы и крестьянские (фермерские) хозяйства). Государственная поддержка направлена на возмещение части затрат на уплату процентов по инвестиционным кредитам, полученным в российских кредитных организациях:

- на приобретение машин, установок и аппаратов дождевальных и поливных, насосных станций;
- строительство, реконструкцию и модернизацию мест для хранения, первичной переработки и реализации сельскохозяйственной продукции;
- текущий ремонт, планировку и расчистку оросительных систем;
- оплату услуг по подаче воды для орошения;
- пользование отдельно расположенными ГТС, а также рыбоводными прудами;
- выполнение гидромелиоративных мероприятий, связанных со строительством, реконструкцией и техническим перевооружением оросительных и осушительных систем и т. д.

3 Следствием сокращения мелиорированных земель и оросительной техники стало снижение потребности в специализированных кадрах. На данный момент это привело к недостатку квалифицированных работников, способных как обслуживать современные высокопроизводительные и сложные мелиоративные системы, так и решать производственные задачи в ведомственных организациях Департамента мелиорации.

Согласно информации о структуре кадров Департамента мелиорации по ФГБУ в разрезе федеральных округов за 2017 г., дефицит кадрового обеспечения составляет более 8 тыс. чел., в т. ч. по Южному федеральному округу более 3,5 тыс. чел. [14, 15].

Отсутствие новых кадров в мелиоративной сфере в первую очередь обусловлено снижением инвестиций в аграрное образование, т. е. уменьшением бюджетных мест, и, конечно же, низким уровнем оплаты труда. А сокращение имеющихся специалистов, как правило, происходит по причине старения отраслевых кадров. Следствием сложившейся ситуации является устаревание навыков и компетенций в отрасли, что весьма тревожно для стратегического развития кадрового потенциала отрасли.

Основываясь на результатах анализа трудового потенциала сельского хозяйства и мелиоративной отрасли АПК России [16], можно определить следующие меры, повышающие эффективность реализации кадровой политики рассматриваемой отрасли, предусмотренные в ряде государственных программ:

- реализация политики омоложения кадрового состава путем увеличения доли вложений в аграрное образование от общих бюджетных трат на сельское хозяйство для формирования квалифицированных работников;
- реализация мероприятий по повышению квалификации и переподготовке отраслевых кадров;
- комплексное реформирование системы оплаты труда в сельском хозяйстве и конкретно в мелиорации.

4 Перевод мелиорированных земель в немелиорированные производится на основании списания мелиоративных систем и ГТС по причинам износа (в некоторых

субъектах РФ износ оросительных систем достигал 90 %), по причине аварийности основного капитала отрасли или в результате утраты источника орошения [15]. Также одной из проблем, связанных с неиспользованием по назначению земель, пригодных для ведения сельского хозяйства, является то, что до сих пор не ясно, кому принадлежат те или иные угодья (20 % от переданных в частную собственность угодий), даже спустя 25 лет после их приватизации [4]. Такая ситуация стала следствием особых порядка и условий массовой приватизации этих земель в первые годы аграрной реформы начала 1990-х гг., а также непоследовательности законодательных решений по отношению к их владельцам.

В 2011 и 2016 гг. в целях решения проблемы возврата в хозяйственный оборот заброшенных угодий происходил пересмотр федерального законодательства. Однако только мер законодательного характера оказалось недостаточно.

Согласно опубликованному проекту «Государственной программы эффективно вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» [17], общий объем финансирования, направленный на решение проблем выбывания пригодных для аграрного сектора земель из этой сферы, неудовлетворительного состояния мелиорированных земель, прекращения их технологического обеспечения и др., составляет 13,6 млрд руб. за период 2021–2030 гг.

Помимо прочего, решение проблемы некогда мелиорированных земель должно включать следующие меры:

- экономическое стимулирование предполагаемых собственников или арендаторов заброшенных земель либо соответствующих муниципалитетов, т. е. предоставление им субсидий из федерального бюджета на хозяйственное освоение таких участков и их рекультивацию;

- создание на федеральном или региональном уровне специализированных организаций, деятельность которых должна быть направлена на выявление неиспользуемых земель и правообладателей, а также на взаимодействие с ними в целях оформления документов по изъятию их земель для последующего проведения торгов, результатом которых должна стать передача таких земель более эффективным собственникам;

- принятие ряда профилактических мер воздействия на правообладателей заброшенных участков (штрафы, повышенный земельный налог), связанных с другими решениями по совершенствованию аграрного землепользования.

Вывод. Исходя из рассмотренной информации, можно предположить, что тренд на сокращение площади орошаемых земель, сложившийся в минувшие постсоветские десятилетия, преодолен. В целом изменения, сложившиеся в отрасли в последние годы, можно рассматривать как позитивные, тем не менее достигнутых результатов недостаточно, так как значительная часть мелиорированных земель, используемой в советские годы, остается выведенной из сельскохозяйственного оборота.

Исходя из рассмотренных социально-экономических причин вывода орошаемых земель из оборота, применяемые в настоящее время решения по их устранению можно объединить в следующие группы:

- анализ причин, вызывающих их неиспользование;
- ряд мер законодательного характера, в т. ч. пересмотр федерального законодательства;
- государственные программы по предоставлению субсидий на возмещение затрат в области сельскохозяйственного производства;
- внедрение инноваций в производство и в целом повышение научно-технологического уровня.

В настоящее время имеет место неопределенность дальнейшего развития как отечественной, так и глобальной экономики. Нет никаких сомнений, что реализация планов правительства, инвесторов и производителей будет развиваться в сложных экономических условиях. Тем не менее усилия Правительства РФ направлены на то, чтобы в полном объеме сохранить все обязательства по реализации стратегических программ развития АПК и предоставлению необходимого финансирования.

Список источников

1. Вожаева Н. Г. Организационно-экономические аспекты управления технологическими процессами окультуривания сельскохозяйственных земель: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Княгинино, 2010. 23 с.

2. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / А. Л. Иванов [и др.]; под ред. Г. А. Романенко. М.: Росинформагротех, 2008. 64 с.

3. Желясков А. Л., Сетуридзе Д. Э. Экономическая и социальная эффективность вовлечения неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения в хозяйственный оборот (методы, теория, практика): монография / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Перм. аграр.-технол. ун-т им. акад. Д. Н. Прянишникова. Пермь: Прокрость, 2021. 127 с.

4. Липски С. А. Состояние и использование земельных ресурсов России: тенденции текущего десятилетия // Проблемы прогнозирования. 2020. № 4(181). С. 107–115.

5. Соскиева Е. А. Пути решения проблем реализации сельскохозяйственной продукции // Никоновские чтения. 2009. № 14. С. 428–429.

6. Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 12 апр. 2020 г. № 993-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564654448?marker=6540IN> (дата обращения: 22.12.2021).

7. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]: Указ Президента Рос. Федерации от 21 янв. 2020 г. № 20. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 22.12.2021).

8. Даренских С. Что препятствует развитию отечественного плодово-ягодного бизнеса? Мнение профессионалов [Электронный ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/chto-prepyatstvuet-razvitiyu-otechestvennogo-plodovo-yagodnogo-biznesa-mnenie-professionalov> (дата обращения: 22.12.2021).

9. Манжина С. А., Медведева Л. Н. Современные подходы к определению экономически обоснованной стоимости подачи воды на орошение // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 3(31). С. 148–170. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=948> (дата обращения: 22.12.2021). DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-148-170.

10. Акопян А. В., Сафарова Н. И. Экономический инструментарий реализации услуг по подаче воды для орошения в зоне действия крупных мелиоративных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2011. № 3(03). С. 74–85. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=453> (дата обращения: 13.01.2022).

11. О порядке предоставления субсидий на возмещение части затрат на уплату процентов по инвестиционным кредитам, полученным в российских кредитных организациях, и займам, полученным в сельскохозяйственных кредитных потребительских кооперативах [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рост. обл. от 20 янв. 2012 г. № 58: по состоянию на 22 марта 2021 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интернет.

12. Финансовая поддержка сельскохозяйственных товаропроизводителей [Электронный ресурс]. URL: <https://donland.ru/activity/817/> (дата обращения: 20.01.2022).

13. О порядке предоставления субсидий сельскохозяйственным товаропроизводителям (кроме граждан, ведущих личное подсобное хозяйство) на возмещение части затрат на оплату услуг по подаче воды для орошения и (или) затрат на оплату электроэнергии, потребляемой внутрихозяйственными насосными станциями при подаче воды для орошения сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рост. обл. от 17 апр. 2017 г. № 277 (с изм. на 7 июня 2021 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/446182243> (дата обращения: 13.01.2022).

14. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информ. изд. / Г. В. Ольгаренко, С. С. Турапин, В. И. Булгаков, Т. А. Капустина, Н. А. Мищенко, М. С. Зверьков, Л. Е. Паутова, А. В. Грушин, Е. В. Медведева, А. И. Банникова, И. Д. Мищенко. М.: Росинформагротех, 2020. 304 с.

15. Тенденции формирования кадровой политики в мелиоративной отрасли агропромышленного комплекса Российской Федерации / А. А. Угрюмова, М. П. Замаховский, Т. А. Капустина, Л. Е. Паутова // Вестник Челябинского государственного университета. 2020. № 11(445). Экономические науки. Вып. 71. С. 132–144. DOI: 10.47475/1994-2796-2020-11115.

16. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/technical-program/> (дата обращения: 10.03.2022).

17. Проект государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://regulation.gov.ru/projects/List/AdvancedSearch#departments=2&npr=98576> (дата обращения: 10.03.2022).

References

1. Vozhdaeva N.G., 2010. *Organizatsionno-ekonomicheskie aspekty upravleniya tekhnologicheskimi protsessami okul'turivaniya sel'skokhozyaystvennykh zemel': avtoref. diss. ... kand. ekon. nauk* [Organizational and economic aspects of managing the technological processes of cultivating agricultural lands: Abstract of cand. econ. sci. diss.]. Knyaginino, 23 p. (In Russian).

2. Ivanov A.L. [et al.], 2008. *Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaystvennogo oborota* [Agroecological State and Prospects for the Use of Russian Lands Withdrawn from Active Agriculture]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 64 p. (In Russian).

3. Zhelyaskov A.L., Seturidze D.E., 2021. *Ekonomicheskaya i sotsial'naya effektivnost' vovlecheniya neispol'zuemykh zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v khozyaystvennyy oborot (metody, teoriya, praktika): monografiya* [Economic and Social Efficiency of Involving Unused Agricultural Land into Economic Turnover (Methods, Theory, Practice): monograph]. Ministry of Agriculture and Food of Russian Federation, Perm Agrarian Technological University named after acad. D.N. Pryanishnikov, Perm, Prokrost Publ., 127 p. (In Russian).

4. Lipski S.A., 2020. *Sostoyanie i ispol'zovanie zemel'nykh resursov Rossii: tendentsii tekushchego desyatiletia* [State and use of land resources in Russia: trends of the current decade]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of Forecasting], no. 4(181), pp. 107-115. (In Russian).

5. Soskueva E.A., 2009. *Puti resheniya problem realizatsii sel'skokhozyaystvennoy produktsii* [Ways to solve the problems of agricultural production]. *Nikonovskie chteniya* [Nikonovskiy Readings], no. 14, pp. 428-429. (In Russian).

6. *Ob utverzhdenii Strategii razvitiya agropromyshlennogo i rybokhozyaystvennogo kompleksov Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda* [On approval of the Development Strategy of the Agro-Industrial and Fishery Complexes of the Russian Federation for the Period until 2030]. Decree of the Government of RF of 12 April, 2020, no. 993-r. (In Russian).

7. *Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii* [On the Approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation]. Decree of the President of RF of 21 January, 2020, no. 20. (In Russian).

8. Darenskikh S. *Chto prepyatvuet razvitiyu otechestvennogo plodovo-yagodnogo biznesa? Mnenie professionalov* [What hinders the development of domestic fruit and berry business? Opinion of professionals], available: <https://glavagronom.ru/articles/chto-prepyatvuet-razvitiyu-otchestvennogo-plodovo-yagodnogo-biznesa-mnenie-professionalov> [accessed 22.12.2021]. (In Russian).

9. Manzhina S.A., Medvedeva L.N., 2018. [Modern approaches to determining the economically justified cost of supplying irrigation water]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(31), pp. 148-170, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=948> [accessed 22.12.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-148-170. (In Russian).

10. Akopyan A.V., Safarova N.I., 2011. [Economic implementation tools for irrigation water supply services in the area of large land reclamation systems]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(03), pp. 74-85, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=453> [accessed 13.01.2022]. (In Russian).

11. *O poryadke predostavleniya subsidiy na vozmeshchenie chasti zatrat na uplatu protsentov po investitsionnym kreditam, poluchennym v rossiyskikh kreditnykh organizatsiyakh, i zaymam, poluchennym v sel'skokhozyaystvennykh kreditnykh potrebitel'skikh kooperativakh* [On the procedure for granting subsidies to reimburse part of the cost of paying interest on investment loans received from Russian credit institutions and loans received from agricultural credit consumer cooperatives]. Government Decree of Rostov region of 20 January, 2012, no. 58, as of March 22, 2021. (In Russian).

12. *Finansovaya podderzhka sel'skokhozyaystvennykh tovaroproizvoditeley* [Financial support for agricultural producers], available: <https://donland.ru/activity/817/> [accessed 20.01.2022]. (In Russian).

13. *O poryadke predostavleniya subsidiy sel'skokhozyaystvennym tovaroproizvoditelyam (krome grazhdan, vedushchikh lichnoe podsobnoe khozyaystvo) na vozmeshchenie chasti zatrat na oplatu uslug po podache vody dlya orosheniya i (ili) zatrat na oplatu elektroenergii, potrebyaemoy vnutrikhozyaystvennymi nasosnymi stantsiyami pri podache vody dlya orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [On the procedure for providing subsidies to agricultural producers (except for citizens leading private subsidiary plots) for reimbursement of part of the costs of paying for water supply services for irrigation and (or) the costs of paying for electricity consumed by on-farm pumping stations when supplying water for irrigation of agricultural crops]. Government Decree of Rostov region of 17 April, 2017, no. 277, as amended on June 7, 2021, available: <https://docs.cntd.ru/document/446182243> [accessed 13.01.2022]. (In Russian).

14. Olgarenko G.V., Turapin S.S., Bulgakov V.I., Kapustina T.A., Mishchenko N.A., Zverkov M.S., Pautova L.E., Grushin A.V., Medvedeva E.V., Bannikova A.I., Mishchenko I.D., 2020. *Meliorativnyy kompleks Rossiyskoy Federatsii: inform. izd.* [Land Reclamation Complex of the Russian Federation: inform. ed.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 304 p. (In Russian).

15. Ugryumova A.A., Zamakhovskiy M.P., Kapustina T.A., Pautova L.E., 2020. *Tendentsii formirovaniya kadrovoy politiki v meliorativnoy otrasli agropromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii* [Personnel policy development trends in the land reclamation

area of the Russian agro-industrial complex]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Chelyabinsk State University], no. 11(445). [Economic Sciences], iss. 71, pp. 132-144, DOI: 10.47475/1994-2796-2020-11115. (In Russian).

16. *Federal'naya nauchno-tekhnicheskaya programma razvitiya sel'skogo khozyaystva na 2017–2025 godu* [Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017–2025], available: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/technical-program/> [accessed 10.03.2022]. (In Russian).

17. *Proekt gosudarstvennoy programmy effektivnogo вовлечения v оборот zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya i razvitiya meliorativnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii* [Draft State Program for Effective Involvement in the Turnover of Agricultural Lands and Development of the Reclamation Complex of the Russian Federation], available: <https://regulation.gov.ru/projects/List/AdvancedSearch#departments=2&npa=98576> [accessed 10.03.2022]. (In Russian).

Информация об авторе

А. Н. Рыжаков – научный сотрудник.

Information about the author

A. N. Ryzhakov – Researcher.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.04.2022; одобрена после рецензирования 28.04.2022; принята к публикации 05.05.2022.

The article was submitted 22.04.2022; approved after reviewing 28.04.2022; accepted for publication 05.05.2022.

Научная статья

УДК 631.674.6

Очертание изоплет, ограничивающих контуры капельного увлажнения, формирующиеся в южных среднетощих черноземах

Андрей Александрович Куприянов¹, Виктор Николаевич Шкура²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹kuprijanov19967@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5129-3497>

²VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Аннотация. Цель: получение эмпирической зависимости, которая описывала бы очертание внешнеконтурной изоплеты, ограничивающей подкапельные зоны увлажненного почвенного пространства, формирующиеся в южных среднетощих черноземах при капельном поливе. **Материалы и методы.** Экспериментальную основу исследования составили данные полевых измерений 10 локальных контуров увлажненной почвы, формирующихся в почвенном пространстве при капельном поливе южных среднетощих суглинистых и глинистых черноземов, характеризующихся: содержанием в метровом слое глинистых частиц в диапазоне значений от 29,0 до 71,1 % массы сухой почвы; наименьшей влагоемкостью, составляющей 20–31 % массы сухой почвы; плотностью сложения 1,29–1,44 т/м³ и средним содержанием гумуса в метровом профиле 0,8–2,4 %. **Результаты и обсуждение.** В процессе обработки опытных очертаний контуров влажности установлены абсолютные значения их радиусов и глубин промачивания почвы. Для установления расчетной зависимости, описывающей очертание оконтуривающей капельно увлажняемое почвенное пространство (контур влажности) линии, в качестве функции (результатирующего показателя) рассмотрены соотношения радиусов контура на разных уровнях заглубленности замерного сечения контура влажности под поверхность земли и его максимального радиуса. Функциональная связь между принятыми относительными плановыми и глубинными геометрическими параметрами контура описана полиномом седьмой степени. **Выводы.** Получена эмпирическая зависимость, описывающая планово-глубинное положение ограничивающей локальный контур капельного увлажнения почвы линии в принятой координатной сетке относительных значений координат оконтуривающей его изоплеты. При известных значениях глубины и радиуса контура зависимость позволяет с приемлемой для ведения практических расчетов точностью математически описать пространственное положение ограничивающей контур линии влажности.

Ключевые слова: капельное орошение, контур увлажнения, оконтуривающая изоплета, капельный полив, профиль контура, радиус контура, глубина контура

Original article

The isopleths profile limiting the drip irrigation contours formed in the southern medium chernozems

Andrey A. Kupriyanov¹, Viktor N. Shkura²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹kuprijanov19967@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5129-3497>

²VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Abstract. Purpose: to obtain an empirical dependence describing the outer contour isopleths profile limiting the sub-drip zones of moistened soil space formed in southern medi-

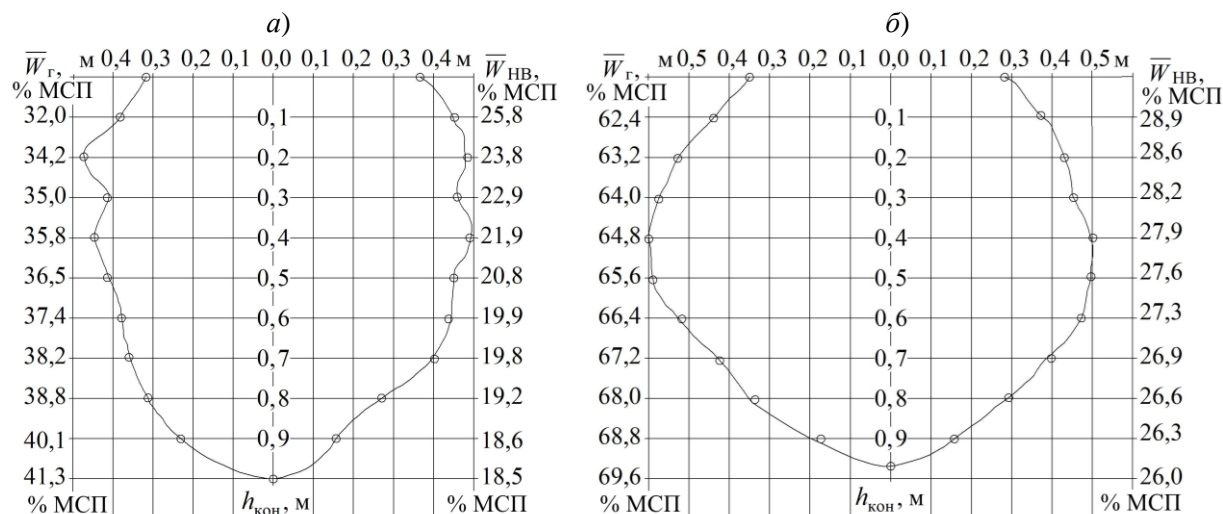
um chernozems by drip irrigation. **Materials and methods.** The experimental basis of the study was the data of field measurements of 10 local moistened soil contours formed in the soil space by drip irrigation of southern medium loamy and clayey chernozems, characterized by: the content of clay particles in the range of values from 29.0 to 71.1 % of the dry soil mass in the meter layer; the lowest moisture capacity, which is 20–31 % of the dry soil mass; bulk density of 1.29–1.44 t/m³ and an average humus content in a meter profile of 0.8–2.4 %. **Results and discussion.** In the course of processing the experimental moisture contours profiles, the absolute values of their radii and depths of soil wetting were determined. To establish the calculated dependence that describes the profile of line contouring the drip-moistened soil space (moisture contour), as a function (resulting indicator), the ratios of the contour radii at different depth levels of the gage section of sub-soil moisture and its maximum radius. The functional connection between the accepted relative planned and deep geometric parameters of the contour is described by a polynomial of the seventh degree. **Conclusion.** An empirical dependence describing the planned-deep position of the line limiting the drip irrigation local contour in the accepted coordinate grid of relative values of the coordinates of the contouring isopleths has been obtained. With known values of the depth and radius of the contour, the dependence makes it possible to describe mathematically the spatial position of the moisture line limiting the contour with an accuracy acceptable for practical calculations.

Keywords: drip irrigation, moisture contour, contouring isopleth, drip watering, contour profile, contour radius, contour depth

Введение. В процессе капельного полива в подкапельном почвенном пространстве формируется массив увлажненной почвы характерного для данной технологии орошения очертания, определяемый как контур капельного увлажнения. Область (зона) искусственного увлажненного пространства характеризуется определенной формой, геометрическими размерами и влажностными показателями [1–6]. В реальных почвенных и технологических условиях капельного полива внешний контур капельно увлажняемого массива почвогрунтовой толщи ограничивается (оконтуривается) граничной изоплетной линией сложного поликриволинейного вида. Для качественно-количественного описания положения оконтуривающей изоплеты и практического применения геометрических параметров контура указанная оконтуривающая линия аппроксимируется до более простых форм [7]. Судя по данным А. Н. Рыжакова, В. Н. Шкуры, А. С. Штанько [8–10], наиболее точно математически описать аппроксимированные очертания контуров капельного увлажнения почвы представляется возможным при использовании их относительных высотных и плановых параметров функциональной зависимостью вида $(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}} = f(h_{\text{кон},i} / h_{\text{кон}})$, где $r_{\text{кон}}$ и $h_{\text{кон}}$ – радиус и глубина контура; $h_{\text{кон},i}$ – заглубленность (глубина расположения) сечения контура горизонтальной плоскостью под поверхность земли, изменяющаяся от 0 до $h_{\text{кон}}$; $(r_{\text{кон}})_{h_i}$ – радиус ограничивающей контур влажностной линии изоплеты на глубине $h_{\text{кон},i}$. Установление математической зависимости, описывающей указанную функциональную связь, поставлено целью исследования.

Материалы и методы. Экспериментальную базу для получения значений $(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}}$ и $h_{\text{кон},i} / h_{\text{кон}}$ и математического описания контурной изоплеты составили опытные очертания 10 контуров влажности, полученные в полевых условиях на экспериментальных площадках (в п. Ключевом, Донлесхозе и Персиановке) с различными сочетаниями и диапазонами средних в пределах метрового слоя почвы значений почвенных характеристик, составляющих: $(\bar{W}_r)_{1,0} = 29,0...71,1$ % массы сухой почвы (МСП); $(\bar{W}_{\text{НВ}})_{1,0} = 20,0...31,0$ % МСП; $(\bar{g}_{\text{гум}})_{1,0} = 0,8...2,4$ % и $(\bar{\gamma}_{\text{об}})_{1,0} = 1,29...1,44$ т/м³, при со-

отношениях $(\bar{W}_r)_{1,0}/(\bar{W}_{НВ})_{1,0}$, изменяющихся в диапазоне от 1,45 до 2,57. При проведении полевых исследований и камеральной обработки опытных данных использованы методики, разработанные О. Е. Ясонида [4]. Примеры очертаний контуров влажности почвы (принятых к анализу и обработке) проиллюстрированы на рисунке 1.



а) среднесуглинистый южный чернозем со средними значениями показателей по метровому слою почвы: $\bar{W}_r = 36,9$ % МСП, $\bar{W}_{НВ} = 21,1$ % МСП, $\bar{\gamma}_{об} = 1,30$ т/м³, $\bar{g}_{гум} = 1,10$ %;

б) южный легкосуглинистый чернозем со средними значениями показателей по метровому слою почвы: $\bar{W}_r = 66,0$ % МСП, $\bar{W}_{НВ} = 27,4$ % МСП, $\bar{\gamma}_{об} = 1,32$ т/м³, $\bar{g}_{гум} = 1,7$ %

Рисунок 1 – Внешние очертания локальных контуров капельного увлажнения почвы

Figure 1 – Outer profile of soil drip irrigation local contours

При обработке опытных данных и установлении зависимости использовались методы математической статистики и регрессионно-корреляционного анализа.

Результаты и обсуждение. Результаты определения количественных значений $r_{\text{кон}}$, $h_{\text{кон}}$; $(r_{\text{кон}})_{h_i}$ для левой $(r_{\text{кон/л}})$, $(r_{\text{кон/л}})_{h_i}$ и правой $(r_{\text{кон/пр}})$, $(r_{\text{кон/пр}})_{h_i}$ сторон профилей контуров увлажнения почвы по рисунку 1 приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Данные о геометрических значениях (координатах) оконтуривающей изоплеты по рисунку 1а со значениями $h_{\text{кон}} = 1,0$ м, $r_{\text{кон/л}} = 0,48$ м и

$$r_{\text{кон/пр}} = 0,49 \text{ м}$$

Table 1 – Data on the geometric values (coordinates) of the contouring isopleth according to figure 1a with values $h_{\text{кон}} = 1,0$ м, $r_{\text{кон/л}} = 0,48$ м and

$$r_{\text{кон/пр}} = 0,49 \text{ м}$$

$(h_{\text{кон},i}), \text{ м}$	$h_{\text{кон},i} / h_{\text{кон}}$	$(r_{\text{кон/л}})_{h_i}, \text{ м}$	$(r_{\text{кон/л}})_{h_i} / r_{\text{кон/л}}$	$(r_{\text{кон/пр}})_{h_i}, \text{ м}$	$(r_{\text{кон/пр}})_{h_i} / r_{\text{кон/пр}}$
1	2	3	4	5	6
0,0	0,00	0,32	0,67	0,38	0,78
0,1	0,10	0,38	0,79	0,46	0,94
0,2	0,20	0,48	1,00	0,49	1,00
0,3	0,30	0,42	0,88	0,46	0,94
0,4	0,40	0,44	0,92	0,49	1,00
0,5	0,50	0,42	0,85	0,46	0,94

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
0,6	0,60	0,38	0,79	0,44	0,90
0,7	0,70	0,36	0,75	0,40	0,82
0,8	0,80	0,31	0,65	0,28	0,57
0,9	0,90	0,22	0,46	0,16	0,33
1,0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 2 – Данные о геометрических размерах (координатах) оконтуривающей изоплеты по рисунку 1б со значениями $h_{\text{кон}} = 0,97$ м, $r_{\text{кон/л}} = 0,60$ м и $r_{\text{кон/пр}} = 0,51$ м

Table 2 – Data on the geometric dimensions (coordinates) of the contouring isopleth according to figure 1b with values $h_{\text{кон}} = 0.97$ m, $r_{\text{кон/л}} = 0.60$ m and $r_{\text{кон/пр}} = 0.51$ m

$(h_{\text{кон},i})$, М	$h_{\text{кон},i} / h_{\text{кон}}$	$(r_{\text{кон/л}})_{h_i}$, М	$(r_{\text{кон/л}})_{h_i} / r_{\text{кон/л}}$	$(r_{\text{кон/пр}})_{h_i}$, М	$(r_{\text{кон/пр}})_{h_i} / r_{\text{кон/пр}}$
0,0	0,00	0,35	0,58	0,29	0,57
0,1	0,10	0,43	0,72	0,38	0,74
0,2	0,21	0,52	0,87	0,43	0,84
0,3	0,31	0,58	0,97	0,45	0,88
0,4	0,41	0,60	1,00	0,50	0,98
0,5	0,52	0,59	0,98	0,51	1,00
0,6	0,62	0,51	0,85	0,48	0,94
0,7	0,72	0,41	0,68	0,40	0,78
0,8	0,82	0,33	0,55	0,29	0,57
0,9	0,93	0,08	0,13	0,16	0,31
0,97	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Для описания оконтуривающей профиль линии был выбран полином вида:

$$\frac{r_{\text{кон},h_i}}{r_{\text{кон}}} = k_0 + k_1 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right) - k_2 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^2 + k_3 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^3 - k_4 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^5 - k_5 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^7.$$

При определении значений k_0 учитывалось, что его величина количественно соответствует величине соотношения $(r_{\text{кон}})_{\text{пов}} / r_{\text{кон}}$, где $(r_{\text{кон}})_{\text{пов}}$ – величина радиуса контура при $h_{\text{кон},i} = 0$. Средние значения $(\bar{r}_{\text{кон}})_{\text{пов}} / \bar{r}_{\text{кон}}$ по экспериментальным контурам влажности почвы приведены в таблице 3 и проиллюстрированы на рисунке 2.

Таблица 3 – Опытные значения $\bar{k}_0 = (\bar{r}_{\text{кон}})_{\text{пов}} / \bar{r}_{\text{кон}} = f(\bar{W}_Г / \bar{W}_{\text{НВ}})$

Table 3 – Empirical values $\bar{k}_0 = (\bar{r}_{\text{кон}})_{\text{пов}} / \bar{r}_{\text{кон}} = f(\bar{W}_Г / \bar{W}_{\text{НВ}})$

$\bar{W}_Г / \bar{W}_{\text{НВ}}$	1,45	1,72	1,75	1,98	2,07	2,18	2,18	2,35	2,41	2,57
\bar{k}_0	0,755	0,598	0,705	0,650	0,610	0,531	0,515	0,550	0,565	0,480

Анализ опытного материала, приведенного в таблице 3 и проиллюстрированного на рисунке 2, позволяет установить, что значения $(r_{\text{кон}})_{\text{пов}} / r_{\text{кон}}$ зависят от значений $\bar{W}_Г$ и $\bar{W}_{\text{НВ}}$, т. е. имеет место функциональная связь $(r_{\text{кон}})_{\text{пов}} / r_{\text{кон}} = f(\bar{W}_Г / \bar{W}_{\text{НВ}})$. Указанная функциональная связь описывается зависимостью:

$$k_0 = (r_{\text{кон}})_{\text{пов}} / r_{\text{кон}} = 1,164 - 0,269 \cdot (\bar{W}_r / \bar{W}_{\text{НВ}}).$$

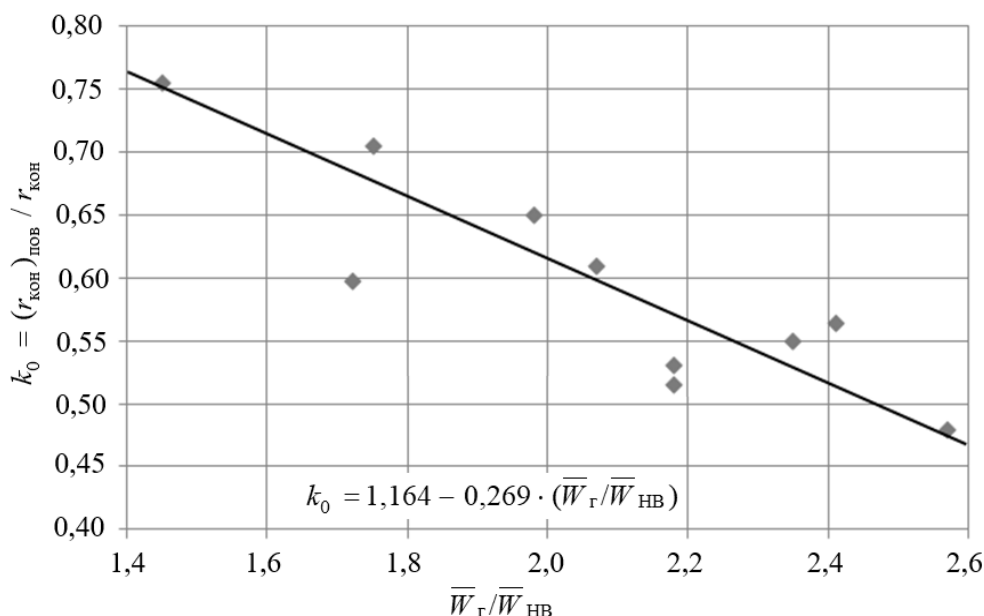


Рисунок 2 – Опытные данные и график функциональной связи

$$k_0 = (r_{\text{кон}})_{\text{пов}} / r_{\text{кон}} = f(\bar{W}_r / \bar{W}_{\text{НВ}})$$

Figure 2 – Empirical data and graph of functional connection

$$k_0 = (r_{\text{кон}})_{\text{пов}} / r_{\text{кон}} = f(\bar{W}_r / \bar{W}_{\text{НВ}})$$

Статистическая обработка экспериментального материала по каждому из опытных контуров влажности позволила установить параметры всех эмпирических коэффициентов принятой к рассмотрению полиномиальной зависимости, значения которых составляют: $k_1 = 1,03 / k_0^{1,2}$, $k_2 = k_0 + k_1$, $k_3 = 0,254$, $k_4 = 0,200$ и $k_5 = 0,054$.

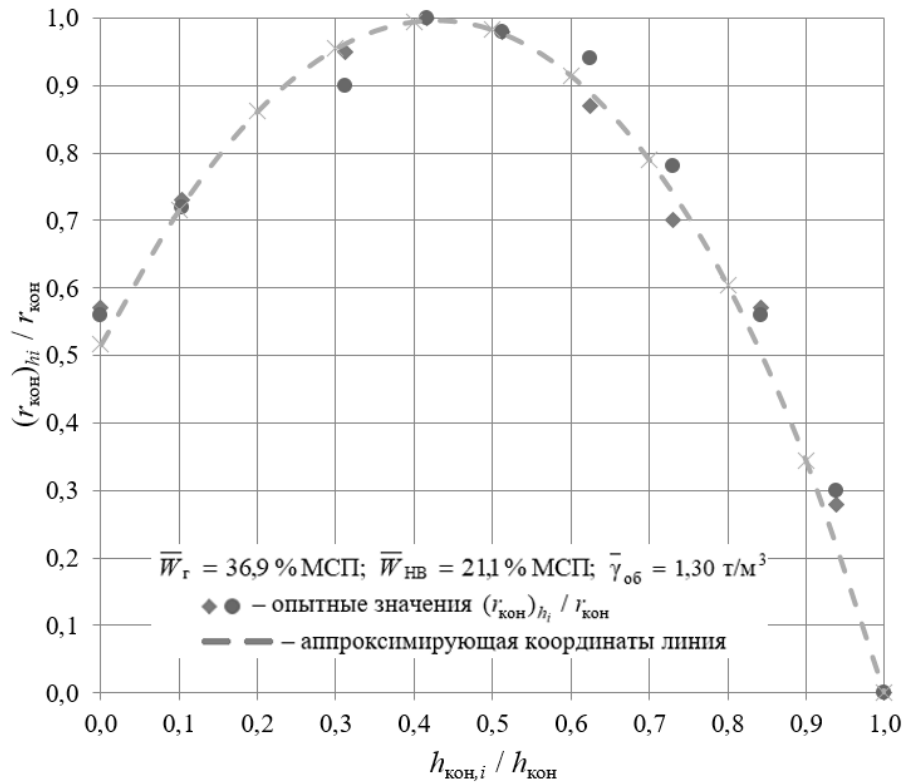
Для данных по таблице 1 значения эмпирических коэффициентов составляют: $k_0 = 0,693$, $k_1 = 1,60$, $k_2 = 2,292$, $k_3 = 0,254$, $k_4 = 0,200$, $k_5 = 0,054$, а для данных по таблице 2: $k_0 = 0,516$, $k_1 = 2,279$, $k_2 = 2,795$, $k_3 = 0,254$, $k_4 = 0,200$, $k_5 = 0,054$. Соответствующие указанным данным и значениям коэффициентов формулы имеют вид:

$$\frac{r_{\text{кон},h_i}}{r_{\text{кон}}} = 0,693 + 1,60 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right) - 2,292 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^2 + 0,254 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^3 - 0,200 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^5 - 0,054 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^7, \quad (1)$$

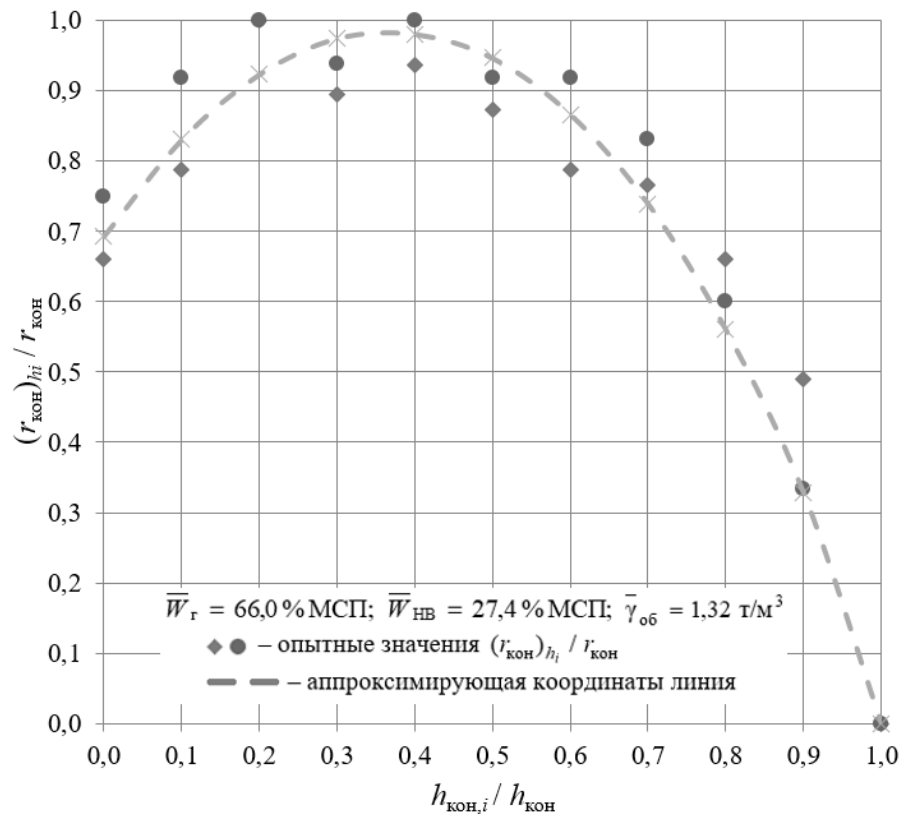
$$\frac{r_{\text{кон},h_i}}{r_{\text{кон}}} = 0,516 + 2,279 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right) - 2,795 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^2 + 0,254 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^3 - 0,200 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^5 - 0,054 \cdot \left(\frac{h_{\text{кон},i}}{h_{\text{кон}}}\right)^7. \quad (2)$$

Очертание внешнеконтурных изоплет, рассчитанных по зависимостям (1) и (2), и положение опытных значений их координат проиллюстрированы на рисунке 3.

Судя по данным рисунка 3, опытные значения высотно-плановых параметров контуров с погрешностью, не превышающей 12 %, соответствуют расчетным.



а) очертание внешнеконтурных изоплант, рассчитанных по зависимости (1)



б) очертание внешнеконтурных изоплант, рассчитанных по зависимости (2)

Рисунок 3 – Примеры функциональной связи $(r_{кон})_{hi} / r_{кон} = \int \cdot (h_{кон,j} / h_{кон})$

Figure 3 – Examples of functional connection $(r_{кон})_{hi} / r_{кон} = \int \cdot (h_{кон,j} / h_{кон})$

Выводы

1 Получена эмпирическая зависимость, описывающая плано-глубинное положение ограничивающей локальный контур капельного увлажнения почвы линии в принятой координатной сетке относительных значений координат оконтуривающей его изоплеты.

2 При известных значениях глубины и радиуса контура зависимость позволяет с приемлемой для ведения практических расчетов точностью математически описать пространственное положение ограничивающей контур линии влажности.

Список источников

1. Орошение: справочник / Б. Б. Шумаков [и др.]. М.: Колос, 1999. 432 с.
2. Храбров М. Ю. Ресурсосберегающие технологии и технические средства орошения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02. М., 2008. 47 с.
3. Системы капельного орошения: учеб. пособие / М. И. Ромащенко [и др.]. Днепропетровск: Оксамит-текст, 2007. 175 с.
4. Ясониди О. Е. Капельное орошение: монография / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: Лик, 2011. 322 с.
5. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю. Контурные увлажнения почвы при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3. С. 183–188.
6. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Мещеряков М. П. Методика расчета и обоснование параметров контура увлажнения в условиях открытого и закрытого грунта // Природообустройство. 2012. № 4. С. 10–14.
7. Васильев С. М., Коржова Т. В., Шкура В. Н. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 197 с.
8. Рыжаков А. Н., Шкура В. Н., Штанько А. С. О форме локального контура капельного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(66). С. 94–100.
9. Рыжаков А. Н., Шкура В. Н., Штанько А. С. Очертания контуров увлажнения, формируемых при капельном орошении // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(26). С. 98–114.
10. Шкура В. Н., Штанько А. С. Методика расчета координат и построения очертания зон капельного увлажнения почвы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4(72). С. 133–140.

References

1. Shumakov V.B. [et al.], 1999. *Oroshenie: spravochnik* [Irrigation: a Reference Book]. Moscow, Kolos Publ., 432 p. (In Russian).
2. Khrabrov M.Yu., 2008. *Resursosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniya. Avtoreferat diss. d-ra tekhn. nauk* [Resource-saving technologies and technical means of irrigation. Abstract of doctor tech. sci. diss.]. Moscow, 47 p. (In Russian).
3. Romashchenko M.I. [et al.], 2007. *Sistemy kapel'nogo orosheniya: uchebnoe posobie* [Drip Irrigation Systems: textbook]. Dnepropetrovsk, Oksamit-text Publ., 175 p. (In Russian).
4. Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie: monografiya* [Drip Irrigation: monograph]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy, Novocherkassk, Lik Publ., 322 p. (In Russian).
5. Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., 2012. *Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii* [Soil moisture contours in drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Nizhnevolzhsky

Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3, pp. 183-188. (In Russian).

6. Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P., 2012. *Metodika rascheta i obosnovanie parametrov kontura uvlazhneniya v usloviyakh otkrytogo i zakrytogo grunta* [The calculation method and substantiation of moisture contour parameters under the conditions of the open and closed ground]. *Prirodoobstroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 10-14. (In Russian).

7. Vasiliev S.M., Korzhova T.V., Shkura V.N., 2016. *Tekhnicheskie sredstva kapel'nogo oroseniya: uchebnoe posobie* [Technical Means of Drip Irrigation: textbook]. Novocherkassk, RosNIIPM, 197 p. (In Russian).

8. Ryzhakov A.N., Shkura V.N., Shtanko A.S., 2017. *O forme lokal'nogo kontura kapel'nogo oroseniya* [On the local contour profile of drip irrigation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(66), pp. 94-100. (In Russian).

9. Ryzhakov A.N., Shkura V.N., Shtanko A.S., 2017. *Ochertaniya konturov uvlazhneniya, formiruemykh pri kapel'nom orosenii* [Moisture contours profile formed by drip irrigation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(26), pp. 98-114. (In Russian).

10. Shkura V.N., Shtanko A.S., 2018. *Metodika rascheta koordinat i postroeniya ochertaniya zon kapel'nogo uvlazhneniya pochvy* [Methodology for calculating the coordinates and developing drip irrigation soil contour zones]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(72), pp. 133-140. (In Russian).

Информация об авторах

А. А. Куприянов – младший научный сотрудник;

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор.

Information about the authors

A. A. Kupriyanov – Junior Researcher;

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.04.2022; одобрена после рецензирования 28.04.2022; принята к публикации 06.05.2022.

The article was submitted 20.04.2022; approved after reviewing 28.04.2022; accepted for publication 06.05.2022.

Научная статья

УДК 633.18:626.823

**Модернизация сетевых гидротехнических сооружений
для безгербицидного рисоводства**

Елена Владимировна Дегтярева, Семен Игоревич Демьянов,

Николай Вячеславович Островский

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар,
Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Елена Владимировна Дегтярева,
elenadegtyareva87@mail.ru

Аннотация. Цель: развитие мелиоративных приемов и технических средств управления водоподачей в рисовые чеки и использования водного режима для борьбы с сорной растительностью при безгербицидном рисоводстве. **Материалы и методы.** Выполнен вегетационный опыт для обоснования методов подавления рисовой просянки слоем воды. Проведена разработка и адаптация к сетевым ГТС средств автоматизации для управления водным режимом при реализации безгербицидных технологий. В ходе исследований определялись величины слоя затопления рисового чека, достаточные для угнетения и полного подавления растений просянок. Устанавливалась продолжительность поддержания высокого слоя затопления, достаточная для эффективного подавления растений просянок при различных температурных режимах. Для гарантированного обеспечения рекомендуемых водных режимов проведены исследования и адаптация инновационной конструкции регулятора уровня к условиям эксплуатации на производственном экспериментальном участке. **Результаты.** Для подавления рисовых просянок в режиме постоянного затопления рисового поля требуется с момента начала залива чеков поддерживать слой воды 20–22 см в течение 15 сут. После визуальной оценки состояния просянок и заключения об их нежизнеспособности слой затопления рисового поля следует плавно понижать до 15 см и далее обеспечивать точное регулирование величины затопления с применением средств гидроавтоматики согласно фазам вегетации риса. Разработана конструкция и проведены исследования электрической микроконтроллерной схемы управления канального регулятора уровня нижнего бьефа. **Выводы.** В результате исследований даны рекомендации по управлению величиной слоя затопления рисового поля для эффективного подавления рисовой просянки при возделывании риса в режиме постоянного затопления. Предложен и исследован адаптированный к конструкции сетевых ГТС инновационный канальный регулятор уровня нижнего бьефа. Показана методика гидравлического расчета технических параметров регулятора.

Ключевые слова: рисоводство, режим постоянного затопления, слой затопления, безгербицидное производство, регулятор уровня воды, автоматический контроль

Original article

**Modernization of network hydraulic structures
for herbicide-free rice cultivation**

Elena V. Degtyareva, Semyon I. Demyanov, Nikolay V. Ostrovskiy

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author: Elena V. Degtyareva, elenadegtyareva87@mail.ru

Abstract. Purpose: to develop reclamation techniques and technical means for controlling water supply to rice paddies and using the water regime to control weeds in herbicide-free rice cultivation. **Materials and methods.** A greenhouse experiment was carried out to substantiate methods for suppressing bristle grass with a layer of water. The development and adaptation of automation tools to network hydraulic structure for water regime management in herbicide-free technologies has been carried out. In the course of the research, the values of the rice paddy flooding layer sufficient for the oppression and complete suppression of bristle grass were determined. The duration of maintenance of a high flooding layer sufficient for the effective suppression of bristle grass under various temperature conditions was set. To ensure the guaranteed provision of the recommended water regimes, research and adaptation of the innovative design of the level controller to the operating conditions at the production experimental site were carried out. **Results.** To suppress bristle grass in the regime of constant flooding of the rice field, it is required to maintain a water layer of 20–22 cm for 15 days from the moment the flooding of the checks begins. After a visual assessment of the bristle grass condition and a conclusion about their non-viability, the rice field flood layer should be gradually reduced to 15 cm and then the exact regulation of the flood level should be ensured using hydraulic automatics according to the rice vegetation phases. A design has been developed and research of an electric microcontroller control circuit for a canal downstream level controller has been carried out. **Conclusions.** As a result of the research, recommendations were given for managing the flooded layer of the rice field to suppress the bristle grass effectively when cultivating rice in the constant flooding mode. An innovative canal downstream level controller adapted to the design of network hydraulic structures has been proposed and studied. The technique of hydraulic calculation of technical parameters of the controller is shown.

Keywords: rice cultivation, constant flooding regime, flood layer, herbicide-free production, water level controller, automatic control

Введение. Краснодарский край является локальным регионом России с наилучшими условиями произрастания риса. Кубанский рис по вкусовым и питательным свойствам достойно конкурирует с продукцией рисоводства известных мировых производителей и по качественным показателям превосходит импортируемый рис [1]. Рис в Краснодарском крае возделывается на высоком технологическом уровне, реализуются наработанные за долгие годы управленческие мероприятия, положительно сказывается государственная поддержка рисоводства. Следующим эволюционным витком кубанского рисоводства должен стать переход к безгербицидным технологиям. Безгербицидное производство в разы поднимет стоимость и ценность риса как конечного продукта, а рисовые производственные территории приобретут статус агроэколандшафта. Достижения такого рода гармонизированного состояния природных и производственных подсистем в системе рисоводства необходимо объединять, комбинировать и оптимизировать все известные наработки.

Материалы и методы. В настоящей работе под общим направлением на снижение применения гербицидов при борьбе с сорной растительностью объединены исследования мелиоративных приемов по подавлению просянок слоем воды и разработка решений по автоматизации ирригационной сети.

Известны отдельные исследования и рекомендации по подавлению рисовых просянок слоем воды, однако эти работы носят локальный характер и не получили широкого производственного внедрения [2]. С целью широкого производственного распространения технологии подавления просянок слоем воды на кафедре комплексных систем водоснабжения КубГАУ запланирован многолетний эксперимент с плановым

переходом от внутренней экспериментальной площадки на производственную базу. В 2021 г. первым этапом эксперимента стал опыт по подавлению просьянок слоем воды в вегетационных сосудах. Параллельно в настоящей работе разрабатывается техническое исследовательское направление, включающее создание гидроавтомата для регулирования уровня режима каналов с применением микроконтроллерной схемы управления.

Результаты. Первый этап исследований в области воздействия слоя воды на развитие просьянки проводился согласно плану в мае, июне и июле 2021 г.

Действие слоя воды на рост и развитие растений просьянок изучалось при проведении эксперимента в вегетационных сосудах. Были посажены растения (семена) просьянок в пластиковых сосудах в одинаковых условиях, но с вариативными уровнями (слоями) воды.

Слой воды в первом сосуде составил $h = 10,0$ см, во втором $h = 15,0$ см, в третьем $h = 17,5$ см, в четвертом $h = 20,0$ см, в пятом $h = 22,5$ см и в шестом сосуде $h = 25,0$ см. В каждый сосуд помещали слой почвы высотой 5 см и высевали по 30 шт. семян. В течение периода проводимого опыта осуществлялся контроль за температурным режимом в сосудах, постоянно поддерживался в каждом сосуде заданный уровень воды и после всходов контролировался рост растений. Была выполнена оценка вероятности выхода на поверхность растений в условиях вегетации в каждом из шести вегетационных сосудов с учетом вышеперечисленных факторов. Всего было проведено три вегетационных опыта. Первый опыт поставлен в период с 03.05.2021 по 30.05.2021. Второй опыт поставлен в период с 06.06.2021 по 22.06.2021. Третий опыт поставлен в период с 10.07.2021 по 31.07.2021. Вегетационные сосуды с заданным поддерживаемым согласно схеме опыта уровнем воды (H) (рисунок 1) размещались в специально обустроенном резервуаре. Задачей резервуара являлось сглаживание суточного хода температур воды в сосудах.

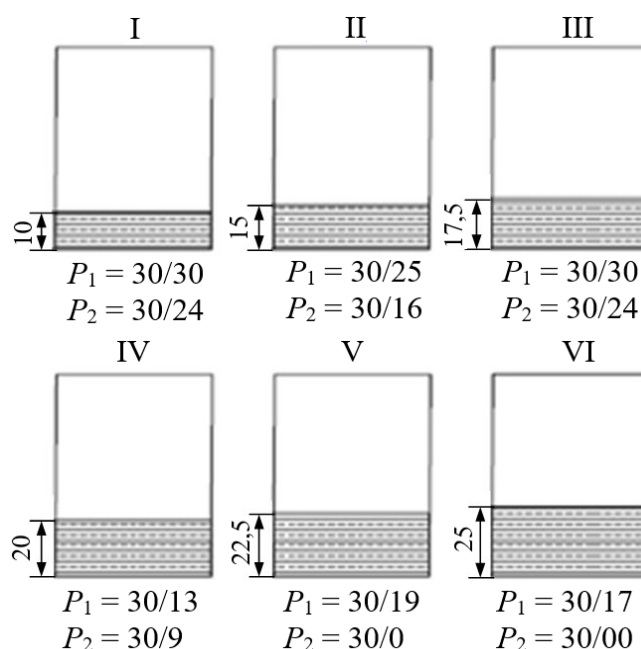


Рисунок 1 – Схема вегетационного опыта № 1 (03.05.2021 – 30.05.2021)

Figure 1 – Scheme of greenhouse experiment no. 1 (03.05.2021 – 30.05.2021)

В ходе эксперимента ежедневно фиксировались температурные характеристики водной среды и параметры развития растений просьянок. При этом фиксировались вы-

сота растений, их визуальное состояние (рисунок 2) в целях прогноза их способности к дальнейшей вегетации.



Рисунок 2 – Опыт № 1, демонстрация выхода растений на поверхность (фото Е. В. Дегтяревой)
Figure 2 – Experiment no. 1, demonstration of the plant exposure on the surface (photo by E. V. Degtyareva)

На примере первого опыта показана динамика роста и влияние уровня воды в сосуде на растения просянки. В I сосуде при $H = 0,10$ м (рисунок 1) взошли все семена просянки. Рост растения достигает 17–36 см, у всех растений хорошая корневая система. Цвет листьев зеленый.

В II сосуде при $H = 0,15$ м (рисунок 1) взошли 25 семян растения просянки. Рост растения достигает 15–34 см, у всех растений хорошая корневая система. Цвет листьев зеленый.

В III сосуде при $H = 0,175$ м (рисунок 1) взошли 19 семян растения просянки. Рост растения достигает 12–30 см, у всех растений хорошая корневая система. Цвет листьев светло-зеленый.

В IV сосуде при $H = 0,20$ м (рисунок 1) взошли 13 семян растения просянки. Рост растения достигает 5–29 см, у растений прослеживается слабая корневая система, цвет листьев светло-зеленый.

В V сосуде при $H = 0,225$ м (рисунок 1) взошли 19 семян растения просянки. Рост растения достигает 5–20 см, у растений прослеживается очень слабая корневая система, цвет листьев светло-зеленый, желтый.

В VI сосуде при $H = 0,25$ м (рисунок 1) взошли 17 семян растения просянки. Рост растения достигает 5–20 см, у растений прослеживается очень слабая корневая система, цвет листьев желтый.

В ходе фазы первого, второго, третьего опыта проведена оценка вероятности выхода на поверхность воды растений (P) в условиях вегетации в каждом из шести вегетационных сосудов с учетом вышеперечисленных факторов:

$$P = \frac{m}{n},$$

где m – число благоприятных исходов события (выходов на поверхность);

n – общее число равновозможных исходов испытания ($n = 30$).

По результатам построен совместный график характеристик (рисунок 3).

Этот график демонстрирует решение задачи исследования величины слоя за-

топления рисового чека, достаточного для угнетения и полного подавления растений просьянок.

Анализ графика вероятности выхода просьянки на поверхность показывает, что в ходе фазы первого, второго, третьего опыта рекомендуемая продолжительность угнетения просьянок при средней температуре периода подавления $t = 22$ °С составляет 15–20 сут с учетом поддержания рекомендуемого слоя затопления 22 см. При слое затопления 20–22 см при приближении к нижней границе диапазона (15 сут) необходимо проводить визуальный контроль состояния просьянок для принятия окончательного решения о сроках поддержания высокого слоя затопления рисовых чеков.

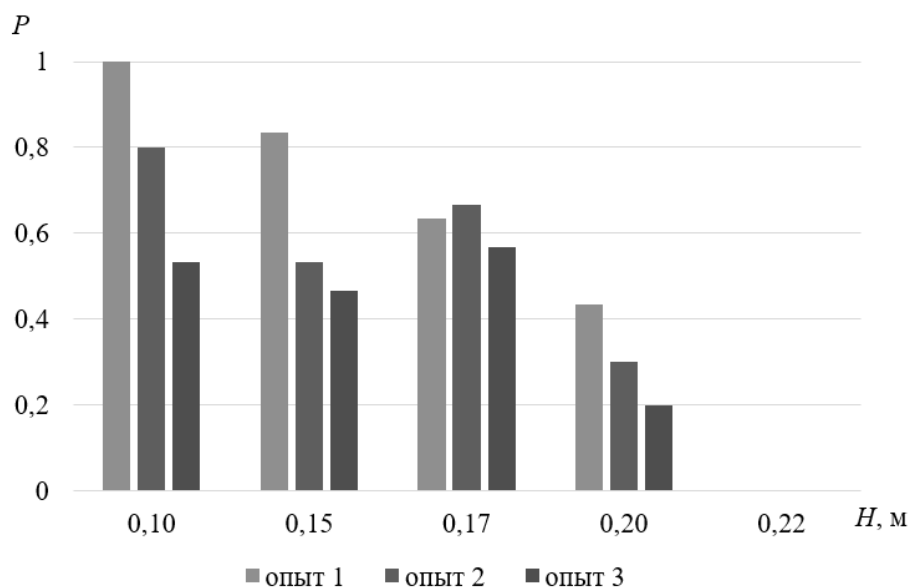


Рисунок 3 – Графики вероятности выхода просьянки на поверхность воды

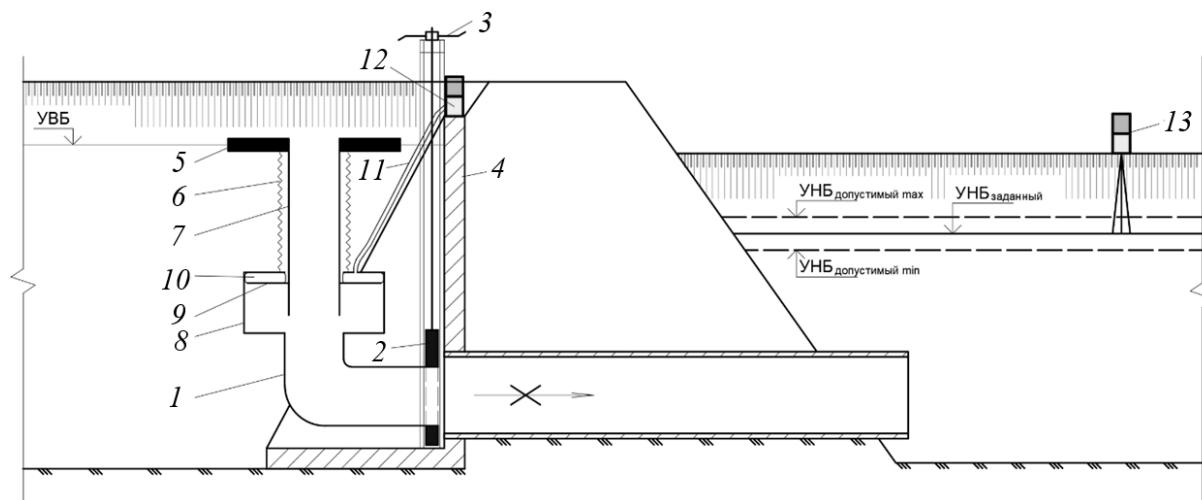
Figure 3 – Graphs of the probability of the bristle grass exposure on the water surface

Современные способы возделывания риса предусматривают точное регулирование уровня режима на рисовой системе с погрешностью регулирования в пределах ± 2 см (чек) и $\pm 2,5$ см (канал). Особенно высоки требования к поддержанию уровня при реализации безгербицидных технологий. В связи с этим особенно актуально направление совершенствования технических средств регулирования уровня режима. В рамках настоящей работы разработана инновационная конструкция канального регулятора уровня (рисунок 4) [3]. Конструкция предназначена для эксплуатации на сетевых ГТС, в частности на головных водовыпусках распределителя модуля рисовой системы Кубанская.

Регулятор функционирует как управляемый кольцевой водослив. Режим подачи воды в нижний бьеф включается по команде ультразвукового датчика уровня 13 (при понижении УНБ ниже границы допустимого диапазона поддержания). По команде датчика 13 воздушный насос под управлением контроллера наполняет эластичную емкость 10, при этом опускается силовая площадка 9 и одновременно затопливается ниже УВБ кольцевой водослив 5, что приводит к активной подаче воды через трубы 7, 1 и наполнению нижнего бьефа. При максимальном регулируемом уровне нижнего бьефа по команде контроллера камера 10 опустошается, водослив 5 всплывает и подача воды в нижний бьеф прекращается.

Несмотря на изначально установленный тренд на симплификацию регулятора уровня, результирующая конструкция представляет собой сложный технический ком-

плекс. В состав комплекса входят гидравлично-механическая часть, слаботочное контрольно-измерительное и исполнительное оборудование, программное обеспечение. Эффективная работа устройства в целом может иметь место только при условии сбалансированной работы всех элементов технического комплекса регулятора.



- 1 – труба – основа регулятора; 2 – затвор стандартного водопропускного ГТС;
3 – прислонная рама затвора; 4 – оголовок; 5 – кольцевой водослив-поплавок;
6 – гофрированная эластичная труба; 7 – направляющая труба; 8 – управляющая камера;
9 – силовая площадка; 10 – воздухонаполняемая эластичная емкость; 11 – трубка-воздуховод;
12 – воздушный насос и контроллер; 13 – датчик уровня нижнего бьефа;
УВБ – уровень верхнего бьефа; УНБ – уровень нижнего бьефа

Рисунок 4 – Схема регулятора уровня нижнего бьефа [3]

Figure 4 – Scheme of the downstream level controller [3]

В целях обеспечения системного управления механическими элементами регулятора на основе типовых электрических схем [4] разработана и испытана электрическая схема, включающая микроконтроллер, ультразвуковой сенсор, релейный блок управления исполнительным механизмом и воздушный насос (рисунок 5).

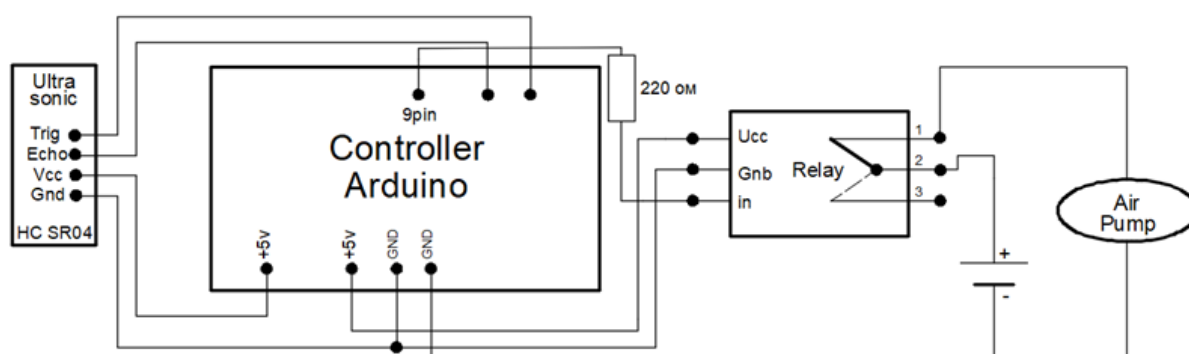


Рисунок 5 – Структурная схема управляемых элементов микроконтроллера

Figure 5 – Structural diagram of the controlled elements of the microcontroller

Электропитание микроконтроллера (5 В) и воздушного насоса (9–12 В) предусматривается от аккумуляторов постоянного тока с подзарядкой от солнечных батарей. Таким образом обеспечивается автономность электропитания и возможность эксплуатации регулятора уровня на удаленных участках оросительных систем.

В ходе исследований выполнено обоснование параметров лабораторного образ-

ца регулятора и натурального образца регулятора. Параметры лабораторного образца обоснованы из условия оценки параметров универсальных лабораторных стендов лаборатории гидромелиоративного факультета КубГАУ.

Натурный образец рассчитан из условия перспективного внедрения на участке рисового севооборота в учхозе «Кубань» КубГАУ, отделение № 3.

Обоснование параметров проведено в виде построения кривых связи $Q = f(H)$.

В основу расчетов положена гидравлическая схема работы простого трубопровода под уровень. Индивидуальные технические расчетные параметры для лабораторного образца составляют $l = 0,41$ м, $d = 0,1$ м, для натурального образца $l = 10,0$ м, $d = 42$ м. Оптимальный действующий перепад уровней на лабораторной установке составляет 0,30 м. В натуральных условиях перепад на водовыпуске находится в диапазоне 0,25–0,50 м.

Значения действующих расходов определены по зависимости:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}}, \quad (1)$$

где d – диаметр трубопровода, $d = 0,1$ м;

g – скорость свободного падения, $g = 9,81$ м/с;

H – гидравлическая высота, м;

λ – коэффициент шероховатости поверхности;

l – длина трубопровода, $l = 0,41$ м;

$\sum \zeta$ – сумма местных потерь.

В ходе расчетов для индивидуальных параметров лабораторного и натурального образцов учитывались значения числа Рейнольдса, коэффициента шероховатости поверхности λ и суммы местных потерь $\sum \zeta$ (формула (1)). Действующий напор определялся по зависимости:

$$H = \frac{V^2}{2g} \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta + 1 \right),$$

где V – скорость потока воды, м/с.

Кривая связи $Q = f(H)$ лабораторного образца регулятора уровня (рисунок 6) учитывается при настройке величин подаваемых расходов при проведении опытов на лабораторной установке. Кривая связи $Q = f(H)$ натурального образца регулятора уровня (рисунок 7) обосновывает достаточность подаваемых расходов через натуральный образец регулятора в режиме затопления и поддержания уровня на экспериментальном рисовом участке в период вегетации. Величина расхода на поддержание уровня на экспериментальном участке отделения № 3 учхоза «Кубань» КубГАУ в соответствии с орошаемой площадью 24,51 га составляет 0,025 м³/с. В период затопления при гидромодуле 5–6 л/(с·га) расход подачи составит 0,12–0,15 м³/с. Данная потребность в воде будет обеспечена натурным образцом регулятора с действующим перепадом уровней на оружии величиной до 0,22 м, при этом гарантируется точность уровня режима.

Выводы. Предложена модернизация конструкций сетевых гидротехнических рисовых систем с использованием инновационного регулятора уровня. Показана методика гидравлического расчета, позволяющая провести подбор физических параметров конструкции регулятора уровня применительно к условиям эксплуатации на действующих рисовых системах. Общим направлением модернизации является безгербицидное производство риса.

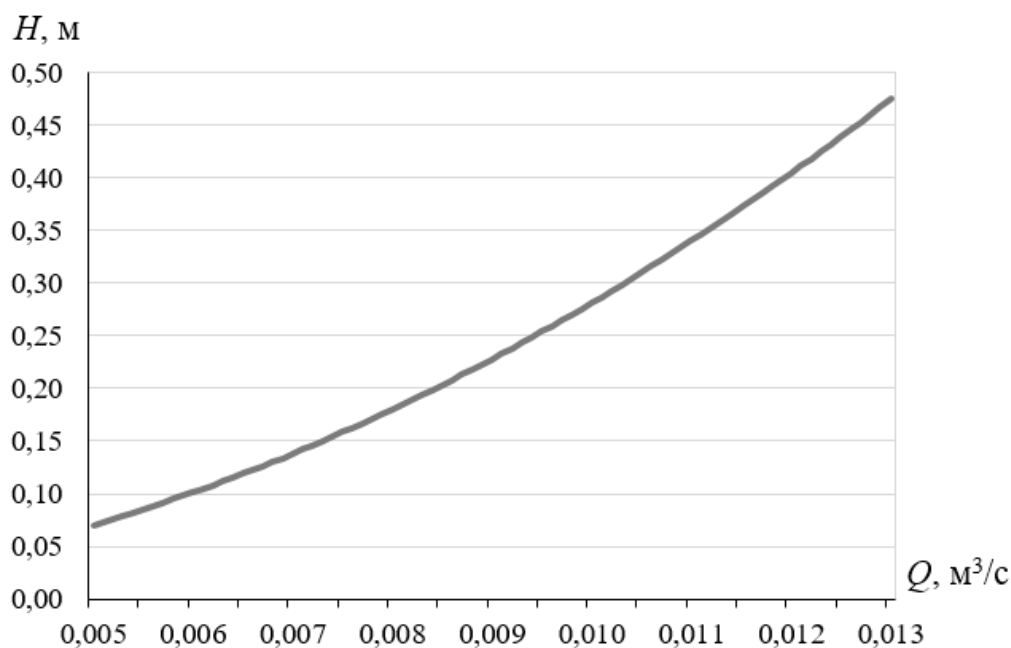


Рисунок 6 – Кривая $Q = f(H)$ лабораторного образца регулятора уровня
Figure 6 – Curve $Q = f(H)$ of a laboratory sample of a level controller

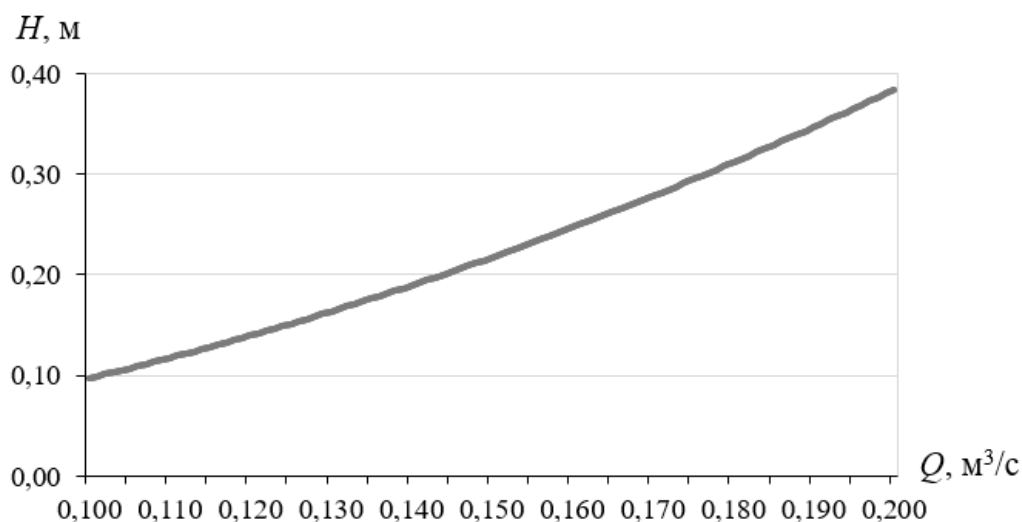


Рисунок 7 – Кривая $Q = f(H)$ натурного образца регулятора уровня
Figure 7 – Curve $Q = f(H)$ of a full-scale sample of the level controller

Список источников

1. Амелин В. П., Владимиров С. А. Эколого-ландшафтные основы устойчивого рисоводства: монография / КубГАУ. Краснодар, 2008. 447 с.

2. Развитие безгербицидного рисоводства на основе режима постоянного затопления и автоматизации полива риса / А. С. Овчинников, Н. В. Островский, В. О. Шишкин, А. А. Пахомов, В. В. Островский // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3(59). С. 14–25. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-01.

3. Решение о выдаче патента № 2021116707/21 от 07.06.2021. Регулятор уровня во-

ды нижнего бьефа / Островский Н. В., Островский В. Т., Дегтярева Е. В., Островский В. В., Демьянов С. И., Чикалов А. В., Канцур Д. А., Яндовский А. А., Зюзин Г. А., Чижевская Н. А.; заявитель и патентообладатель Куб. гос. аграр. ун-т.

4. Эффективные решения по автоматизации локализованных ирригационных систем / Н. В. Островский, В. В. Ванжа, Ю. Н. Самойлюков, М. А. Бандурин, Е. В. Дегтярева // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 102–107. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp102-107>.

References

1. Amelin V.P., Vladimirov S.A., 2008. *Ekologo-landshaftnye osnovy ustoychivogo risovodstva: monografiya* [Ecological and Landscape Fundamentals of Sustainable Rice Growing: monograph]. KubGAU, Krasnodar, 447 p. (In Russian).

2. Ovchinnikov A.S., Ostrovsky N.V., Shishkin V.O., Pakhomov A.A., Ostrovsky V.V., 2020. *Razvitiye bezgerbitsidnogo risovodstva na osnove rezhima postoyannogo zatopleniya i avtomatizatsii poliva risa* [Development of herbicide-free rice growing based on the regime of constant flooding and automation of rice irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(59), pp. 14-25, DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-01. (In Russian).

3. Ostrovskiy N.V., Ostrovskiy V.T., Degtyareva E.V., Ostrovskiy V.V., Demyanov S.I., Chikalov A.V., Kantsur D.A., Yandovsky A.A., Zyuzin G.A., Chizhevskaya N.A., 2021. *Regulyator urovnya vody nizhnego b'efa* [Downstream Level Controller]. Decision to grant a patent no. 2021116707/21 of 07.06.2021. (In Russian).

4. Ostrovsky N.V., Vanzha V.V., Samoilyukov Yu.N., Bandurin M.A., Degtyareva E.V., 2021. *Effektivnye resheniya po avtomatizatsii lokalizovannykh irrigatsionnykh sistem* [Effective solutions for automation of localized irrigation systems]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 11, pp. 102-107, <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp102-107>. (In Russian).

Информация об авторах

Н. В. Островский – доцент, доктор технических наук, elenadegtyareva87@mail.ru

Е. В. Дегтярева – старший преподаватель, elenadegtyareva87@mail.ru

С. И. Демьянов – магистр, elenadegtyareva87@mail.ru

Information about the authors

N. V. Ostrovsky – Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, elenadegtyareva87@mail.ru

E. V. Degtyareva – Senior Lecturer, elenadegtyareva87@mail.ru

S. I. Demyanov – Master, elenadegtyareva87@mail.ru

Вклад авторов: Елена В. Дегтярева провела опыты и обработала данные о воздействии слоя воды на развитие просянки согласно плану 2021 г., проанализировала результаты, участвовала в написании статьи. Семен И. Демьянов обработал полевые данные для обоснования средств гидроавтоматики, выполнил гидравлические расчеты, участвовал в написании статьи. Николай В. Островский осуществил общее руководство, редактирование материалов исследований, разработку средств и элементов управления гидроавтоматикой, участвовал в написании статьи.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Authors contribution: Elena V. Degtyareva conducted and processed data on water layer impact on the bristle grass development according to the 2021 plan, analyzed the results, partic-

ipated in the writing of the article. Semyon I. Demianov processed field data to justify the means of hydroautomation, performed hydraulic calculations, participated in the writing of the article. Nikolay V. Ostrovsky conducted general guidance and research materials editing, development of tools and elements of control of hydroautomatics, participated in the writing of the article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 08.06.2022; принята к публикации 10.06.2022.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 08.06.2022; accepted for publication 10.06.2022.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

RECLAMATION AND LAND CONSERVATION

Научная статья

УДК 631.67:635.64

Дифференцированные режимы орошения при возделывании томатов в открытом грунте

Александр Николаевич Бабичев¹, Александр Александрович Рубцов²,
Алексей Александрович Бабенко³

^{1, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

²Бирючукская овощная селекционная опытная станция – филиал Федерального
научного центра овощеводства, Новочеркасск, Российская Федерация

¹BabichevAN2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²gnubosos@mail.ru

³al.al.al.1980@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7582-4907>

Аннотация. Цель: изучение влияния дифференцированного орошения на урожайность томата сорта Красный банкир при использовании капельного способа полива. **Материалы и методы.** Опыт был проведен в условиях открытого грунта на полях Бирючукской овощной селекционной опытной станции – филиала Федерального научного центра овощеводства в г. Новочеркасске Ростовской области в 2020–2021 гг. Изучались различные варианты поддержания предполивного порога влажности почвы в слое 40 см. Почва опытного участка представлена обыкновенным карбонатным черноземом среднemosным легкосуглинистым, содержание гумуса в пахотном слое 4,2–4,3 %, обеспеченность почвы азотом 53–69 мг/кг, подвижным фосфором 31–46 мг/кг, обменным калием 310–390 мг/кг. Реакция почвенного раствора слабощелочная. Предшественник – лук репчатый, агротехника культуры применялась согласно зональным системам земледелия. Удобрения вносились традиционным способом перед посевом и путем фертигации с помощью капельного орошения. Вместе с традиционными удобрениями использовались водорастворимые удобрения Solar АО «ОХК «Уралхим». Применялся рассадный способ выращивания культуры с высадкой рассады во второй декаде мая по однострочной схеме 60 × 30 см. **Результаты.** Анализ результатов показал, что максимальная урожайность томата сорта Красный банкир в среднем за 2 года составила 65,8 т/га и была получена при дифференцированном режиме орошения 70–80–70 % НВ, это выше контрольного варианта на 26,5 %. В других вариантах с дифференцированными режимами орошения урожайность также была в среднем выше контроля на 8,1 и 15,6 %. **Выводы.** Применение различных вариантов дифференцированного орошения при возделывании томатов в открытом грунте с использованием капельного способа полива позволяет повысить урожайность данной культуры от 8,1 до 26,5 %. При различных вариантах дифференцированного орошения урожайность в зависимости от влагообеспеченности варьирует от 50,2 до 67,5 т/га, коэффициент водопотребления при этом изменяется от 105,4 до 123,5 м³/т.

Ключевые слова: томаты, дифференцированное орошение, капельный полив, оросительная норма, урожайность, суммарное водопотребление, коэффициент водопотребления

Original article

Differentiated irrigation regimes in cultivating tomatoes in open ground

Aleksandr N. Babichev¹, Aleksandr A. Rubtsov², Alexey A. Babenko³

^{1,3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

²Biryuchekutskaya Vegetable Breeding Experimental Station – branch of the Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Novocherkassk, Russian Federation

¹BabichevAN2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

²gnubosos@mail.ru

³al.al.1980@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7582-4907>

Abstract. Purpose: to study the impact of differentiated irrigation on the Red Banker tomato variety yield using the drip irrigation method. **Materials and methods.** The experiment was carried out in open ground conditions on the fields of Biryuchekutskaya Vegetable Breeding Experimental Station, a branch of the Federal Scientific Center for Vegetable Growing in Novocherkassk, Rostov Region, in 2020–2021. Various options for maintaining the pre-irrigation soil moisture over fall in the 40 cm layer were studied. The soil of the experimental plot is represented by ordinary calcareous medium-thick, light loamy chernozem, the humus content in the arable layer is 4.2–4.3 %, soil supply with nitrogen is 53–69 mg/kg, with mobile phosphorus is 31–46 mg/kg, with exchangeable potassium is 310–390 mg/kg. The reaction of the soil solution is slightly alkaline. The predecessor is onion, the crop agricultural technology was used according to the zonal farming systems. Fertilizers were applied in the traditional way before sowing and by fertigation using drip irrigation. Together with traditional fertilizers, water-soluble fertilizers Solar Ltd “Uralchim” UCC were used. The seedling method of crop growing was used with planting seedlings in the second decade of May according to a single-line scheme 60 × 30 cm. **Results.** The analysis of the results showed that the maximum yield of Red Banker tomato variety averaged 65.8 t/ha over 2 years and was obtained with a differentiated irrigation regime of 70–80–70 % HB, which is higher than the control variant by 26.5 %. In other variants with differentiated irrigation regimes, the yield was also on average higher than the control by 8.1 and 15.6 %. **Conclusions.** The use of various options for differentiated irrigation in cultivating tomatoes in open ground using the drip irrigation method can increase the yield of this crop from 8.1 to 26.5 %. With various options for differentiated irrigation, the yield varies from 50.2 to 67.5 t/ha depending on moisture supply, while the water consumption coefficient varies from 105.4 to 123.5 m³/t.

Keywords: tomatoes, differential irrigation, drip irrigation, irrigation rate, yield, total water consumption, water consumption coefficient

Введение. Плоды томата содержат большое количество различных витаминов, органических кислот, минеральных солей и обладают высокими вкусовыми и пищевыми качествами. Они широко потребляются в питании людей в свежем и консервированном виде. Согласно данным Института питания Академии медицинских наук России, рекомендуемая среднегодовая норма потребления томата – 10 кг [1–3].

Ростовская область за счет благоприятных почвенно-климатических условий является одним из лидеров в РФ по количеству производимых овощей. Значительная

часть выращиваемых овощных культур производится в Приазовской зоне, объединяющей в себе восемь районов области. Характерной почвой для данного региона является чернозем обыкновенный глинистого гранулометрического состава. Климат зоны континентальный, умеренно жаркий, сумма активных температур 3190–3380 °С. Средне-многолетняя сумма осадков за год – 440–510 мм, из них за вегетационный период – 260–310 мм, испаряемость за год 840 мм [4].

В нашей стране за последние годы наблюдался рост производства томатов, но из-за пандемии, вызванной коронавирусной инфекцией COVID-19, произошел упадок спроса на скоропортящиеся овощи (томаты, огурцы и зелень) на 30 %. Введенные из-за пандемии коронавируса ограничения вызвали нехватку сезонных рабочих, нарушение работы логистики, снижение мест сбыта произведенной продукции [5, 6]. Все указанные выше факторы совместно с ростом цен на энергоносители, агрохимию заставляют аграриев искать более экономически выгодные способы возделывания овощной продукции.

Главным лимитирующим фактором при возделывании сельскохозяйственных культур в регионе является дефицит водообеспеченности. В связи с этим производство овощной продукции в Ростовской области и получение стабильных урожаев высокого качества возможно только в условиях орошения [7]. Условия рынка с учетом затрат на материалы и энергоресурсы вынуждают сельхозпроизводителей все чаще использовать в качестве способа полива капельное орошение [8–10].

Целью исследования являлось изучение влияния дифференцированного режима орошения с использованием капельного способа полива на урожайность томатов в открытом грунте.

Материалы и методы. Исследования проводились на полях Бирючукской овощной селекционной опытной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», расположенной в г. Новочеркасске Ростовской области, в 2020–2021 гг. Почва опытного участка представлена обыкновенным карбонатным черноземом среднемощным, легкосуглинистым. Содержание гумуса в пахотном слое 4,2–4,3 %, обеспеченность почвы азотом 53–69 мг/кг, подвижным фосфором 31–46 мг/кг, обменным калием 310–390 мг/кг. Реакция почвенного раствора слабощелочная. Наименьшая влагоемкость (НВ) почвы в слое 0,40 м составляет 30,3 % от массы сухой почвы, плотность сложения почвы в этом же слое – 1,28 т/м³. Агрохимические и водно-физические свойства почвы позволяют выращивать овощные культуры, и томаты в т. ч.

В опыте изучалось влияние дифференцированного режима орошения на урожайность томата районированного сорта Красный банкир при капельном орошении. Томаты выращивались в открытом грунте, предшественником являлся лук репчатый. Основная обработка почвы состояла из лущения на глубину 7–8 см с заделкой растительных остатков сразу после уборки предшественника, глубокой вспашки осенью на глубину 25–30 см и весеннего боронования с предпосевной культивацией на глубину 5–8 см. Система удобрений включала внесение под осеннюю вспашку полупрепревшего навоза 45–50 т/га, 2/3 дозы фосфорных, 1/2 дозы калийных удобрений и 2/3 дозы азотных удобрений под предпосевную культивацию. Недостающие элементы питания вносились в виде подкормок водорастворимыми удобрениями марки Solar АО «ОХК «Уралхим». Доза вносимых минеральных удобрений во всех вариантах опыта составляла N₁₂₀P₉₀K₆₀ [2, 3, 11].

Опыт проводился в трехкратной повторности. Применялся рассадный способ выращивания культуры. Высадка рассады осуществлялась во второй декаде мая по однострочной схеме 60 × 30 см. В процессе роста и развития растений томата проводилось формирование кустов путем пасынкования. Сбор урожая осуществлялся вручную.

За время проведения опыта поддерживался уровень предполивной влажности почвы в слое 40 см дифференцированно в межфазные периоды роста и развития растений томата – в период от высадки рассады до образования плодов, в период от образования плодов до технической спелости, в период от технической спелости до уборки.

Схемой опыта предусматривались следующие режимы дифференцированного орошения: 1) 60–80–60 % НВ; 2) 70–80–70 % НВ; 3) 60–80–70 % НВ; 4) 70–70–70 % (контроль).

Для капельного орошения применялось оборудование фирмы Eurodrip с расстояниями между капельницами 15 см и расходом 2,0 л/ч.

Для математической обработки полученных результатов использовались общепринятые методики с применением персонального компьютера [12].

Результаты и обсуждения. Значительное различие в количестве выпавших осадков за вегетационный период культуры в годы исследований отразилось на поливных режимах изучаемых вариантов. В очень засушливом 2020 г. оросительная норма при различных режимах орошения превышала оросительную норму влажного по степени обеспеченности осадков 2021 г. почти на 40 %.

Для поддержания дифференцированного режима орошения в 2020 г. в вариантах опыта 60–80–60 % НВ, 60–80–70 % НВ было проведено 9 и 10 поливов оросительными нормами 4400 и 4560 м³/га, а в 2021 г. в этих вариантах было проведено восемь и девять поливов оросительными нормами 3100 и 3270 м³/га соответственно.

Наибольшая урожайность 67,5 т/га была получена в 2021 г. в варианте с поддержанием предполивного порога влажности почвы в слое 40 см по периодам вегетации 70–80–70 % НВ, в нем для поддержания заданных параметров было проведено 13 поливов оросительной нормой 3430 м³/га. Наименьшая урожайность 50,2 т/га была получена в 2020 г. в контрольном варианте, в котором число поливов составило восемь, а оросительная норма – 4240 м³/га (таблица 1).

Таблица 1 – Суммарное водопотребление и коэффициент водопотребления томата, 2020–2021 гг.

Table 1 – Total water consumption and water consumption coefficient of tomato, 2020–2021

Вариант опыта	Оросительная норма, м ³ /га	Из почвы, м ³ /га	Осадки, м ³ /га	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т
1	2	3	4	5	6	7
2020 г.						
60–80–60 % НВ	4400	315	1870	6585	54,3	121,3
70–80–70 % НВ	4730	183	1870	6783	64,1	105,8
60–80–70 % НВ	4560	142	1870	6572	57,8	113,7
70–70–70 % НВ (контроль)	4240	159	1870	6269	50,2	124,9
2021 г.						
60–80–60 % НВ	3100	434	3310	6844	58,1	117,8
70–80–70 % НВ	3430	342	3310	7082	67,5	104,9
60–80–70 % НВ	3270	271	3310	6852	62,3	110,0
70–70–70 % НВ (контроль)	2940	318	3310	6568	53,8	122,1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Среднее						
60–80–60 % НВ	3750	370	2590	6710	56,2	119,4
70–80–70 % НВ	4080	260	2590	6930	65,8	105,3
60–80–70 % НВ	3915	205	2590	6710	60,1	111,6
70–70–70 % НВ (контроль)	3590	235	2590	6415	52,0	123,4
НСР ₀₅ , т/га					4,96	

Анализ результатов показал, что максимальная урожайность томата сорта Красный банкир в среднем за 2 года была получена при дифференцированном режиме орошения 70–80–70 % НВ, она превышала урожайность контрольного варианта на 27 %. В вариантах с дифференцированными режимами орошения 60–80–60 % НВ и 60–80–70 % НВ урожайность также была в среднем выше контроля на 8 и 15 %, но на 19 и 12 % ниже варианта с максимальной урожайностью соответственно.

В среднем за 2 года наименьшее значение суммарного водопотребления томата наблюдалось в варианте с поддержанием предполивного порога влажности почвы 70–70–70 % НВ – 6415 м³/га, а наибольший расход влаги растениями томата 6930 м³/га наблюдался в варианте 70–80–70 % НВ. Наиболее высокий коэффициент водопотребления 123,4 м³/т отмечен в варианте 70–70–70 %, а наименьший 105,3 м³/т в варианте 70–80–70 % НВ.

Зависимость между суммарным водопотреблением, оросительной нормой, коэффициентом водопотребления и урожайностью томата отражена на рисунках 1, 2.

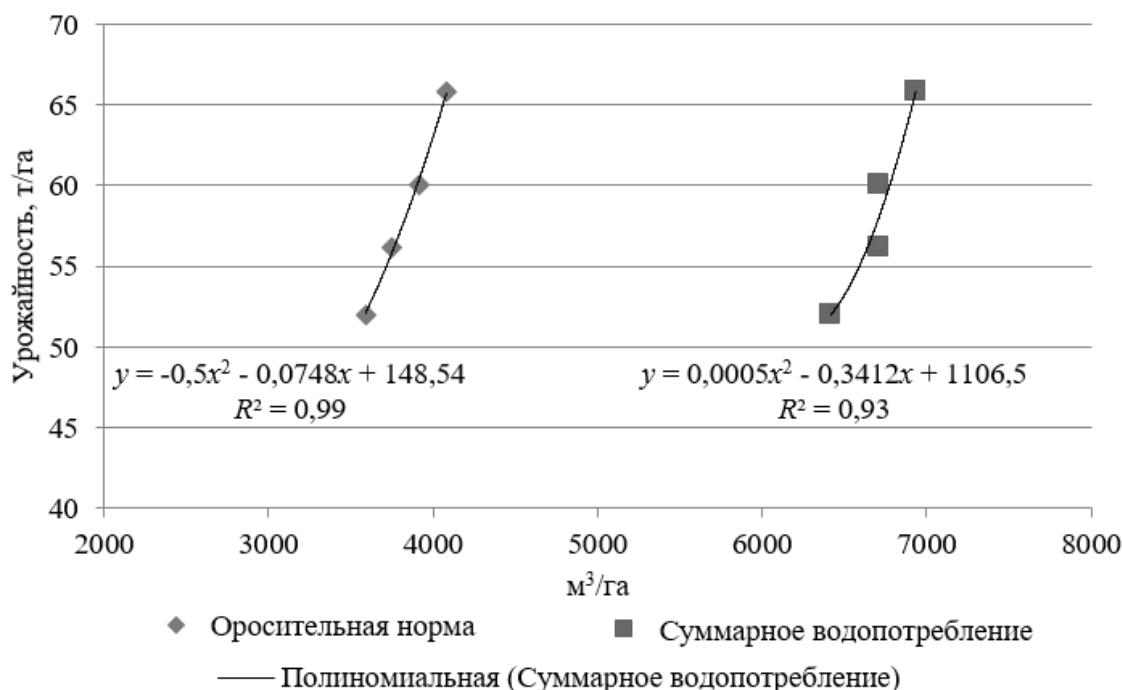


Рисунок 1 – Влияние оросительной нормы и суммарного водопотребления на урожайность томатов

Figure 1 – Influence of irrigation rate and total water consumption on tomato yield

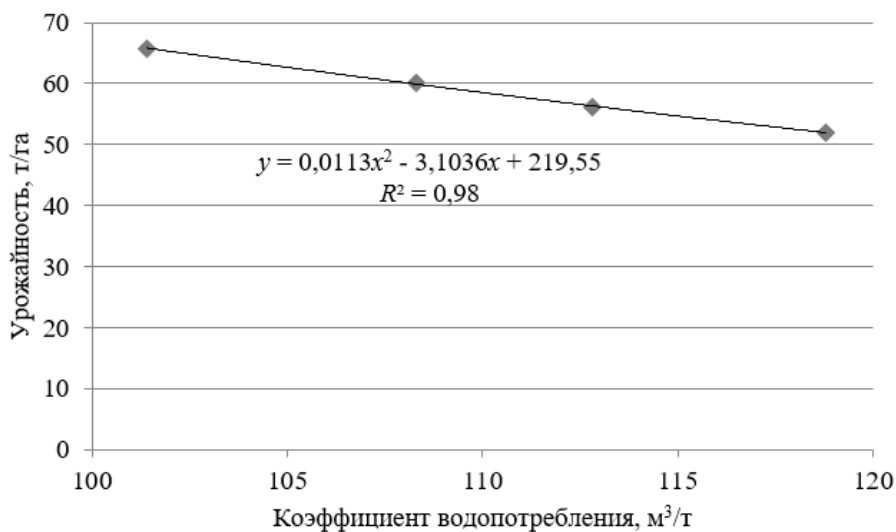


Рисунок 2 – Зависимость между коэффициентом водопотребления и урожайностью томатов

Figure 2 – The relationship between the water consumption coefficient and tomato yield

Выводы. Применение различных вариантов дифференцированного орошения при возделывании томатов в открытом грунте с использованием капельного способа полива позволяет повысить урожайность данной культуры до 26,5 %. При различных вариантах дифференцированного орошения урожайность в зависимости от условий года вегетации изменяется от 50,2 до 67,5 т/га, коэффициент водопотребления при этом снижается на 10,5–17,4 м³/т.

Список источников

1. Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания [Электронный ресурс]: Приказ М-ва здравоохранения Рос. Федерации от 19 авг. 2016 г. № 614. Доступ из справ. правовой системы «Гарант».

2. Технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошении: науч.-практ. изд. / А. Н. Бабичев, А. А. Бабенко, С. М. Васильев, Р. С. Масный. М.: Росинформагротех, 2021. 200 с.

3. Рекомендации по технологии возделывания овощных культур в открытом и закрытом грунтах для условий Ростовской области / Р. С. Масный, С. М. Васильев, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко, Д. П. Сидаренко, А. А. Бабенко. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2021. 56 с.

4. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области / Ю. П. Хрусталеv, В. Н. Василенко, И. В. Свисюк, В. Д. Панов, Ю. А. Ларионов. Ростов н/Д.: Бат. кн. изд-во, 2002. 183 с.

5. Перспектива развития рынка томатов в России [Электронный ресурс]. URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/vegetables/perspektiva-razvitiya-rynka-tomatov-v-rossii.html> (дата обращения: 18.01.2022).

6. Косорукова С. Рынок овощей в России. Чем можно компенсировать снижение внутреннего потребления в 2020 // AGROXXI [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskhozjaistvennyh-tovarov/rynok-ovoschei-v-rossii-chem-mozhno-kompensirovat-snizhenie-vnutrennego-potrebleniya-v-2020.html> (дата обращения: 18.01.2022).

7. Бабичев А. Н., Васильев С. М. Ресурсосберегающие режимы орошения сель-

скохозйственных культур в условиях аридной зоны юга России // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 2(82). С. 5–10.

8. Бабичев А. Н., Монастырский В. А., Ольгаренко В. Иг. Способ совершенствования элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4(72). С. 48–53.

9. Штанько А. С., Шкура В. Н. Методика определения геометрических параметров зоны увлажнения почвенного пространства при капельном поливе // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 3(71). С. 196–202.

10. Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Роль точного земледелия в программном выращивании урожая сельскохозяйственных культур // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 2(66). С. 50–53.

11. Монастырский В. А., Бабичев А. Н., Ольгаренко В. Иг. Алгоритм расчета доз внесения удобрений в прецизионном земледелии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2019. № 1(33). С. 26–38. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=985> (дата обращения: 18.01.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38.

12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 4-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

References

1. *Ob utverzhdenii rekomendatsiy po ratsional'nyim normam potrebleniya pishchevykh produktov, otvechayushchikh sovremennym trebovaniyam zdorovogo pitaniya* [On approval of recommendations on rational norms for consumption of food products that meet modern requirements for a healthy diet]. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of 19 August, 2016, no. 614. (In Russian).

2. Babichev A.N., Babenko A.A., Vasiliev S.M., Masny R.S., 2021. *Tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na oroshenii: nauch.-prakt. izd.* [Technologies of Crop Cultivation on Irrigation: scientific-practical ed.]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 200 p. (In Russian).

3. Masny R.S., Vasiliev S.M., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.Ig., Sidarenko D.P., Babenko A.A., 2021. *Rekomendatsii po tekhnologii vozdeleyvaniya ovoshchnykh kul'tur v otkrytom i zakrytom gruntakh dlya usloviy Rostovskoy oblasti* [Recommendations on the Technology of Vegetable Cultivation in Open and Closed Ground for Conditions of Rostov Region]. Novocheerkassk, RosNIIPM, 56 p. (In Russian).

4. Khrustalev Yu.P., Vasilenko V.N., Svisyuk I.V., Panov V.D., Larionov Yu.A., 2002. *Klimat i agroklimaticheskie resursy Rostovskoy oblasti* [Climate and Agro-Climatic Resources of Rostov Region]. Rostov-on-Don, Bataysk book publishing house, 183 p. (In Russian).

5. *Perspektiva razvitiya rynka tomatov v Rossii* [Prospects for developing the tomato market in Russia], available: <https://agrovesti.net/lib/industries/vegetables/perspektiva-razvitiya-rynka-tomatov-v-rossii.html> [accessed 18.01.2021]. (In Russian).

6. Kosorukova S. *Rynok ovoshchey v Rossii. Chem mozjno kompensirovat' snizhenie vnutrennego potrebleniya v 2020* [Vegetable market in Russia. How can the decline in domestic consumption be compensated for in 2020]. AGROXXI, available: <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskohozyajstvennyh-tovarov/rynok-ovoschei-v-rossii-chem-mozhno-kompensirovat-snizhenie-vnutrennego-potrebleniya-v-2020.html> [accessed 18.01.2021]. (In Russian).

7. Babichev A.N., Vasiliev S.M., 2021. *Resursosberegayushchie rezhimy orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh aridnoy zony yuga Rossii* [Resource-saving regimes for agricultural crops irrigation in the arid zone of southern Russia]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(82), pp. 5-10. (In Russian).

8. Babichev A.N., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.Ig., 2018. *Sposob sovershenstvovaniya elementov tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [A method for improving the elements of crop cultivation technology]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 4(72), pp. 48-53. (In Russian).

9. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2018. *Metodika opredeleniya geometricheskikh parametrov zony uvlazhneniya pochvennogo prostranstva pri kapel'nom polive* [A method for determining the geometric parameters of soil space moisture zone during drip irrigation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(71), pp. 196-202. (In Russian).

10. Babichev A.N., Monastyrsky V.A., 2017. *Rol' tochnogo zemledeliya v programmirovannom vyrashchivanii urozhaya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [The role of precision farming in the programmed cultivation of agricultural crops]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(66), pp. 50-53. (In Russian).

11. Monastyrsky V.A., Babichev A.N., Olgarenko V.Ig., 2019. [Algorithm for calculating the doses of fertilizer application in precision agriculture]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(33), pp. 26-38, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=985> [accessed 18.01.2021], DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38. (In Russian).

12. Dospekhov B.A., 1979. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of Field Experience (with the Basics of Statistical Processing of Research Results)]. 4th ed., rev., Moscow, Kolos Publ., 416 p. (In Russian).

Информация об авторах

А. Н. Бабичев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук;

А. А. Рубцов – руководитель, кандидат сельскохозяйственных наук;

А. А. Бабенко – младший научный сотрудник.

Information about the authors

A. N. Babichev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences;

A. A. Rubtsov – Director, Candidate of Agricultural Sciences;

A. A. Babenko – Junior Researcher.

Вклад авторов: Александр Н. Бабичев проанализировал результаты, участвовал в написании статьи. Александр А. Рубцов собрал полевые данные. Алексей А. Бабенко обработал полевые данные, обработал и проанализировал климатические данные, написал статью.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Author contributions: Alexander N. Babichev analyzed the results and participated in writing the article. Alexander A. Rubtsov collected field data. Alexey A. Babenko processed field data, processed and analyzed climate data and wrote an article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 15.03.2022; одобрена после рецензирования 23.03.2022; принята к публикации 07.04.2022.

The article was submitted 15.03.2022; approved after reviewing 23.03.2022; accepted for publication 07.04.2022.

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ RECLAMATION ECONOMICS

Обзорная статья
УДК 338.43:633.34

Обоснование экономической эффективности мероприятий при внедрении элементов усовершенствованной технологии возделывания сои на орошаемых землях

Георгий Трифионович Балакай¹, Лидия Михайловна Докучаева²,
Рита Евгеньевна Юркова³

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

²dokuchaeva_lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4831-7640>

³rita6161@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8275-5834>

Аннотация. **Цель:** обоснование экономической эффективности мероприятий при внедрении элементов усовершенствованной технологии возделывания сои на орошаемых землях. **Обсуждение.** Для широкого внедрения в производство тех или иных мероприятий по повышению рентабельности возделывания сои на орошении необходимо аргументировать экономическую эффективность этих мероприятий. Существует ряд методик, разработанных различными учеными из НИИ и вузов России. На их основе рассчитывается экономический эффект от внедрения технологии (или элемента технологии) возделывания сои по фактическим данным, полученным в конкретном сельхозпредприятии. Так, согласно приведенным расчетам, экономический эффект от внедрения усовершенствованных элементов технологии возделывания сои на орошаемых землях составил в среднем на 1 га 85,9 тыс. руб., от внедрения технологии возделывания сои на семена на орошаемых землях – 109,9 тыс. руб./га. **Выводы.** Внедрение отдельных усовершенствованных элементов технологии возделывания сои может давать не такой высокий эффект, как внедрение нескольких элементов технологии. Реальный высокий экономический эффект дает внедрение нескольких элементов в общем комплексе технологического процесса возделывания сои, так как они все взаимосвязаны и влияют на рост, развитие и урожайность сои и других культур.

Ключевые слова: экономическая эффективность, орошение, технологии, элементы технологии, мероприятия, соя, доход, рентабельность

Review article

Justification of the economic efficiency of measures when introducing the elements of improved technology of soybean cultivation on irrigated land

Georgiy T. Balakay¹, Lidiya M. Dokuchayeva², Rita Ye. Yurkova³

^{1, 2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

²dokuchaeva_lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4831-7640>

³rita6161@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8275-5834>

Abstract. Purpose: to substantiate the economic efficiency of measures when introducing elements of the improved soybean cultivation technology on irrigated lands. **Discussion.** For the widespread introduction into production of certain measures to increase the profitability of irrigated soybean cultivation, it is necessary to argue the economic efficiency of these measures. There are a number of methods developed by various scientists from research institutes and universities in Russia. On their basis, the economic impact of the technology (or element of technology) of soybean cultivation is calculated according to the actual data obtained in a particular agricultural enterprise. Thus, according to the above calculations, the economic effect from the introduction of improved elements of soybean cultivation technology on irrigated lands amounted to an average of 85.9 thousand rubles per 1 ha, from the introduction of soybean cultivation technology for seeds on irrigated lands – 109.9 thousand rub/ha. **Conclusions.** The introduction of separate improved elements of soybean cultivation technology may not give such a high effect as the introduction of several elements of technology. A real high economic effect is provided by the introduction of several elements in the general complex of the technological process of soybean cultivation, since they are all interconnected and affect the growth, development and yield of soybeans and other crops.

Keywords: economic efficiency, irrigation, technologies, elements of technology, activities, soybeans, income, profitability

Введение. Обоснование эффективности мероприятий при внедрении усовершенствованных элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях, разработанных в результате научно-исследовательских работ, является одним из рычагов повышения рентабельности производства сои и убеждения сельхозтоваропроизводителей в необходимости их широкого внедрения в производство. Технико-экономическое обоснование эффективности внедряемых мероприятий проводится на основании полевых исследований и производственной проверки или при необходимости прогноза состояния и перспектив увеличения валового производства сои на основании экспертной оценки эффективности предлагаемых мероприятий.

В настоящее время существует ряд методик определения экономической эффективности внедрения результатов научно-исследовательских работ, разработанных различными учеными из НИИ и вузов России [1–10].

Цель исследований – обоснование эффективности мероприятий при внедрении усовершенствованных элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях.

Обсуждение. В литературных источниках, касающихся определения экономической эффективности, основным показателем эффективности предлагаемых мероприятий является доход или рентабельность производства продукции на орошаемых землях.

Экономический эффект от внедрения технологии возделывания сои ($\mathcal{E}_{\text{экон}}$) рассчитывается по фактическим данным, полученным в конкретном сельхозпредприятии, например, по известной формуле (Т. С. Печенина, 2014) [1]:

$$\mathcal{E}_{\text{экон}} = УЦ - З = Д_{\text{ч}},$$

где $У$ – урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га;

$Ц$ – цена реализаций 1 ц продукции, руб.;

$З$ – общехозяйственные затраты на возделывание и уборку сельскохозяйственных культур, руб./га;

$Д_{\text{ч}}$ – чистый доход, руб./га.

Общехозяйственные затраты включают затраты прямые (на приобретение семян, удобрений, пестицидов, регуляторов и стимуляторов роста и др.), затраты на проведение технологического процесса возделывания культуры (содержание АУП, амортиза-

ция и текущий ремонт мелиоративной сети, зернохранилищ, зданий и сооружений общехозяйственного назначения, выплаты по кредитам и пр.).

Для внедрения разрабатываемого усовершенствованного технологического процесса возделывания сои не требуется приобретение какой-либо специальной сельскохозяйственной или мелиоративной техники и оборудования. Для выполнения работ используется имеющаяся в сельхозпредприятии техника общего назначения (трактора, сеялки, плуги, поливная техника, культиваторы и пр.) и оборудование (устройства для очистки семян, протравливатели семян, сушилки, транспортеры и пр.).

Технологический процесс возделывания и использование конкретной техники по видам работ, их производительность и затраты на ее эксплуатацию отражаются в технологических картах возделывания сои и других культур через отчисления на амортизацию и текущий ремонт. В связи с этим не требуется дублирования и ведения отдельного учета затрат на эксплуатацию техники при возделывании сои.

Не требуется также ведение отдельного учета затрат на эксплуатацию поливной техники, так как учет затрат на содержание и эксплуатацию поливной сети, отчислений амортизационных и на текущий ремонт ведется в рамках общехозяйственных затрат, а затраты на приобретение и эксплуатацию поливной техники отображены в технологической карте через отчисления на амортизацию и текущий ремонт, затраты на ГСМ или электроэнергию, заработную плату с начислениями.

Для определения эффективности мероприятий по внедрению усовершенствованных элементов технологии возделывания сои предлагается использовать положения Методики расчета экономической эффективности от применения нормативно-методической документации в области мелиорации бюджетными учреждениями, подведомственными Минсельхозу России, проектными, научными и образовательными учреждениями (на примере Южного федерального округа), разработанной в ФГБНУ «РосНИИПМ» в 2019 г. по государственному заданию Минсельхоза России на 2019 г., тема 2.1.5.2. Данная методика рассмотрена и одобрена на заседании секции мелиорации НТС Минсельхоза России (протокол от 23.12.2019 № 26) и рекомендована для использования в ФГБУ, подведомственных Демелиорации Минсельхоза России (далее – Методика) [11].

В соответствии с Методикой экономический эффект \mathcal{E}_D , полученный в виде дохода от продажи продукции, произведенной в результате внедрения комплекса новых или усовершенствованных элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур (на примере сои), определяется по формуле [11]:

$$\mathcal{E}_D = [(B_2 - Z_2) - (B_1 - Z_1)] \cdot S,$$

где B_1 и B_2 – стоимость произведенной продукции в базовом варианте и новом варианте в рыночных ценах на год внедрения, руб./га;

Z_1 и Z_2 – затраты на возделывание сельскохозяйственной культуры соответственно до и после внедрения новой либо усовершенствованной технологии, руб./га;

S – площадь, с которой была собрана рассматриваемая сельскохозяйственная продукция, га.

Для примера представим расчет экономического эффекта от внедрения усовершенствованной технологии возделывания сои при орошении (элементы технологии: новые сорта, способы посева и нормы высева новых сортов сои, расчетные нормы удобрений, регуляторы роста и новые штаммы ризоторфина) в ООО «Агропредприятие «Бессергеновское» в 2021 г. из расчета на 1 га.

Затраты на возделывание сои рассчитываются по фактическим данным 2020 г. В расчетах экономического эффекта применена цена на сою 50 тыс. руб./т (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет фактического экономического эффекта от внедрения усовершенствованной технологии возделывания сои на орошаемых землях ООО «Агропредприятие «Бессергеновское»

Table 1 – Calculation of the actual economic effect from implementation of the improved technology of soybean cultivation on irrigated lands LLC “Agricultural enterprise “Bessergenevskoe”

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Базовый вариант	Новый вариант	$\pm\Delta$, новый – базовый вариант
Площадь внедрения из расчета на 1 га	S	га	1	1	–
Урожайность:					
- базовый вариант	$У_1$	т/га	1,7	–	–
- новый вариант	$У_2$	т/га	–	3,5	+1,8
Затраты на возделывание сои:					
- базовый вариант	$З_1$	тыс. руб./га	38,7	–	–
- новый вариант	$З_2$	тыс. руб./га	–	42,8	+4,09
Стоимость валовой продукции:					
- базовый вариант	B_1	тыс. руб./га	85,0	–	–
- новый вариант	B_2	тыс. руб./га	–	175,0	+90,0
Себестоимость продукции:					
- базовый вариант	C_1	тыс. руб./т	22,76	–	–
- новый вариант	C_2	тыс. руб./т	–	12,23	+10,53
Доход:					
- базовый вариант	D_1	тыс. руб./га	46,3	–	–
- новый вариант	D_2	тыс. руб./га	–	132,2	+85,9
Экономический эффект на 1 га	$\mathcal{E}_д$	тыс. руб./га	–	85,9	–
Рентабельность:					
- базовый вариант	P_1	%	119,6	–	–
- новый вариант	P_2	%	–	210,0	+90,46

Расчет экономического эффекта производится по формуле:

$$\mathcal{E}_д = [(175 - 42,8) - (85 - 38,7)] \cdot 1,0 = 85,9 \text{ тыс. руб./га.}$$

Экономический эффект от внедрения усовершенствованных элементов технологии возделывания сои на орошаемых землях составил в среднем на 1 га 85,9 тыс. руб. Срок окупаемости затрат на внедрение усовершенствованной технологии возделывания сои при затратах 42,8 тыс. руб./га составляет менее 1 года. Необходимо отметить, что термин «срок окупаемости» применим в тех случаях, когда имелись капитальные затраты, и тогда рассчитывается показатель окупаемости, но при выращивании сельскохозяйственных культур более корректны показатели «доход» и «рентабельность». Если доход превышает затраты, то окупаемость затрат менее 1 года. Для расширенного производства продукции рентабельность должна быть выше 50 %, но лучше 100 % и более.

Экономическая эффективность какого-либо нового отдельного элемента технологии возделывания сои определяется путем исключения из технологической карты возделывания сои базового варианта и, соответственно, внесения нового элемента и по-

следующего перерасчета всех показателей затрат технологического процесса этого нового элемента по форме таблицы технологической карты с учетом затрат на технологический процесс и прямых затрат. Экономическая эффективность этого нового элемента технологии по сравнению с базовой рассчитывается как разность стоимости прибавки урожая от внедрения нового элемента технологии и затрат на новый элемент технологии, т. е. доход от внедрения элемента усовершенствованной технологии.

Таким образом, при сравнительном расчете эффективности отдельных элементов возделывания сельскохозяйственной культуры составляется технологическая карта и рассчитываются затраты на базовый, используемый в конкретном сельхозпредприятии и на новый отдельный элемент технологии возделывания. Стоимость урожая определяется для базового варианта как средняя урожайность за последние 3–5 лет, умноженная на стоимость единицы урожая текущего года, а для нового элемента используют данные, полученные в полевых опытах при научных исследованиях.

Данные заносятся в таблицу, и производится расчет эффективности внедряемого элемента технологии возделывания сои с учетом всех других затрат на возделывание культуры [12].

В качестве примера в таблице 2 приводится расчет экономического эффекта от внедрения элемента технологии возделывания сои – подбор сортовой агротехники для нового сорта сои СК Риана. По данным полевых исследований, при одном и том же технологическом процессе возделывания сои урожайность нового сорта сои СК Риана составила 4,51 т/га.

Таблица 2 – Расчет фактического экономического эффекта от внедрения технологии возделывания семенной сои на орошаемых землях

Table 2 – Calculation of the actual economic effect from implementation of soybean seed cultivation technologies on irrigated lands

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Базовый вариант	Новый вариант	$\pm\Delta$, новый – базовый вариант
1	2	3	4	5	6
Площадь внедрения	S	га	1,0	1,0	–
Урожайность:					
- базовый вариант	Y_1	т/га	2,2	–	–
- новый вариант	Y_2	т/га	–	4,6	2,4
Затраты на возделывание сои:					
- базовый вариант	Z_1	тыс. руб./га	36,8	–	–
- новый вариант	Z_2	тыс. руб./га	–	46,9	10,1
Реализационная цена урожая:					
- базовый вариант	C_1	тыс. руб./га	110	–	–
- новый вариант	C_2	тыс. руб./га	–	230	120
Себестоимость продукции:					
- базовый вариант	C_1	тыс. руб./т	16,7	–	–
- новый вариант	C_2	тыс. руб./т	–	10,2	–6,5
Доход:					
- базовый вариант	D_1	тыс. руб./га	73,2	–	–
- новый вариант	D_2	тыс. руб./га	–	183,1	109,9

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Экономический эффект:					
- всего	\mathcal{E}_D	тыс. руб.	–	109,9	–
- на 1 га	\mathcal{E}_D	тыс. руб./га	–	109,9	–
Рентабельность:					
- базовый вариант	P_1	%	198,9	–	–
- новый вариант	P_2	%	–	390,4	191,5
Примечание – Реализационная цена товарной сои на 1 ноября 2021 г. взята по рыночным ценам из расчета 50,0 тыс. руб./т.					

Расчет экономического эффекта:

$$\mathcal{E}_D = [(Ц_2 - З_2) - (Ц_1 - З_1)] \times S,$$

$$\mathcal{E}_D = [(230 - 46,9) - (110 - 36,8)] \times 1,0 = 109,9 \text{ тыс. руб./га.}$$

Экономический эффект от внедрения технологии возделывания сои на семена на орошаемых землях на площади 1,0 га составил 109,9 тыс. руб./га и при производстве семян элиты стоимостью 99,1 тыс. руб./т экономический эффект – 217,9 тыс. руб./га.

Такие расчеты производятся при оценке отдельных вариантов опыта, например, опытов с различными сортами, нормами удобрений, или различных способов полива, режимов орошения и т. д.

Выводы. Внедрение отдельных усовершенствованных элементов технологии возделывания сои может давать не такой высокий эффект, как внедрение нескольких элементов технологии. Реальный высокий экономический эффект дает внедрение нескольких элементов в общем комплексе технологического процесса возделывания сои, так как они все взаимосвязаны и влияют на рост, развитие и урожайность сои и других культур.

Список источников

1. Печенина Т. С. Методология оценки экономической эффективности применения ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2014. № 2. С. 88–92.
2. Экономическая оценка технологий возделывания сельскохозяйственных культур: метод. указания / Г. А. Медведев [и др.]; Волгогр. гос. с.-х. акад. Волгоград, 1994. 24 с.
3. Методические рекомендации по определению эффективности сельскохозяйственного производства. М.: ВНИЭСХ, 1997. 68 с.
4. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич [и др.]. Минск, 1988. 30 с.
5. Методика ресурсно-экологической оценки эффективности земледелия на биоэнергетической основе / В. М. Володин [и др.]; под ред. В. М. Володина. Курск: ВНИИЗ и ЗПЭ, ЮМЕКС, 1999. 48 с.
6. Методические рекомендации ВАСХНИЛ по постановке опытов и проведению исследований по программированию урожая полевых культур. М.: Колос, 1978. 64 с.
7. Методические указания по программированию технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Северного Кавказа: рекомендации / А. Н. Кан [и др.]. Новочеркасск, 1985. 120 с.
8. Методы контроля качества почв: пособие для вузов / сост.: Д. Л. Котова,

Т. А. Девятова, Т. А. Крысанова, Н. К. Бабенко. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2007. 106 с.

9. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика, 2000. 421 с.

10. Коваленко Н. Я., Боровик Е. А. Экономика окружающей среды в сельском хозяйстве / под ред. Н. Я. Коваленко. М.: Агроконсалт, 2000. 116 с.

11. Провести исследования и разработать методику расчета экономической эффективности от применения нормативно-методической документации в области мелиорации бюджетными учреждениями, подведомственными Минсельхозу России, проектными, научными и образовательными учреждениями (на примере Южного федерального округа): отчет о НИР (заключ.): 2.1.5.2 / ФГБНУ «РосНИИПМ»; рук.: Щедрин В. Н. Новочеркасск, 2019. 117 с. Исполн.: Щедрин В. Н. [и др.]. Рег. № НИОКТР АААА-А19-119021190100-1. Рег. № ИКРБС АААА-Б20-220012790143-5.

12. Макарец Л. И., Макарец М. Н. Экономика производства сельскохозяйственной продукции: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2002. 224 с.

References

1. Pechenina T.S., 2014. *Metodologiya otsenki ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya resursosberegayushchikh tekhnologiy vozdeystviya zernovykh kul'tur* [Methodology for assessing the economic efficiency of the use of resource-saving technologies for cultivating grain crops]. *Vestnik FGOU VPO MGAU* [Bull. of FGOU VPO MGAU], no. 2, pp. 88-92. (In Russian).

2. Medvedev G.A. [et al.], 1994. *Ekonomicheskaya otsenka tekhnologiy vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: metod. ukazaniya* [Economic Evaluation of Crop Cultivation Technologies: method. instructions]. Volgograd State Agricultural Academy, Volgograd, 24 p. (In Russian).

3. *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Guidelines for Determining the Agricultural Production Efficiency]. Moscow, VNIESKh, 1997, 68 p. (In Russian).

4. Bogdevich I.M. [et al.], 1988. *Metodika opredeleniya agronomicheskoy i ekonomicheskoy effektivnosti udobreniy i prognozirovaniya urozhaya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Methods for Determining the Agronomic and Economic Efficiency of Fertilizers and Predicting the Agricultural Crops Yield]. Minsk, 30 p. (In Russian).

5. Volodin V.M. [et al.], 1999. *Metodika resursno-ekologicheskoy otsenki effektivnosti zemledeliya na bioenergeticheskoy osnove* [Methodology of Resource-Ecological Assessment of the Efficiency of Agriculture on a Bio-Energy Basis]. Kursk, VNIIZ i ZPE, UMEKS, 48 p. (In Russian).

6. *Metodicheskie rekomendatsii VASKHNIL po postanovke opytov i provedeniyu issledovaniy po programmirovaniyu urozhaya polevykh kul'tur* [Methodological Recommendations of VASKHNIL on Setting up Experiments and Conducting Research on Programming the Field Crops Yield]. Moscow, Kolos Publ., 1978. 64 p. (In Russian).

7. Kan A.N. [et al.], 1985. *Metodicheskie ukazaniya po programmirovaniyu tekhnologii vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na oroshaemykh zemlyakh Severnogo Kavkaza: rekomendatsii* [Programming the Technology of Agricultural Crops Cultivation on the Irrigated Lands of the North Caucasus: recommendations]. Novocherkassk, 120 p. (In Russian).

8. Kotova D.L., Devyatova T.A., Krysanova T.A., Babenko N.K., 2007. *Metody kontrolya kachestva pochv: posobie dlya vuzov* [Methods of Soil Quality Monitoring: a teacher's guide for universities]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 106 p. (In Russian).

9. Vilensky P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A., 2000. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov* [Assessment of Efficiency of Investment Projects]. Moscow, Economica Publ., 421 p. (In Russian).

10. Kovalenko N.Ya., Borovik E.A., 2000. *Ekonomika okruzhayushchey sredy v sel'skom khozyaystve* [Economics of the Environment in Agriculture]. Moscow, Agroconsult Publ., 116 p. (In Russian).

11. Shchedrin V.N. [et al.], 2019. *Provesti issledovaniya i razrabotat' metodiku rascheta ekonomicheskoy effektivnosti ot primeneniya normativno-metodicheskoy dokumentatsii v oblasti melioratsii byudzhетnymi uchrezhdeniyami, podvedomstvennymi Minsel'khoz Rossii, proektnymi, nauchnymi i obrazovatel'nymi uchrezhdeniyami (na primere Yuzhnogo federal'nogo okruga). Otchet o NIR (zaklyuch.)* [To conduct research and develop a methodology for calculating the economic efficiency from the use of regulatory and methodological documentation in the field of land reclamation by budgetary institutions subordinate to the Ministry of Agriculture of Russia, design, scientific and educational institutions (on the example of the Southern Federal District). Research Report (final): 2.1.5.2]. Novocherkassk, 117 p. (In Russian).

12. Makarets L.I., Makarets M.N., 2002. *Ekonomika proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii: uchebnoe posobie* [Agricultural Production Economics: textbook]. St. Petersburg, Lan' Publ., 224 p. (In Russian).

Информация об авторах

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Л. М. Докучаева – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук;

Р. Е. Юркова – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

L. M. Dokuchayeva – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences;

R. Ye. Yurkova – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 31.05.2022; принята к публикации 08.06.2022.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 31.05.2022; accepted for publication 08.06.2022.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

HYDRAULIC STRUCTURES

Научная статья

УДК 626.212:626.826

Оценка достоверности расчетов удельного фильтрационного расхода через насыпную дамбу необлицованного канала

Юрий Михайлович Косиченко¹, Дарья Викторовна Бакланова²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,

Российская Федерация

¹kosichenko-11@mail.ru

²d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

Аннотация. Цель: оценка достоверности результатов расчетов, полученных по предложенной авторами методике определения фильтрационных потерь на участках необлицованных каналов оросительных систем, которые проложены в насыпи. **Материалы и методы.** С целью проведения сопоставительных расчетов использовались предложенные авторами статьи зависимости для оценки удельного расхода фильтрационного потока, а также наиболее известные формулы отечественных и зарубежных ученых, таких как Е. А. Замарин, Г. К. Михайлов, Ф. Шаффернак и др. Расчеты проводились при изменении величины напора на дамбу канала от 5 до 20 м. **Результаты и обсуждение.** Сравнение результатов расчета с данными, полученными по формулам известных авторов, показало достаточно близкую сходимость во всем диапазоне изменения напоров с отклонением в среднем от 4 до 24 %. Наиболее близкая сходимость результатов для значений фильтрационного расхода через тело дамбы канала получена с данными расчетов по методу эквивалентного профиля Е. А. Замарина и по зависимости, предложенной НИИ ВОДГЕО. **Выводы.** Предложенные авторами расчетные зависимости (1) и (2) применимы для оценки фильтрационных потерь через тело насыпных дамб необлицованных каналов, что подтверждено сходимыми результатами расчетов по шести разным методикам других авторов.

Ключевые слова: фильтрационный расход, насыпной участок, коэффициент фильтрации, канал, дамба, действующий напор

Original article

Assessment of the reliability of calculations of the specific seepage discharge through the fill dam of an unlined canal

Yuriy M. Kosichenko¹, Darya V. Baklanova²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,

Russian Federation

¹kosichenko-11@mail.ru

²d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

Abstract. Purpose: to assess the reliability of the results of calculations obtained by the method proposed by the authors for determining the seepage losses in sections of irrigation unlined canals that are laid in the earth fill. **Materials and methods.** In order to carry out comparative calculations, the dependencies proposed by the authors of the article to estimate

the specific flow rate of the seepage discharge, as well as the most famous formulas of domestic and foreign scientists, such as E. A. Zamarin, G. K. Mikhailov, F. Shaffernak, etc are used. Calculations were carried out with a change of pressure head on the canal dam from 5 to 20 m. **Results and discussion.** Comparison of the calculation results with the data obtained by the formulas of well-known authors showed a fairly close convergence over the entire range of pressure changes with an average deviation of 4 to 24 %. The closest convergence of results for the values of seepage discharge through the canal dam body was obtained with the data of calculations using the equivalent profile method of E. A. Zamarin and according to the dependence proposed by НИИ VODGEO. **Conclusions.** The calculated dependencies (1) and (2) proposed by the authors are applicable for estimating seepage losses through the fill dam body of unlined canals, which is confirmed by similar results of calculations using six different methods of other authors.

Keywords: seepage discharge, fill area, filtration coefficient, canal, dam, pressure head

Введение. При проектировании и последующей эксплуатации каналов оросительных систем важной проблемой является прогнозирование и определение фактических значений фильтрационных потерь. Наиболее слабыми в отношении развития фильтрационных деформаций, таких как выпор, суффозия, размыв, вынос грунта фильтрационным потоком и подтопление приканальных территорий, являются участки каналов оросительных систем, возведенные в насыпи. Поэтому определение значений удельного фильтрационного расхода является важным этапом при оценке КПД каналов на подобных участках.

Расчетам фильтрации из каналов посвящены работы С. Ф. Аверьянова [1], Н. Н. Веригина [2], В. С. Алтунина [3], Е. А. Замарина [4], К. Н. Анахаева [5], Ю. М. Косиченко [6–8] и др.

Основываясь на предложенной авторами методике [7] определения удельного расхода фильтрационного потока через насыпную дамбу необлицованного канала, провели сопоставительные расчеты для оценки возможности применения предлагаемых в методике расчетных зависимостей при выполнении фильтрационных расчетов вышеуказанных участков мелиоративных каналов.

Целью исследований являлось сравнение результатов расчетов, полученных по зависимостям авторов и известным решениям других исследователей, с оценкой достоверности полученных данных.

Материалы и методы. Расчеты значений фильтрационного расхода выполнялись при изменении напора на насыпную дамбу необлицованного канала от 5 до 20 м по методике и зависимостям авторов, подробно рассмотренным в работе 2012 г. [7], для удельного расхода фильтрационного потока через тело насыпной дамбы с учетом дополнительного сопротивления под дном канала:

$$q_T = K_T \frac{H^2 - h_1^2}{2(L_p - m_2 h_1) + \Delta L_K}, \quad (1)$$

$$\Delta L_K = (H - h_0) \cdot \Phi_1,$$

$$\Phi_1 = \frac{2}{\pi} \ln \frac{4(H - h_0)}{\pi \cdot b / 2} \text{ при } \frac{b}{2(H - h_0)} < 0,5,$$

$$\Phi_1 = 0,44 \cdot (H - h_0) \text{ при } \frac{b}{2(H - h_0)} > 0,5,$$

где q_T – удельный расход фильтрационного потока через тело насыпной дамбы, м²/сут;

K_T – коэффициент фильтрации насыпного грунта, м/сут;

H – действующий напор, м;
 h_1 – высота выхода кривой депрессии, м;
 L_p – ширина эквивалентного профиля насыпной дамбы в основании, м;
 m_2 – коэффициент заложения низового откоса;
 ΔL_K – дополнительное фильтрационное сопротивление под дном насыпного канала, м;
 Φ_1 – фильтрационное сопротивление в безразмерной форме;
 h_0 – наполнение канала (глубина воды), м;
 b – ширина канала по основанию, м.

При этом высота выхода кривой депрессии на низовой откос определялась по зависимости:

$$h_1 = \frac{L_p}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L_p}{m_2}\right)^2 - H^2}. \quad (2)$$

Сопоставление результатов расчетов по формулам (1) и (2) выполнялось с данными, полученными по наиболее известным формулам отечественных и зарубежных ученых, в частности:

- Е. А. Замарина [4, 9]:

$$\frac{q_T}{k_T} = \frac{H^2 - h_1^2}{2(L_p - m_2 h_1)}, \quad (3)$$

где q_T – удельный расход фильтрации через плотину, м²/сут;

k_T – коэффициент фильтрации насыпного грунта, м/сут;

H – действующий напор, м;

h_1 – высота выхода кривой депрессии, м;

L_p – ширина эквивалентного профиля плотины в основании, м;

m_2 – коэффициент заложения низового откоса.

Высота выхода кривой депрессии при этом вычислялась по формуле:

$$h_1 = \frac{L_p}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L_p}{m_2}\right)^2 - H^2}; \quad (4)$$

- Г. К. Михайлова [10]. Удельный расход фильтрационного потока определялся по формуле:

$$q = K \frac{H^2 - h_1^2}{2(\lambda h_0 + S)}, \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{m_1}{1 + 2m_1}, \quad S = m_1 \cdot d + b_{гр} + m_2(H + d - h_1),$$

где K – коэффициент фильтрации грунта, м/сут;

λ – коэффициент, учитывающий крутизну верхового откоса;

S – длина участка дамбы канала от уреза воды в верхнем бьефе до уреза воды в нижнем бьефе, м;

d – превышение гребня дамбы над расчетным уровнем воды, м;

$b_{гр}$ – ширина гребня дамбы, м.

Уравнение для определения высоты выхода депрессионной кривой на низовой откос:

$$q = \frac{K \cdot h_1}{m_2 + 0,5}; \quad (6)$$

- Ф. Шаффернака [11]. Фильтрационный расход рассчитывался по зависимости:

$$q = K \frac{H^2 - h_1^2}{2(L_p - m_2 h_1)}. \quad (7)$$

Высота высачивания депрессии над подошвой дамбы (для случая с глубиной воды в нижнем бьефе $H_2 = 0$):

$$h_1 = \sqrt{\left(\frac{L_p}{m_2}\right)^2 + H^2} - \frac{L_p}{m_2}; \quad (8)$$

- П. А. Шанкина – Казагранде [11]. Расход фильтрационного потока определялся по следующей формуле:

$$q = K \cdot h_1 \cdot \sin \beta, \quad (9)$$

где β – угол наклона низового откоса к горизонту (при $m_2 = 2 \sin \beta = 0,447$).

Высота высачивания депрессионной кривой над подошвой дамбы:

$$h_1 \approx \left(\sqrt{H^2 + L_p^2} - \sqrt{L_p^2 - H^2 \cdot m_2^2}\right) \cdot \sin \beta; \quad (10)$$

- Р. Дахлера [11]. При $\beta \leq 45^\circ$ фильтрационный расход вычисляется по формуле:

$$q = 0,5 \cdot K \cdot h_1 \cdot \sin 2\beta. \quad (11)$$

По методу, разработанному в НИИ ВОДГЕО [12], фильтрационный расход рассчитывался по зависимости:

$$q = K_T \frac{H^2}{L_p + \sqrt{L_p^2 - m_2^2 \cdot H^2}}. \quad (12)$$

Высота высачивания фильтрационного потока на низовой откос:

$$h_B = \frac{f(m_2) \cdot q}{K_T}, \quad (13)$$

где $f(m_2) = 0,5 + m_2$ при $m_2 \geq 1$.

Результаты и обсуждение. Результаты проведенных расчетов по формулам (1)–(13) сведены в таблицу 1.

Для наглядности влияния напора на величину фильтрационного расхода расчеты выполнялись для значений действующего напора 5, 10, 15 и 20 м. Исходные данные к расчету: $h_0 = 5$ м, $m_1 = 3$, $m_2 = 2$, $d = 1$ м, $b_{гр} = 8$ м, $K_T = 1$ м/сут, $b = 6$ м.

В результате сопоставления полученных значений фильтрационных расходов и высоты выхода кривой депрессии на низовой откос можно заключить следующее:

- расхождение результатов, полученных по формуле (1), с результатами, полученными по формуле (3) Е. А. Замарина, в целом не превышает 13,3 % (для значений фильтрационного расхода), а при меньших напорах находится в пределах 3,33–8,49 %. Для значений высоты выхода кривой депрессии на низовой откос расхождение результатов, полученных по методике авторов, с результатами, полученными по формуле Е. А. Замарина, составило от 5 до 8 %;

- сопоставление результатов расчетов по формуле (1) с результатами расчета по формуле (5) Г. К. Михайлова показало хорошую сходимость фильтрационных расходов, особенно при напорах 5 и 10 м (расхождение 3,33 и 0,4 % соответственно);

Таблица 1 – Расчеты удельного фильтрационного расхода через насыпную дамбу необлицованного канала и сопоставление результатов по известным формулам различных авторов

Table 1 – Calculations of the specific seepage discharge through the fill dam of an unlined canal and result comparison according to the known formulas of various authors

Действующий напор H , м	Определяемый параметр	Результат расчета по формулам (1)–(13)						
		авторов	Е. А. Замарина	Г. К. Михайлова	Ф. Шаффер-нака	П. А. Шанкина – Казагранде	Р. Дахлера	НИИ ВОДГЕО
20	q_T , м ² /сут	3,59 (3,62)	<u>4,07(4,54)</u> 13,3 % (25,4 %)	<u>4,22</u> 17,5 %	<u>4,24</u> 18,11 %	<u>4,13</u> 15,04 %	<u>3,4</u> 4,18 %	<u>3,69</u> 2,79 %
	h_1 , м	8,60 (9,08)	<u>8,14(9,08)</u> –5,35 % (0 %)	<u>10,56</u> 22,7 %	<u>6,48</u> –24,65 %	<u>9,25</u> 7,56 %	<u>8,60</u> 0 %	<u>9,22</u> 7,2 %
15	q_T , м ² /сут	2,51	<u>2,68</u> 6,77 %	<u>2,82</u> 12,4 %	<u>2,83</u> 12,75 %	<u>2,76</u> 9,96 %	<u>2,28</u> 9,16 %	<u>2,53</u> 0,8 %
	h_1 , м	5,71	<u>5,37</u> –5,95 %	<u>7,04</u> 23,29 %	<u>4,53</u> 20,67 %	<u>6,18</u> 8,23 %	<u>5,71</u> 0 %	<u>6,34</u> 11,03 %
10	q_T , м ² /сут	1,50	<u>1,45</u> –3,33 %	<u>1,55</u> 3,33 %	<u>1,56</u> 4,0 %	<u>1,4</u> 6,67 %	<u>1,25</u> 16,67 %	<u>1,45</u> –3,33 %
	h_1 , м	3,12	<u>2,91</u> –6,73 %	<u>3,88</u> 24,36 %	<u>2,65</u> 15,06 %	<u>3,41</u> 9,29 %	<u>3,12</u> 0 %	<u>3,63</u> 16,35 %
5 ($H = h_0$)	q_T , м ² /сут	0,518	<u>0,474</u> –8,49 %	<u>0,516</u> –0,4 %	<u>0,518</u> 0 %	<u>0,514</u> –0,8 %	<u>0,416</u> 19,7 %	<u>0,518</u> 0 %
	h_1 , м	1,04	<u>0,95</u> –8,65 %	<u>1,29</u> 24,0 %	<u>0,955</u> 8,17 %	<u>1,15</u> 10,6 %	<u>1,04</u> 0 %	<u>1,3</u> 25 %
Примечания: 1 В числителе приведены расчетные значения удельного фильтрационного расхода через тело насыпной дамбы канала q_T , м ² /сут, и высоты выхода депрессионной кривой на низовой откос h_1 , м; в знаменателе – значения процентного отклонения результатов расчета авторов. 2 В скобках приведены значения фильтрационного расхода и высоты выхода кривой депрессии при $\Delta L = \beta \cdot h_0$ и $\beta = \frac{m_1}{2m_1 + 1}$; при расчете значений, указанных без скобок, коэффициент β принимался равным $\beta = 0,3...0,4$ согласно исследованиям профессора Е. А. Замарина.								

- сравнение результатов, полученных по формуле авторов (1), с расчетами по формуле (7) Ф. Шаффернака позволяет заключить, что при напоре $H = h_0 = 5$ м значения фильтрационных расходов получены одинаковыми и в целом отклонения не превышают 17,5 %;

- по результатам сравнения расчетов авторов с данными по формуле (9) П. А. Шанкина – Казагранде определено, что при напоре $H = h_0 = 5$ м значения фильтрационных расходов получены практически одинаковыми (расхождение составляет 0,8 %), а при напоре 20 м расхождение не превышает 15,04 %. По высоте высачивания кривой депрессии над подошвой дамбы расхождение составило от 7,56 до 10,6 % и доказывает хорошую сходимость результатов расчета по формуле (2);

- полученные у авторов значения фильтрационного расхода вполне сопоставимы с результатами, полученными по формулам Р. Дахлера, наименьшее значение расхождения составило 4,18 % (при напоре 20 м);

- рассмотрение результатов, полученных по методу, предложенному НИИ ВОДГЕО, доказывает хорошую сходимость результатов расчетов по формулам (1) и (2). Расхождение результатов расчета фильтрационного расхода колеблется в пределах 2–3 %, а при напоре $H = h_0 = 5$ м расходы получены одинаковыми (расхождение равно нулю). Максимальное значение расхождения по значениям высоты высачивания составило 25 %.

Выводы. Сравнение результатов расчета с данными, полученными по указанным выше формулам известных авторов, показало достаточно близкую сходимость во всем диапазоне изменения напоров с отклонением в среднем от 4 до 24 %.

Наиболее близкая сходимость результатов для значений фильтрационного расхода через тело дамбы канала получена с данными расчетов по методу эквивалентного профиля Е. А. Замарина и зависимости, предложенной НИИ ВОДГЕО.

Таким образом, предложенные расчетные зависимости (1) и (2) применимы для оценки фильтрационных потерь через тело насыпных дамб необлицованных каналов, что подтверждено сходимыми результатами расчетов по шести разным методикам других авторов.

Список источников

1. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М.: Колос, 1982. 237 с.
2. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / С. В. Васильев [и др.]; под ред. Н. Н. Веригина. М.: Колос, 1970. 440 с.
3. Алтунин В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. М.: Колос, 1979. 255 с.
4. Волков И. М., Кононенко П. Ф., Федичкин И. К. Гидротехнические сооружения. М.: Колос, 1968. 464 с.
5. Анахаев К. Н. Расчет фильтрации через земляные плотины на проницаемом основании разной мощности // Гидротехническое строительство. 2011. № 2. С. 29–32.
6. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Особенности гидравлических и фильтрационных расчетов осушительно-оросительной системы // Природообустройство. 2021. № 4. С. 90–98. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98.
7. Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В. Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи и оценка риска аварийных ситуаций // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2012. № 4. С. 77–81.

8. Косиченко Ю. М., Бакланова Д. В. Определение вероятного риска аварии крупного канала вследствие фильтрационных деформаций // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2012. № 1(05). С. 145–156. URL: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=82&id=94> (дата обращения: 01.04.2022).

9. Слипченко П. С. Земляные плотины. Киев: Госстройиздат УССР, 1961. 201 с.

10. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения: учебник / под ред. М. М. Гришина. М.: Госстройиздат, 1962. 763 с.

11. Анахаев К. Н. Пространственная фильтрация в грунтовых плотинах // Материалы научно-практической конференции КБГСХА. 1996. С. 179–193.

12. Гидротехнические сооружения: справ. проектировщика / под ред. В. П. Недриги. М.: Стройиздат, 1983. 543 с.

References

1. Averyanov S.F., 1982. *Fil'tratsiya iz kanalov i ee vliyanie na rezhim gruntovykh vod* [Filtration from Canals and its Influence on the Groundwater Regime]. Moscow, Kolos Publ., 237 p. (In Russian).

2. Vasiliev S.V. [et al.], 1970. *Metody fil'tratsionnykh raschetov gidromeliorativnykh sistem* [Methods of Filtration Calculations of Irrigation and Drainage Systems]. Moscow, Kolos Publ., 440 p. (In Russian).

3. Altunin V.S., 1979. *Meliorativnye kanaly v zemlyanykh ruslakh* [Reclamation Canals in Earthen Beds]. Moscow, Kolos Publ., 255 p. (In Russian).

4. Volkov I.M., Kononenko P.F., Fedichkin I.K., 1968. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Hydrotechnical Structures]. Moscow, Kolos Publ., 464 p. (In Russian).

5. Anakhaev K.N., 2011. *Raschet fil'tratsii cherez zemlyanye plotiny na pronitsaemom osnovanii raznoy moshchnosti* [Calculation of filtration through earthen dams on a permeable base of different power]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 2, pp. 29-32. (In Russian).

6. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2021. *Osobennosti gidravlicheskiykh i fil'tratsionnykh raschetov osushitel'no-orositel'noy sistemy* [Features of hydraulic and filtration calculations of a drainage and irrigation system]. *Priridoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 90-98, DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98. (In Russian).

7. Kosichenko Yu.M., Baklanova D.V., 2012. *Raschet fil'tratsii cherez dambu kanala v nasypi i otsenka riska avariynykh situatsiy* [Calculation of filtration through the canal dam in the embankment and assessment of the risk of emergency situations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [University News. North Caucasian Region. Technical Sciences], no. 4, pp. 77-81. (In Russian).

8. Kosichenko Yu.M., Baklanova D.V., 2012. [Determination of the probable risk of an accident of a large channel due to filtration deformations]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(05), pp. 145-156, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=82&id=94> [accessed 01.04.2022]. (In Russian).

9. Slipchenko P.S., 1961. *Zemlyanye plotiny* [Earthen Dams]. Kyiv, Ukrainian SSR Gosstroyizdat Publ., 201 p. (In Russian).

10. Grishin M.M., 1962. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya: uchebnik* [Hydraulic Structures: textbook]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 763 p. (In Russian).

11. Anakhaev K.N., 1996. *Prostranstvennaya fil'tratsiya v gruntovykh plotinakh* [Spatial filtration in soil dams]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii KBGSKhA* [Proceedings of the Scientific-Practical Conference of the KBGSKhA], pp. 179-193. (In Russian).

12. Nedriga V.P., 1983. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya: sprav. projektirovshchika*

[Hydraulic Structures: Reference Book for Designer]. Moscow, Stroyizdat Publ., 543 p. (In Russian).

Информация об авторах

Ю. М. Косиченко – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор;

Д. В. Бакланова – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the author

Yu. M. Kosichenko – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor;

D. V. Baklanova – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 31.05.2022; принята к публикации 07.06.2022.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 31.05.2022; accepted for publication 07.06.2022.