



Учредители:

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

Издаётся с апреля 1949 года

СОДЕРЖАНИЕ

СТРАНИЦА РЕДАКТОРА

Гулюк Г.Г. Состояние и проблемы земель
сельскохозяйственного назначения 2

МЕЛИОРАЦИЯ И УРОЖАЙ

Амирова Т.Н. Влияние потерь влаги
на урожайность при ирригационных работах
по методу кругового центра орошения 4

МЕЛИОРАЦИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ

*Тингаев А.В., Чепрунова Ю.В., Воробьева Р.П.,
Шепталов В.Б.* Агрорландшафт рекультиви-
рованного полигона твердых коммунальных
отходов с использованием осадка сточных вод 7

НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАЦИИ

*Балабанов В.И., Леонтьев Ю.П., Макаров А.А.,
Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А.*
Обоснование конструкции рабочего органа
рыхлителя объемного типа для улучшения
агрофизических свойств почвы. 11

Дубенок Н.Н., Чесноков Ю.В., Петрушин А.Ф.
Дистанционное зондирование для решения задач
по инвентаризации мелиорированных земель
сельскохозяйственного назначения 16

Шешенёв Н.В., Шевченко В.А., Кирейчева Л.В.
Исследование водоприемной способности
современных конструкций горизонтального
дренажа 19

ОРОШЕНИЕ

Ермолаева О.С., Зейлигер А.М. Эффективность
использования посевами орошаемой люцерны
запасов почвенной влаги 23

Бадмаева С.Э. Экологически безопасные
нормы полива при выращивании многолетних
травосмесей в условиях Красноярского края 29

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А., Сафин Э.Э.
Покрытие оросительных каналов
инновационным бетонным полотном
и адаптивные способы их эксплуатации 32

Дубяго Д.С., Новиков А.Е., Григоров С.М.
Дефекты бетонных и железобетонных
конструкций гидротехнических сооружений
мелиоративных систем Республики Беларусь 36

ИНФОРМАЦИЯ

Памяти Юрия Петровича Кодзокова 40

СОДЕРЖАНИЕ

EDITOR'S PAGE

Gulyuk G.G. State and problems of agricultural lands 2

MELIORATION AND HARVEST

Amirova T.N. The effect on the yield of moisture
losses during irrigation works using the circular
irrigation center method 4

MELIORATION OF AGROLANDSCAPES

*Tingaev A.V., Cheprunova Y.V., Vorobyeva R.P.,
Sheptalov V.B.* Agrolandscape of recultivated landfill
of municipal solid waste using sewage sludge 7

SCIENTIFIC ENSURING MELIORATION

*Balabanov V.I., Leontyev Yu.P., Makarov A.A.,
Martynova N.B., Abdumazhidov Kh.A.* Justification
of the structure of the working body of the volume
type ripper for improving the agrophysical properties
of the soil 11

Dubenok N.N., Chesnokov Yu.V., Petrushin A.F.
Remote sensing for solving problems of inventory
of reclaimed agricultural land 16

Sheshenev N.V., Shevchenko V.A., Kireycheva L.V.
Study of the water intake capacity of modern
horizontal drainage structures 19

IRRIGATION

Ermolaeva O.S., Zeyliger A.M. Efficiency of use of soil
moisture reserves by irrigated alfalfa crops 23

Badmaeva S.E. Environmentally safe irrigation
standards for growing perennial grass mixtures in the
conditions of the Krasnoyarsk territory. 29

WATER MANAGEMENT CONSTRUCTION

Abdrzakov F.K., Rukavishnikov A.A., Safin E.E.
Covering irrigation canals with innovative concrete
pavement and adaptive ways of their operation 32

Dubyago D.S., Novikov A.E., Grigorov S.M.
Defects of concrete and reinforced concrete
structures of hydrotechnical structures of reclaim
systems of the Republic of Belarus 36

INFORMATION

In memory of Yu.P. Kodzokov 40

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

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

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

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 4,65. Тираж 1000 экз.
Верстка Т.Б. Самсонова

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

Главный редактор – Г.Г. ГУЛЮК

Редакционный совет:

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

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов публикаций.

УДК 631.6

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ



Г.Г. ГУЛЮК

Россия обладает значительным потенциалом земель сельскохозяйственного назначения – 255 млн га, из них 116 млн га пашни. По данному показателю Россия занимает 4-е место в мире и уступает лишь Индии (162 млн га), США (146 млн га) и Китаю (143 млн га). Общая площадь угодий в составе земель сельскохозяйственного назначения, по данным Росреестра на 01.01.2021 составляет 197,8 млн га, в т. ч. пашни 116,81 млн га (58,7%), сенокосы 18,72 млн га, (9,5%), пастбища 57,28 млн га (29%), залежи 4,39 млн га (2,1%), многолетние насаждения 1,24 млн га (0,6%). Площадь используемых участков составляла 97,2 млн га или 44% всех сельхозугодий страны.

В этих условиях мелиорация земель сельскохозяйственного назначения является одним из основных приоритетов при развитии производственного потенциала отечественного агропромышленного комплекса.

Не могу не отметить мелиорацию Нечерноземья. Территория, включающая в России 32 области и республики, где сосредоточено 75% (3,6 млн га) фонда осушаемых земель России, 10% орошаемых угодий.

По данным дистанционного мониторинга техническое состояние мелиорированных земель на объектах представителей, проводимого Агрофизическим научным институтом, установлено, что 5% закрытых осушительных систем находится в хорошем техническом состоянии, 13% обеспечивают нормативный режим осушения, а более 80% нуждаются в капитальном ремонте и реконструкции. Фактически в активном земледелии используется менее 65% осушенных земель. В результате исследований установлено, что в целом безопасное краткосрочное переувлажнение может проявиться на 92% площади сельскохозяйственных угодий Северо-Западного региона России, а длительное на 54%. Вторичное заболачивание, являющееся в большинстве случаев следствием утраты работоспособности осушенных систем, затрагивает до 20% сельхозугодий.

Выражая большую тревогу за судьбы отечественного земледелия, просматривается необходимость безотлагательного восстановления всех осушительных систем и принятие мер по дальнейшему развитию мелиорации, повышению плодородия почвы, проведению инвентаризации ранее построенных мелиоративных систем и принятию неотложных мер по их восстановлению, модернизации и развитию.

В связи с недостаточным уровнем финансирования в федеральных учреждениях по мелиорации, выпускаемые вузами молодые инженеры-мелиораторы остаются невостребованными, а старые опытные кадры мелиораторов переходят на другую работу или выходят на пенсию. Сокращено финансирование научно-исследовательских работ по мелиорации. Ликвидированы опытные мелиоративные станции. Наука ушла от земли в кабинетно-компьютерную обоснованность новых технологий повышения плодородия почв.

К сожалению, сегодня норма осушения применяется нормативами XX в. и ранее, разработанными академиками А.Н. Костяковым, Аверьяновым и др.

В результате этих негативных процессов ухудшилась эффективность управления мелиоративными режимами мелиорированных земель и, как факт, значительно ухудшилось плодородие почвы, снизилась урожайность сельскохозяйственных культур. Все это ведет к потере продовольственной безопасности страны.

К сожалению, в России не остановлены процессы заболачивания, засоления и деградации почв, гибели рек, все это неудовлетворительно сказывается на состоянии земельного фонда. Прогнозируемое учеными глобальное изменение климата еще более ужесточит проблему эффективности мелиорации.

Опыт мировой цивилизации и негативные процессы в земледелии России однозначно свидетельствуют о необходимости широкой мелиорации земель, по которой Россия отстала от всех стран Запада и республик бывшего СССР.

Альтернативы земельным улучшениям (мелиорациям) не существует.

Происходит свертывание мелиорации, строительство мелиоративных систем, развитие баз государственных учреждений не осуществляется, средств на содержание даже государственных мелиоративных систем крайне недостаточно или они отсутствуют.

Мировой опыт доказывает, что организующим началом при создании фермотизации, сельских производственных коллективов является, наряду с землеустройством, на основе мелиорации создавались и ныне организуются фермы в США, Нидерландах и др. странах. Необходимо вернуться к финансированию мелиорации из средств федерального бюджета, как это практикуется в других странах. Необходимо создать структуру управления мелиорацией, отвечающей за состояние построенного и осуществления истинно мелиоративных мероприятий в производстве, эксплуатацию и эффективность производства в целом в стране.

Мощный антропогенный пресс XX в. значительно ускорил негативные трансформации пахотных земель основных сельскохозяйственных регионов России.

Серьезный удар по экологическому состоянию почв нанесли последние организационно-экономические преобразования сельского хозяйства. С разорением большинства кооперативных хозяйств нарушены традиционные и зональные системы земледелия, стали преобладать экстенсивные агротехнологии с крайне низкими дозами удобрений, резким сокращением площадей обработки почвы и объемов применения мелиорантов, массовым нарушением севооборотов, выжиганием стерни, стихийным переходом части пашни в сильно засоренную залежь, низкой рентабельностью и повышенной неустойчивостью растениеводства.

Традиционные рекомендации по почвозащитным севооборотам и агротехнике в новых экономических условиях оказались практически недоступными для большинства фер-

мерских хозяйств, необходимым условием выживания которых является быстрая окупаемость финансовых вложений.

Зачастую пренебрежение научной системой земледелия приводит к сложным сочетаниям деградационных процессов разной природы:

- агрофизическую деградацию – ухудшение водно-воздушного режима вследствие утраты почвой структуры и уплотнения;
- агротехническую деградацию – ухудшение системы обработки, вследствие ухудшения физико-механических свойств пахотного слоя;
- агрохимические истощения – нарушения баланса питательных веществ (элементов) вследствие превышения их выноса над возвратом;
- биологическое обеднение – утрату или угнетение полезной почвенной микробиоты.

Большие изменения почвенных свойств вызывает также нерационально применяемое орошение (с нарушением обоснованных поливных норм и режимов полива) ускоряет выпахивание почв, деградацию структуры, переуплотнение, выщелачивание карбонатов, подкисление и, наоборот, вторичное засоление и ощелачивание почвенного профиля.

Нередко наблюдается подтопление земель как результат нарушения мелиоративной системы с поднятием уровня грунтовых вод.

Большое влияние на почву оказывает смена ценозов, загрязнение токсикантами, формирование техногенных структур ландшафта, техногенные изменения микроклимата.

Безусловно, почва является базовым структурно-функциональным компонентом общего понятия земли и землепользования, поэтому рамочные определения «качества почв» и «качества земли» очень близки друг к другу. Обычно под ними понимается «комплексная характеристика земли (почвы), которая определенным образом влияет на возможность (и уровень) выполнения ею (землей, почвой) конкретной ее функции (земли, почвы)».

Несколько доводов о состоянии почв (земель). По данным государственного учета общая площадь эродированных, деформированных, эрозионно и дефляционно опасных сельскохозяйственных угодий в РФ составляет около 130 млн га, в том числе пашни 84,8 млн га, пастбищ 28,7 млн га (2010 г.).

Доля эродированных и деформированных земель продолжает неуклонно увеличиваться. В течение последних 20 лет темпы прироста этих земель достигают 6,7% каждые 5 лет, т. е. до 1,5 млн га в год.

С увеличением степени эродированности ухудшаются агрономические свойства почв: снижается содержание гумуса, повышается плотность почвы, снижается аэрация, пористость, влагоемкость, водопроницаемость, запасы продуктивной влаги, уменьшаются биологическая активность.

Нынешнее состояние мелиорированных земель практически возвращает нас к удалению кустарника, корчевке пней, уборке камней, срезке кочек и разделке древесины. Исполнению агрономических мероприятий узкозагонной вспашки, профилирование поверхности, устройство вывальных борозд, кротование. Рост плодородия земель при нормальном увлажнении немислим без известкования земель, внесения в почву торфяных компостов.

Известкование кислых почв – один из наиболее важных приемов повышения продуктивности сельскохозяйствен-

ных угодий и, в первую очередь, мелиорированных земель. При внесении извести в кислой почве резко увеличивается содержание подвижного кальция и магния, что влияет на биологическую доступность радионуклидов, особенно ^{90}Sr . Установлено, что внесение извести в дозе, эквивалентной гидролитической кислотности, снижает уровень стронция-90 и цезия-137 в продукции растениеводства примерно в 1,5...2,5 раза, а в отдельных случаях в 3 и более раз.

Устанавливая усиление физических свойств почвы, а именно порозность, фильтрацию, перевод поверхностного стока в дренажный, усиление воздействия атмосферы на корневую систему растений.

Оптимальные показатели pH колеблются в больших пределах и зависят от множества факторов: структуры посевных площадей, типа и гранулометрического состава почвы, обеспеченности гумусом, фосфором и других показателей.

Например, для дерново-подзолистых почв эти показатели составляют: глинистые и суглинистые – 6...6,7; супесчаные – 5,8...6,2; песчаные – 5,6...5,8. На торфяно-болотных и минеральных почвах сенокосов и пастбищ оптимальные параметры составляют соответственно 5...5,3 и 5,8...6,2.

При известковании кислых почв учитывается плотность загрязнения радионуклидами. Первый уровень по Цезию-137 – 1...5 Ки/км². Второй уровень загрязнения по Цезию-137 – 5...15 Ки/км² и более.

Высокие дозы известковых удобрений 8...10 т/га рекомендуют в два приема: 0,5 дозы под вспашку, 0,5 дозы – под культивацию. Дозы менее 8 т/га лучше вносить под глубинную культивацию. Данное мероприятие снижает поступление радионуклидов в растения в 1,5...2 раза и будет оказывать положительное влияние в последующие 3...4 года.

Установленные приемы способствуют повышению эффективности известкования и гипсования для уменьшения поступления радионуклидов в продукцию (Алексахин, 1996 г.).

Останавливаясь на вышеперечисленных мерах повышения продуктивности земель сельскохозяйственного назначения, не могу не высказать общеизвестную направленность, установленную наукой и практикой, что основным средством интенсификации мелиорации является повышение продуктивности используемых земель.

Мелиорация, широкая химизация, семеноводство, борьба с болезнями, вредителями растений и сорной растительностью широкое применение механизации в сельском хозяйстве и повышение общей культуры земледелия дают положительные результаты путем урегулирования водного режима высочайшего уровня эксплуатационных мероприятий.

Сельхозтоваропроизводителям необходимо ориентирование на производство капусты ранней до 300 ц/га, поздней – 600...800 ц/га, столовых корнеплодов – 300...400 ц/га, картофеля – не менее 250...300 ц/га, урожайности сена многолетних трав – 75...100 ц/га.

Осушенные пахотные земли должны обеспечивать повышение их продуктивности не менее чем в два раза и получать не менее 25...40 ц зерна с гектара. Эти показатели устанавливались и скоординированы сельскохозяйственными и мелиоративными органами и постановлениями Совета Министров РСФСР.

Необходимо помнить: осуществление осушительных мелиораций должно быть подчинено перспективным направлениям развития сельскохозяйственного производства.

Основным направлением использования осушаемых земель в Англии, Швеции, Дании и других странах в те годы продолжало оставаться кормовое, с преимущественным использованием для получения грубых кормов и в качестве пастбищ.

По данным академика И.В. Ларсена, высокая агротехника с применением значительных количеств минеральных удобрений обеспечивала получение 7000...8000 к.е. с гектара в ФРГ, Нидерландах, это эквивалентно 45...50 ц/га кормового зерна.

Решающим условием высокопродуктивного использования осушенных земель является правильная эксплуатация мелиоративных систем. Ежегодно должны проводиться очистка сети от наносов, скашивание сорняков на откосах каналов, ремонт сооружений, промывка дренажа и пр.

Не могу не напомнить, что затраты на осушительную мелиорацию в процентном отношении от капитальных вложений в сельское хозяйство СССР составляли 1,5%, в РСФСР – 0,9%, УССР – 0,6%, БССР – 10%, Эстонии – 25%, в Прибалтийских республиках – 19%. Так обеспечивались окраины СССР.

Обосновывая вопрос эффективности мелиоративных земель правомерный вопрос их состояния в целом. РФ имеет в наличии 9,4 млн га мелиорированных земель, из них орошаемых – 4,7 млн га, осушенных – 4,7 млн га. Необходимо знать их состояние.

В качестве примера приведу проведенную инвентаризацию в семидесятые годы прошлого столетия. Проведенная инвентаризация существующих осушительных систем показала их частичную и местами полную непригодность для использования в сельскохозяйственном производстве. Так, из 400 тыс. га земель с осушительной сетью, значившихся в Барабинской низменности Западной Сибири, было оставлено на балансе лишь 60,9 тыс. га. Вся остальная территория вернулась в исходное заболоченное состояние. В Ленинградской области было 230,7 тыс. га, осталось всего 83,3 тыс. га. Такая картина была повсеместно.

Особо настораживает нынешнее состояние осушенных земель, по которому появляется немалое количество невосстановленных.

Особую тревогу вызывают мелиорированные земли с внутрихозяйственной сетью более 50...70 лет находящиеся без эксплуатации, многие из которых являются бесхозными, учитывая полную ликвидацию органов эксплуатации внутри территориальных органов.

Что посоветовать землепользователям, территориальным органам сельхозиспользования территорий! Прошу:

- провести полную инвентаризацию мелиорированных земель, установить состояние, именно осуществление водно-воздушного, теплового и питательного режимов;
- определить наличие не закрепленных, пригодных к сельхозпроизводству мелиорированных земель, определить областную или республиканскую собственность;
- все мелиорированные, не используемые земли установлены причины и определены меры дальнейшей судьбы и принадлежности.

Землепользователям – хозяевам мелиорированных земель – разработать конкретные меры дальнейшего использования, наметив агрохимические мероприятия, способствующие возвращению водно-воздушного режима, переводу поверхностного стока в дренажный.

Повсеместно повысить аэрацию почв.

Восстановить колодцы-фильтры, смотровые колодцы, сбросные воронки в открытую сеть и другие поверхностные мелкие сооружения.

Вспомнить и выполнять глубокое рыхление почв, крошение и щелвание.

Все виды работ оформить проектами и внести предложения по субсидированию. Необходимо не забывать о промывке дренажных линий заохранных и заиленных дренажей.

Земля! Трудно с ней, ее облагораживание восхищает выдающихся людей, и не умным хватает смелости подвергнуть сомнениям мудрые слова: «Родная земля – это самое великопепное, что дано нам при жизни. Ее мы должны беречь и сохранять всеми силами своего существа. Труд есть отец богатства, а земля его мать».

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

УДК 502/504:631.674

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-4-7

ВЛИЯНИЕ ПОТЕРЬ ВЛАГИ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПРИ ИРРИГАЦИОННЫХ РАБОТАХ ПО МЕТОДУ КРУГОВОГО ЦЕНТРА ОРОШЕНИЯ



Т.Н. АМИРОВА

и решены оптимизационные задачи, позволяющие определить оптимальную зависимость объема ирригационных

Ключевые слова: ирригация, потери, скорость ветра, оптимизация, урожай.

Keywords: irrigation, losses, wind speed, optimization, yield.

Статья посвящена исследованию влияния потерь на урожайность при использовании метода кругового центра орошения. На базе известных модельных соотношений зависимости объема урожая от количества ирригационных

вод от скорости ветра, при которой возможно экстремальное количество урожая.

The article is devoted to the study of the impact of losses on yield when using the circular irrigation center method. On the basis of the known model ratios of the dependence of the crop volume on the amount of irrigation water, as well as on the amount of evapotranspiration, optimization problems were compiled and solved to determine the optimal dependence of the volume of irrigation water on wind speed, at which an extreme amount of harvest is possible.

Введение. С развитием индустриальной промышленности и с усилением процессов урбанизации нехватка водных ресурсов чувствуется все сильнее. В таких условиях требуется повысить эффективность

широкомасштабного водоиспользования в сельском хозяйстве, т. е. добиться максимальной урожайности при ограниченных водных ресурсах.

Как отмечается в работе [1], всевозможные потери воды являются составной частью любой ирригационной системы. По этой причине часто используется такой термин как доступное количество воды. Этот показатель удобен для менеджеров сельского хозяйства тем, что его измерение не вызывает особых трудностей.

В начальной стадии ирригации вода накапливается в корневой зоне и эффективность орошения высокая. При этом до уровня 50 % доступного количества воды происходит линейный рост урожая. При дальнейшем увеличении количества воды возникают всевозможные потери из-за неомогенности почвы и несовершенства ирригационной системы. После достижения уровня водной потребности растительностью дальнейшая подача воды может привести к уменьшению урожая из-за заболачивания местности, отсутствия воздуха в корневой зоне, уменьшения количества питательных веществ.

Согласно [2], функциональная зависимость «урожай–доступная вода» может быть аппроксимирована выражением:

$$y = a + bW + cW^2, \quad (1)$$

где W – количество доступной воды; a, b, c – регрессионные коэффициенты, зависящие от типа растительности.

Согласно [3], точка максимальной урожайности может быть вычислена методом анализа производных. Имеем:

$$\frac{dy}{dW} = b + 2cW.$$

Следовательно, при

$$W = -\frac{b}{2c}$$

урожайность достигает максимального значения. Отметим, что существуют многочисленные публикации. Например, в [3, 4] приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие правомерность модели (1).

Следует отметить существование функционально аналогичных к модели [1] эвапотранспирационных моделей, характеризующих взаимосвязь «вода–урожай». Например, согласно [5], имеет место модельное соотношение:

$$y_a = \left[AC + BC \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)^\alpha - CC \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)^\beta \right] y_m,$$

где ET_a – фактическая величина эвапотранспирации за рассматриваемый период; ET_m – максимальная величина эвапотранспирации за рассматриваемый период; y_a – фактический урожай за тот же период; y_m – максимальный урожай за тот же период; A, B, C, α, β – экспериментально устанавливаемые коэффициенты.

В работе [6] приведен более простой вариант модели «урожай–эвапотранспирация»:

$$y_a = a + bET_a + c(ET_a)^2,$$

где a, b, c – экспериментально устанавливаемые регрессионные коэффициенты.

Предлагаемый метод. Как отмечается в работе [7], в общем случае функция урожайности может быть сформирована с учетом воздействия трех групп факторов:

факторы фермерского хозяйства (технология, финансы, трудовложение, удобрения и др.;

экзогенные факторы (наличие рынка, дорог, знаний);

природные факторы (климат, почва, вода).

Безусловно, что к природным факторам также должны быть отнесены наличие ветров при использовании метода кругового центра ирригации. В такой системе ирригации процесс испарения начинается раньше, чем фильтрация в почву. Согласно [8], эвапорационные потери L из-за воздействия ветров могут быть оценены по формуле, %:

$$L = 3,32 \exp(0,11U), \quad (2)$$

где U – скорость ветра.

Рассмотрим некоторые оптимизационные соотношения для указанного типа ирригационной схемы. Водный эквивалент потерь L в первом приближении оценим как:

$$\Delta W_{\text{ЭКВ}} = kL, \quad (3)$$

где k – коэффициент перехода от процентов испарения к количеству воды.

С учетом (2) и (3) получим:

$$\Delta W_{\text{ЭКВ}} = 3,32k \exp(0,11U). \quad (4)$$

Совместный учет моделей (1) и (4) дает:

$$y = a + b(W - \Delta W_{\text{ЭКВ}}) + c(W - \Delta W_{\text{ЭКВ}})^2, \quad (5)$$

где W – вода, подводимая к системе ирригации.

С учетом (4) и (5) получим:

$$y = a + b(W - 3,32k \exp(0,11U)) + c(W - 3,32k \exp(0,11U))^2. \quad (6)$$

При $U = \text{const}$ исследуем экстремум y от W (в дальнейшем учитываем, что c является отрицательной величиной).

$$\frac{dy}{dW} = b + 2c[W - 3,32k \exp(0,11U)]. \quad (7)$$

При условии $dy/dW = 0$ из (7) получаем:

$$W = 3,32k \exp(0,11U) - \frac{b}{2c}.$$

При условии $W = \text{const}$ вычислим значение U , при котором y достиг бы экстремума. Имеем:

$$\frac{dy}{dU} = -3,32bk [\exp(0,11U)] + 2c(W - 3,32k \exp(0,11U))(-0,11). \quad (8)$$

При условии $dy/dU=0$ из (8) получим:

$$[\exp(0,11U)][3,32 \cdot 0,11bk - 2c \cdot 0,11 \cdot 3,32] = 2cW. \quad (9)$$

Анализ выражения (9) с учетом отрицательности c показывает, что y не имеет экстремум от U .

Вместе с тем, если исследовать среднеинтегральные значения y , можно показать наличие экстремальных режимов ирригации.

Введем на рассмотрение функциональную зависимость $W=f(U)$.

С учетом (6) получим:

$$y = a = b(f(U) - 3,32k \exp(0,11U)) + c(f(U) - 3,32k \exp(0,11U))^2.$$

Вычислим интеграл:

$$y_{\text{инт}} = \int_0^{U_{\text{max}}} \left[a + b(f(U) - 3,32k \exp(0,11U)) + c(f(U) - 3,32k \exp(0,11U))^2 \right] dU. \quad (10)$$

Согласно методу Эйлера [9] вычисляемая оптимальная функция $f(U)_{\text{опт}}$ должна удовлетворить условию:

$$\frac{d[a + b(f(U) - 3,32k \exp(0,11U)) + c(f(U) - 3,32k \exp(0,11U))^2]}{df(U)} = 0. \quad (11)$$

Из (11) получаем:

$$b + c(f(U) - 3,32k \exp(0,11U)) = 0. \quad (12)$$

Из (12) получим:

$$f(U) = 3,32k \exp(0,11U) - \frac{b}{c}. \quad (13)$$

При этом с учетом отрицательности c приходим к выводу о том, что при решении (13) целевой функционал (7) достигает максимума, т. к. вторая производная интеграла в (7) имеет отрицательное значение.

Дадим решение аналогичной оптимизационной задачи с учетом некоторого ограничительного условия, налагаемого на функцию $f(U)$ в виде:

$$\int_0^{U_{\text{max}}} f(U) dU = C_1; \quad C_1 = \text{const}. \quad (14)$$

Смысл условия заключается в ограниченности водных ресурсов, предназначенных для ирригационных нужд. Целевой функционал оптимизации с учетом (10) и (14) составим в виде:

$$F_0 = \int_0^{U_{\text{max}}} [a + b(f(U) - 3,32k \exp(0,11U)) + c(f(U) - 3,32k \exp(0,11U))^2] dU + \lambda \left[\int_0^{U_{\text{max}}} f(U) dU - C_1 \right]. \quad (15)$$

Решение задачи (15) согласно методу Эйлера должно удовлетворить условию:

$$\frac{d[a + b(f(U) - 3,32k \exp(0,11U)) + c(f(U) - 3,32k \exp(0,11U))^2 + \lambda f(U)]}{df(U)} = 0. \quad (16)$$

Из (16) получаем:

$$b + c(f(U) - 3,32k \exp(0,11U)) + \lambda = 0. \quad (17)$$

Из (17) получаем:

$$f(U) = \frac{-\lambda - b}{c} + 3,32k \exp(0,11U). \quad (18)$$

С учетом (14) и (18) получим:

$$\int_0^{U_{\text{max}}} \left[-\left(\frac{\lambda}{c}\right) - \left(\frac{b}{c}\right) + 3,32 + k \exp(0,11U) \right] dU = C_1. \quad (19)$$

Из (19) имеем:

$$-\lambda = b - \frac{3,32kc}{0,11U_{\text{max}}} (\exp 0,11U_m - 1) + \frac{CC_1}{U_{\text{max}}}.$$

Следовательно,

$$\lambda = \frac{3,32kc}{0,11U_{\text{max}}} (\exp 0,11U_m - 1) - \frac{CC_1}{U_{\text{max}}} - b. \quad (20)$$

С учетом (18) и (20) получим:

$$f(U) = -\frac{3,32k}{0,11U_{\text{max}}} (\exp 0,11U_m - 1) + \frac{C_1}{U_{\text{max}}} + 3,32k \exp(0,11U) = [3,32 \exp(0,11U)] \times \left[1 - \frac{1}{0,11U_{\text{max}}} \right] + \frac{3,32k}{0,11U_{\text{max}}}. \quad (21)$$

С учетом отрицательности значения C можно заключить, что при решении (21) функционал (15) достигает максимума, т. к. производная (17) по $f(U)$ оказывается равной C .

Таким образом, при наличии ограничения на объем доступной ирригационной воды в виде (14) максимальная урожайность может быть достигнута при условии (21).

Заключение. Проведено модельное исследование функции урожайности при проведении ирригационных работ по методу кругового центра. Использованы известные модельные соотношения зависимости объема урожая от количества ирригационной воды, а также от величины эвапотранспирации. Составлены и решены оптимизационные задачи, позволяющие определить оптимальную зависимость объема ирригационных вод от скорости ветра, при которой возможно экстремальное количество урожая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Varzi M.M. Crop water production functions – a review of available mathematical method // J. of Agri. Scie. 2016. Vol. 8. No 4.
2. Irrigating soybeans by growth stages in Nebraska / N.L. Klocke, D.E. Eisenhauer, J.E. Specht, R.W., Elmore G.W. Hergert // Applied Engineering in Agriculture. 1989. 5(3). 361–366. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26528>.
3. Water production function and mathematical optimization of regulated deficit drip irrigated peach / S. Ismail, A.A. Omara, D. El-Ansary, V. Hamada // Agri. Bios. Eng. Dept. Pomology Dept. Faculty of Agric. Alexandria Univ. Egypt.
4. Irrigation-yield production functions and irrigation water use efficiency response of drought-tolerant and non-drought-tolerant maize hybrids under different irrigation levels, population densities and

environments / S. Irmak, A.T. Mohammed, W. Kranz, C.D. Yonts, S. Donk // Sustainability. 2020. 12. 358.

5. Cunha M.C. Irrigation management the optimization perspective.

6. Malve S.H., Rao P., Dhake A. Evaluation of water production function and optimization of water for winter wheat (*triticum aestivum* L.) under drip irrigation // America-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 2016. 16(7). P. 1389–1398.

7. Mendelsohn R., Wang J. The impact of climate on farm inputs in developing countries agriculture // Atmosfera. 2017. 30(2). 77–86.

8. Clark R.N., Finley W.W. Sprinkler evaporation losses in the southern plains // Dec. 15–18. 1975. Winter meeting of the American society of agricultural engineers. Chicago. P. 75–2573.

Амирова Туркан Назим гызы, ст. науч. сотрудник, stmz@list.ru (Институт Экологии Национального аэрокосмического агентства, Азербайджанская Респ., г. Баку).

УДК 631.6.02

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-7-11

АГРОЛАНДШАФТ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД



А.В. ТИНЫГАЕВ, Ю.В. ЧЕПРУНОВА, Р.П. ВОРОБЬЕВА, В.Б. ШЕПТАЛОВ

Ключевые слова: рекультивация, полигон, осадки сточных вод, агроландшафт.

Keywords: reclamation, landfill, sewage sludge, agrolandscape.

На сегодняшний день во многих регионах России необходимо проведение комплекса мероприятий по рекультивации полигонов ТКО в связи с их переполнением. При формировании экологически устойчивого агроландшафта при рекультивации полигона ТКО требуется внесение почвогрунта с высоким содержанием органического вещества и биогенных элементов. Осадки сточных вод являются хорошей альтернативой почвогрунту для рекультивации полигона ТКО из-за высокого содержания в них органического вещества и биогенных элементов.

Исследования проводились на полигоне ТКО, расположенном на северо-западной окраине г. Барнаула в пределах ранее существовавшего Льяного лога. Рекультивацию полигона проводили в два этапа: технический и биологический. Полевой опыт закладывали в трех вариантах: контроль (почва), смесь осадков сточных вод и почвогрунта (1:1), осадки сточных вод.

Содержание гумуса, азота, фосфора и калия в почвенных конструкциях зависело от внесенных осадков сточных вод и изменялось за годы исследования. Наибольшее содержание биогенных элементов отмечено в почвенной конструкции с использованием только осадков сточных вод.

Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур также получена на вариантах с использованием осадка сточных вод.

To date, in many regions of Russia, it is necessary to carry out a set of measures for the reclamation of landfills due to their overflow. When forming an ecologically sustainable agricultural landscape during the reclamation of the MSW landfill, the introduction of soil with a high content of organic matter and biogenic elements is required. Sewage sludge is a good alternative to soil for the reclamation of a landfill due to the high content of organic matter and biogenic elements in it.

The research was carried out at the MSW landfill located on the northwestern outskirts of Barnaul within the previously existing Flax Log. The landfill was recultivated in two stages: technical and biological. The field experience was laid in three variants: control (soil), a mixture of sewage sludge and soil (1:1), sewage sludge.

The content of humus, nitrogen, phosphorus and potassium in soil structures depended on the introduced sewage sludge and changed over the years of the study. The highest content of biogenic elements was noted in the soil structure using only sewage sludge.

The maximum yield of agricultural crops was also obtained on variants using sewage sludge.

Введение. Ежегодно в мире образуется более 2 млрд т твердых коммунальных отходов (ТКО), растет число полигонов их захоронения. На территории России масса ТКО достигла 8448,6 млн т, что на 21,5% выше уровня 2020 г. [1]. На сегодняшний день во многих регионах России необходимо проведение комплекса мероприятий по рекультивации полигонов ТКО в связи с их переполнением. Для стабилизации экологического состояния окружающей среды необходимо создать агроландшафт (ландшафт). Изучением рекультивации полигонов ТКО, а также проектированием ландшафтов и агроландшафтов занимались многие иностранные и отечественные ученые.

При формировании экологически устойчивого агроландшафта при рекультивации полигона ТКО требуется внесение почвогрунта с высоким содержанием органического вещества и биогенных элементов. Осадки сточных вод являются хорошей альтернативой почвогрунту для рекультивации полигона ТКО из-за высокого содержания в них органического вещества и биогенных элементов, с одной стороны. С другой стороны осадки сточных вод содержат различные поллютанты [2].

Цель исследования – выявить влияние внесения осадка сточных вод при рекультивации на агрохимические показатели почв и урожайность сельскохозяйственных культур агроландшафта.

Объект и методы исследования. Исследования проводились на полигоне ТКО, открытом в 1975 г., расположенном на северо-западной окраине г. Барнаула в пределах ранее существовавшего Льяного лога площадью 33,7 га. На полигоне ТКО накоплено 12680 тыс. т. отходов при предельной емкости 13200 тыс. т.

Территория полигона состоит из двух карт. Верхняя карта на период изысканий заполнена и не используется, нижняя – эксплуатируется, туда постоянно привозятся бытовые отходы.

В геоморфологическом отношении полигон расположен в пределах склона Приобского плато. Абсолютные отметки по устьям выработок изменяются от 243,7 до 251,9 м.

Морфологический состав размещения отходов представлен бытовыми и строительными отходами (табл. 1).

Согласно данным инженерно-геологических изысканий выделены следующие геологические элементы:

- ИГЭ-1 – насыпной грунт, смесь бытового и строительного мусора, отсыпан сухим способом, без изолирующих слоев, неравномерно по плотности и слоению, метод складирования отходов – навалом. Распространен по всей территории полигона, залегает первым по поверхности, пройденная мощность 2...30,2 м. Давность отсыпки грунта более 5 лет, грунт считается самоуплотненным. Расчетное значение плотности насыпного грунта равно 433,1 кг/м³. Расчетное сопротивление $R_0 = 80$ кПа.

- ИГЭ-2 – суглинок лессовидный, непросадочный, твердый с включением полутвердого и тугопластичного, желто-бурого, буровато-серого цвета, с карбонатными прожилками. Вскрытая мощность элемента 1...10 м.

На полигоне ТКО в северной его части выбран небольшой участок размером 45×17 м. Визуальный осмотр

данного участка позволил охарактеризовать его по критериям: твердые коммунальные отходы уплотнены, отмечено большое количество строительных и полимерных отходов. Участок имеет ровную поверхность, находится чуть ниже, чем основной массив полигона ТКО.

Концептуальная модель формирования агроландшафта на отработанном полигоне твердых коммунальных отходов с использованием осадков сточных вод реализована в Ramus Education по методологии IDEFO.

Для рекультивации полигона ТКО использовали осадки сточных вод (ОСВ) г. Барнаула со сроком хранения более 5 лет, взятые на комплексе очистных сооружений.

ОСВ г. Барнаула имеют реакцию среды 6,1, влажность 33%, Осадки сточных вод характеризуются значительным содержанием азота, фосфора и калия – 0,69; 1,9; 1,97% соответственно.

При использовании ОСВ в сельскохозяйственном производстве, а также при биологической рекультивации ТКО с целью создания агроландшафта важен анализ наличия тяжелых металлов в ОСВ (табл. 2).

Содержание поллютантов в ОСВ не превышает предельно-допустимые концентрации. По результатам проведенных исследований установлено, что ОСВ г. Барнаула полностью соответствуют требованиям СанПиН 1.2.3685–21 и ГОСТ Р 54534–2011.

Материалы и методы исследования. В исследовании использовали системный подход с применением общенаучных и специальных методов.

Агрохимические, санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические исследования проводились в аккредитованных лабораториях г. Барнаула.

Технология проведения технического этапа рекультивации включала несколько видов работ: выравнивание ТКО, планировка поверхности бульдозером, уплотнение тяжелым катком, создание противодиффузионного экрана из глины, вывоз на полигон почвогрунта и ОСВ и создание плодородного слоя.

Биологический этап включал посадку деревьев, вспашку почвогрунта и посев сельскохозяйственных растений.

Таблица 1

Морфологический состав размещения отходов

Виды отходов	Состав, %
Бытовые – 64%	
Полимерные материалы в т. ч. целлофан, пластик)	15
Бумага и картон	15
Древесные остатки	1
Текстиль	3
Стекло	4,3
Камни, керамика	8
Заполнитель – разложившиеся органические отходы	17,7
Строительные – 36%	
Куски бетона	16
Куски асфальта	9
Куски металла	5
Обломки кирпича	6

Таблица 2

Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка в ОСВ (в пересчете на сухое вещество)

Металл	Содержание, мг/кг		ПДК
	Min	Max	
Ртуть	0,021	0,32	15
Кобальт	4,6	103	–
Кадмий	0,12	20,1	30
Мышьяк	0,96	11,3	20
Никель	6,6	92,6	400
Марганец	180	656	–
Хром	16,8	105,3	1000
Молибден	3,5	5	–
Цинк	34,49	1186,1	3500
Свинец	3,7	91,2	500
Молибден	3,5	5	–

Завозили почвогрунт с площадки, расположенной на расстоянии 500 м от опытного участка. ОСВ брали из буртов, находящихся на расстоянии 2 км на иловых картах КОС 2.

Погрузку почвогрунта и ОСВ осуществляли с помощью бульдозера и экскаватора, доставку на опытный участок — большегрузным самосвалом КамАЗ. Перемешивание и разравнивание почвогрунта на поверхности поля — бульдозером.

Биологический этап рекультивации завершился в мае 2019 г. посевом озимой зерновой культуры тритикале и многолетних злаковых трав фестуолиум и коострец безостый. В это же время была проведена посадка древесно-кустарниковых растений: клен канадский, рябина обыкновенная и барбарис для лесомелиоративной защиты агроландшафта.

На рисунке представлена схема по проведению этапов рекультивации полигона ТКО на всех вариантах опыта. Варианты различаются составом почвогрунтов, которые использованы для создания плодородного слоя: почва, смесь осадков сточных вод и почвогрунта, осадки сточных вод.

Полевой опыт проведен на вновь сформированном участке полигона ТКО. Полевой опыт закладывали в трех вариантах [3–5]:

- контроль (почва);
- смесь осадков сточных вод и почвогрунта (1:1);
- осадки сточных вод.

На всех вариантах создавали плодородный слой мощностью 40 см, что позволило выращивать на участках растения.

Результаты исследований. Климат на полигоне ТКО г. Барнаула резко континентальный, с небольшим количеством осадков. Погодные условия в годы проведения исследований характеризовались значениями, близкими к средним многолетним. Наибольшая средняя температура в вегетационный период была 22 °С в 2019 г. За годы исследования минимальное количество осадков в вегетационный период выпало 185 мм в 2019 г., а максимальное в 2022 г. — 311 мм [6].

На опытном полевом участке рекультивированного полигона ТКО для формирования плодородного слоя были использованы почвы и ОСВ.

Количество биогенных элементов в почвенных конструкциях зависело от нормы внесения осадков сточных вод и грунта (табл. 3).

Содержание гумуса и питательных элементов во вновь созданном агроландшафте по вариантам опыта в период с 2020 по 2022 г. незначительно изменяется. За годы исследований содержание гумуса практически не изменялось.

Наибольшее содержание азота общего определено на варианте 3 (ОСВ) и составило 0,37%. Наименьшее со-

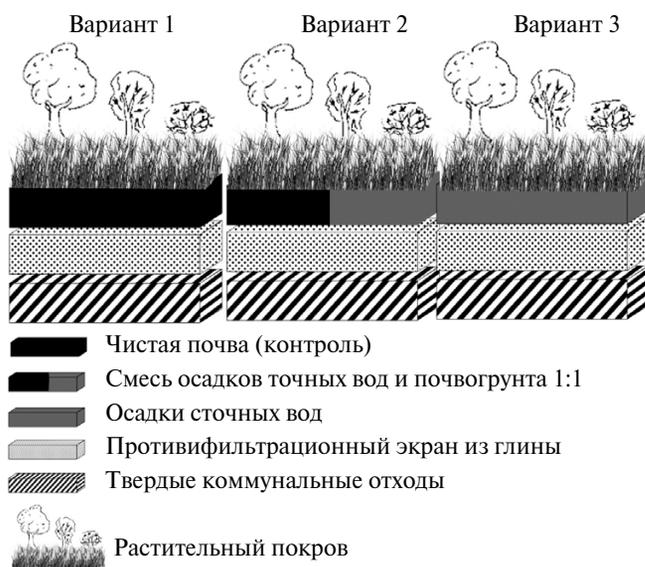


Схема рекультивации полигона

держание азота общего определено в почве. За период с 2020–2022 гг. его значение находилось на уровне 0,04...0,06%. На варианте ОСВ + почва содержание азота общего занимало промежуточное положение, но ближе к ОСВ (0,28...0,31%).

В ОСВ большая часть фосфора (70...90%) находится в неорганической форме. Содержание фосфора в почве влияет на рост растения. В первоначальных сформированных почвенных конструкциях общего фосфора по вариантам содержалось соответственно 0,35; 1,85; 2,38%. В последующие годы в динамике запасов общего фосфора прослеживалась динамика на его уменьшение за счет выноса урожаем.

Влияние на развитие растений также оказывает калий. Содержание калия общего в почве за 3 года исследований находилось примерно на уровне 1%. Во 2-м и 3-м вариантах, где были внесены осадки сточных вод, запасы калия общего увеличились незначительно.

Почвогрунты, помимо питательных элементов, в своем составе содержат загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы. Загрязняющие вещества

Таблица 3

Агрохимические показатели агроландшафта рекультивированного участка полигона ТКО г. Барнаула

Вариант	Год	pH _{сол}	pH _{водн}	Гумус, %	Азот общий, %	Фосфор общий, %	Калий общий, %
Контроль (почва)	2020	6,5	7,8	3,2	0,06	0,35	0,94
	2021	6,6	6,6	4	0,06	0,42	1,17
	2022	6,8	7,4	3,7	0,04	0,35	1,11
Смесь осадков сточных вод и почвогрунта (1:1)	2020	5,5	5,9	4,8	0,28	1,85	2,11
	2021	6,5	6,5	4,1	0,3	1,19	2,14
	2022	5,4	5,5	4,3	0,31	1,4	1,07
Осадок сточных вод	2020	5,7	5,8	8,7	0,23	2,38	0,98
	2021	5,4	5,4	8,5	0,36	2,03	1,4
	2022	5,5	5,7	9,2	0,37	1,92	0,98

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов и мышьяка во вновь созданных почвенных конструкциях агроландшафта, мг/кг

Вариант	Год	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Свинец	Цинк
Контроль (почва)	2020	0,36	0,69	0,016	13,6	45,14
	2021	0,26	0,77	0,017	12	39,6
	2022	0,13	0,71	0,016	11,5	44
Смесь осадков сточных вод и почвогрунта (1:1)	2020	0,43	0,98	0,019	86	65,42
	2021	0,26	0,64	0,018	61,5	35,65
	2022	0,27	0,83	0,019	46,2	49
Осадок сточных вод	2020	0,46	1,24	0,022	91,2	66,39
	2021	0,3	0,88	0,021	84,3	43,41
	2022	0,46	0,96	0,022	81	54
ПДК	—	30	20	15	500	3500

во вновь созданный агроландшафт вносятся с осадками сточных вод и зависят от их объема.

Результаты исследования почвенных конструкций на содержание в них тяжелых металлов и мышьяка доказывают, что эти поллютанты не могут служить препятствием для использования осадков сточных вод для формирования агроландшафта (табл. 4).

В 2020 г., когда закладывали полевой опыт, минимальное содержание тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка находилось в почвогрунте. В почвенных конструкциях агроландшафта, которые были образованы с использованием осадков сточных вод, содержание ТМ и мышьяка значительно возросло: кадмия — от 0,36 до 0,43 (почва + ОСВ) и до 0,46 мг/кг (ОСВ); мышьяка — от 0,69 до 0,98 (почва + ОСВ) и до 1,24 (ОСВ); ртути — от 0,016 до 0,019 (почва + ОСВ) и до 0,022 (ОСВ); свинца — от 13,6 до 86,0 (почва + ОСВ) и до 91,2 (ОСВ); цинка — от 45,14 до 65,42 (почва + ОСВ) и до 66,39 (ОСВ); меди — от 16,09 до 96,37 (почва + ОСВ) и до 126,1 (ОСВ) мг/кг. Несмотря на увеличение содержания ТМ и мышьяка в почвенных конструкциях агроландшафта, их содержание оставалось в количествах значительно ниже ПДК.

В 2022 г., когда завершали исследования, установили, что содержание ТМ и мышьяка в почвенных конструкциях агроландшафтов на всех вариантах уменьшилось.

На основании проведенных исследований на участке рекультивированного полигона была определена урожайность по вариантам полевого опыта. За три года исследований максимальная урожайность зерна тритикале получена на 2-м варианте. В 2020 г. урожайность составила 7,58 т/га, в 2021 г. она достигла значения 8,52 т/га, в 2022 г. снизилась до 4,4 т/га. Минимальная урожайность за все годы исследований была получена на варианте с почвой.

Максимальная урожайность зеленой массы фестулолиума за все годы исследований сформировалась на 3-м варианте (ОСВ). В 2020 г. она составила 9,9 т/га, в 2021 г. — 10,6 т/га, в 2022 г. — 10,7 т/га. Немного этому значению уступала урожайность на 2-м варианте. На контроле урожайность сформировалась самой низкой из всех вариантов.

Наибольшую продуктивность за годы исследований проявил костреч безостый. На этой культуре получена максимальная урожайность зеленой массы, которая в 2020 г. на 3-м варианте (ОСВ) составила 13 т/га. В 2021–2022 гг. на 3-м варианте также получена самая высокая урожайность.

Дисперсионный анализ данных по урожайности за годы исследования показал наличие значительных различий между вариантами. Степень влияния вариантов на урожайность составила более 80 %.

Выводы

1. Содержание гумуса, азота, фосфора и калия в почвенных конструкциях зависело от внесенных осадков сточных вод и изменялось за годы исследования. Наибольшее содержание биогенных элементов отмечено в почвенной конструкции с использованием только осадков сточных вод. Содержание азота общего на вариантах почва, ОСВ + почва, ОСВ изменялось за годы исследования: 0,04...0,06; 0,28...0,3; 0,23...0,37 % соответственно. Содержание фосфора общего на вариантах почва, ОСВ + почва, ОСВ изменялось за годы исследования, соответственно, с 0,35...0,42, 1,19...1,85, 1,92...2,38 %. Содержание калия общего на вариантах почва, ОСВ + почва, ОСВ изменялось за годы исследования, соответственно, с 0,94...1,11, 1,07...2,14, 0,98...1,40 %.

2. За 3 года исследований максимальная урожайность зерна тритикале получена на 2-м варианте и изменялась с 4,4...8,52 т/га, максимальная урожайность зеленой массы фестулолиума за все годы исследований сформировалась на варианте ОСВ и изменялась с 9,9–10,7 т/га, максимальная урожайность зеленой массы костреча безостого была получена на варианте ОСВ и изменялась с 10,3–13 т/га. Минимальная урожайность всех сельскохозяйственных культур за все годы исследований была получена на варианте почва.

Заключение. Таким образом, осадки сточных вод — безопасным и экономически эффективным вариантом использования вторичных ресурсов, применяемых для рекультивации нарушенных земель (полигонов ТКО).

ЛИТЕРАТУРА

- О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году: государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. 685 с.
- Использование осадка сточных вод / Р.П. Воробьева, А.С. Давыдов, Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев, В.Б. Шепталов. Новосибирск: Наука, 2020. 192 с.
- Чепрунова Ю.В., Тиньяев А.В., Шепталов В.Б. Урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур на вновь созданном агроландшафте рекультивируемого полигона твердых коммунальных отходов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 4(198). С. 49–54.

4. Чепрунова Ю.В., Тингаев А.В. Формирование агроландшафта на обработанном полигоне твердых коммунальных отходов с использованием осадков сточных вод // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной безопасности. 2022. С. 133–138.

5. Tingayev A.V., Cheprunova Y.V. Impact of pollutants in the soil of the agrolandscape of the recultivated landfill on crops // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14, Issue 2. P. 373–38.

6. Тингаев А.В., Терещенко Т.В. Обоснование орошения костреца безостого в условиях рекультивируемого полигона твердых коммунальных отходов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 11(217). С. 79–84.

REFERENCES

1. Report on the State and Protection of Environment in the Russian Federation in 2021.

2. Use of sewage sludge / R.P. Vorobyeva, A.S. Davydov, G.E. Merzlaya, R.A. Afanasyev, V.B. Sheptalov. Novosibirsk: Nauka, 2020.

3. Cheprunova Y.V., Tingaev A.V., Sheptalov V.B. Yield and quality of agricultural crops in the newly created agricultural landscape of the recultivated landfill of solid municipal waste // Vestnik of Altai State Agrarian University. 2021. № 4(198). С. 49–54.

4. Cheprunova Y.V., Tingaev A.V. Formation of agricultural landscape on the waste landfill of solid municipal waste using sewage sludge // The role of land reclamation in food security. 2022. С. 133–138.

5. Tingayev A.V., Cheprunova Y.V. Impact of pollutants in the soil of the agrolandscape of the recultivated landfill on crops // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14, Issue 2. P. 373–38.

6. Tingaev A.V., Tereshchenko T.V. Rationale for irrigation of awnless bromegrass in the conditions of the reclaimed landfill of solid municipal waste // Vestnik of Altai State Agrarian University. 2022. № 11(217). С. 79–84.

Тингаев Анатолий Владимирович, доктор техн. наук, доцент, зав. кафедрой экономики, анализа и информационных технологий, avtin@mail.ru (ФГБОУ ВО «Алтайский ГАУ»); **Чепрунова Юлия Владимировна**, аспирантка (ФГБОУ ВО «Алтайский ГАУ»), ст. преподаватель, zubkova.ula@mail.ru (ФГБОУ ВО «АлтГПУ»); **Воробьева Раиса Петровна**, доктор с.-х. наук, учредитель ООО «Алтайагрохимсоюз Плюс»; **Шепталов Вячеслав Борисович**, канд. с.-х. наук, alt.22@mail.ru, ген. директор (ООО «Алтайагрохимсоюз Плюс»).

УДК 502/504:631.672.4:621.3.087.47:681.586.48

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-11-15

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА РЫХЛИТЕЛЯ ОБЪЕМНОГО ТИПА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ АГРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ



В.И. БАЛАБАНОВ, Ю.П. ЛЕОНТЬЕВ, А.А. МАКАРОВ, Н.Б. МАРТЫНОВА, Х.А. АБДУЛМАЖИДОВ

Ключевые слова: агрофизические свойства почвы плотность, пористость, влажность, разрыхление, почвенная структура, почвенные агрегаты, тяговое сопротивление, рабочий орган мелиоративного рыхлителя объемного типа.

Keywords: agrophysical properties of soil density, porosity, moisture content, loosening, soil structure, soil aggregates, traction resistance, working body of a volumetric reclamation cultivator.

Наиболее эффективным способом улучшения показателей агрофизических свойств почв и регулирования строения пахотного и нижележащих слоев грунта является его глубокая обработка без оборота пласта. Описывается методика и приводятся результаты сравнительных экспериментальных исследований трех типов рабочих органов мелиоративных рыхлителей объемного типа, на основании которых рекомендуется для практического применения более рациональная конструкция.

The most effective way to improve the indicators of the agrophysical properties of soils and regulate the structure of the arable and underlying soil layers is its deep processing without reversing the layer. The technique is described and the results of comparative experimental studies of three types of working bodies of volumetric reclamation rippers are presented, on the basis of which a more rational design is recommended for practical use.

Введение. В современных условиях Нечерноземной зоны России важнейшей проблемой является окультуривание, улучшение свойств почв сельхозугодий, возвращения в эксплуатацию земель сельскохозяйственного назначения. В соответствии с агрофизическими факторами плодородия (гранулометрический состав, структура, строение и мощность пахотного и подпахотных слоев) применяют физический метод, направленный на изменение основных агрофизических свойств почвы таких, как строение пахотного слоя, его плотность, пористость и структурное состояние. Как известно, строение пахотного слоя (соотношение объемов, занимаемых твердой фазой и различными видами пор) определяется гранулометрическим составом, агрегатностью почвы и взаимным расположением почвенных частиц и комков, т. е. сложением почвы. В формировании почвенной структуры участвуют два основных процесса: механическое разделение почвы на агрегаты (рыхление) и, в дальнейшем образование из элементарных почвенных частиц структурных комков. Эти структурные отдельности имеют различный механизм образования и определяют раз-

личные водно-физические свойства почв. Структура почвы положительно влияет на физические и физико-механические свойства почвы и противозерозионную устойчивость почв. Важную роль при формировании почвенной структуры играет вода. При этом одним из основных водных свойств почвы является ее водопроницаемость (фильтрационная способность), зависящая от механического состава грунта. А также такие свойства почвы как, водоудерживающая при помощи сорбционных и капиллярных сил и водоподъемная способности. На тяжелых глинистых почвах водопроницаемость низкая, коэффициент фильтрации составляет менее чем 0,1...0,3 м в сутки. Наиболее быстрым и эффективным способом изменения строения является обработка, приемы которой повышают общую пористость, увеличивая в основном объем некапиллярных пор, это в свою очередь улучшает водно-воздушные свойства и усиливает микробиологическую активность почвы [12, 13, 17].

Рядом исследований обоснована необходимость глубокого мелиоративного рыхления тяжелых увлажненных почв, которые преобладают в Нечерноземной зоне России [2, 3]. Рыхление таких почв способствует значительному увеличению их водопроницаемости в 2 и более раз. Этот эффект сохраняется в течение первых двух трех лет после проведения глубокого рыхления [2, 16].

Анализ предшествующих исследований рабочего оборудования для глубокого рыхления позволил выявить наиболее рациональный тип рыхлителя, такие как РГ-1,2; РГ-0,5; РГ-0,8, имеющие рабочий орган V-образной формы, который представляет из себя незамкнутый контур в виде двух наклонных стоек закрепленных в нижней части режущим элементом – лемехом [3]. Процесс рыхления у таких рабочих органов происходит в основном за счет трехмерного сжатия грунта, поэтому их можно отнести к рыхлителям объемного типа. Однако установлено, что физические явления разрушения при объемном сжатии пласта грунта недостаточно изучены. Также недостаточно обосновано влияние формы боковых стоек и углов установки режущих элементов в пространстве на технологические параметры и качество рыхления.

Цель исследования. С целью выбора рациональной конструкции и основных параметров рабочего органа мелиоративного рыхлителя объемного типа, обеспечивающих агрофизические свойства почвы и грунта в соответствии с агротехническими требованиями,

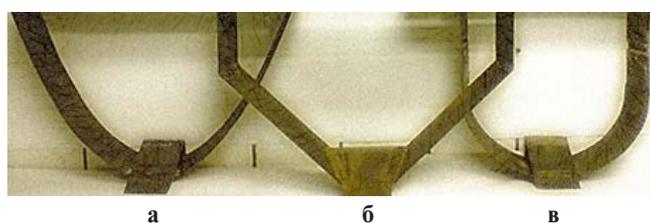


Рис. 1. Модели рабочего органа объемного рыхлителя с различной формой рыхлящих стоек: а – криволинейные; б – прямые; в – вертикальные с нижней полукруглой кромкой

а также изучения физических явлений при глубоком рыхлении были проведены сравнительные экспериментальные исследования трех рабочих органов разной конструкции.

Материалы и методы исследований. Проведены 2-факторные эксперименты трех рабочих органов – с углами установки режущих элементов, принятыми по результатам ранее выполненных нами опытов [4, 5, 14]. Для исследований изготовлены рыхлители с прямыми боковыми стойками, с криволинейными стойками (в виде элементов параболы) и с вертикальными стойками, переходящими в нижней части в полукруглость (рис. 1). В качестве базового рабочего органа, был выбран рыхлитель с V-образным расположением боковых стоек, как наиболее известный и реализованный в виде практической конструкции (далее № 1) [2]. Модель № 2 с криволинейными боковыми стойками, являющимися частями параболы, соединенными в нижней части с лемехом [10, 11]. Модель № 3, с U-образным режущим периметром, выполнена в виде полукруглости в нижней части, и вертикальных боковых стоек. По ширине рыхления в верхней части между боковыми стойками модели 1 и 2 были выполнены с одинаковым расстоянием.

В качестве изменяемых факторов являлись глубина h и влажность w грунта, функцией отклика – тяговое усилие (таблица). Результаты опытов были пересчитаны по теории физического моделирования на натуре. Число параллельных повторов каждого опыта – не менее трех. В процессе исследований определялось тяговое усилие, наблюдался характер деформации и разрушения грунта. Оценивались и измерялись перемещения и параметры разрыхленного грунта.

Результаты эксперимента были представлены уравнением регрессии типа:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1X_2, \quad (1)$$

где Y – оценка значений функции отклика, т. е. тяговое усилие F , b_0, b_1, b_2 – оценки коэффициентов уравнения регрессии, X_1, X_2 – независимые переменные, влияющие на Y , т. е. h, w соответственно.

В процессе опытов определялся объемный вес грунта, до и после рыхления, а также коэффициент разрыхления. При проведении каждого опыта оценивалась структура разрыхленного грунта инструментальным методом и методом фрактального анализа, для этого до и после обработки грунта производилось фотографирование срезов грунта в высоком разрешении [6–8]. На компьютере осуществлялась сортировка, предварительная подготовка и анализ снимка. Фрактальная размерность определялась с использованием Gwyddion – модульной программы анализа данных, изначально предназначенной для обработки данных. Од-

Основные характеристики 2-факторного эксперимента $2^2 = 4$

Уровень фактора	Фактор	
	$X_1 (h, м)$	$X_2 (w, \%)$
Верхний (+)	0,68	18
Нижний (-)	0,4	8
Базовый X_{0i}	0,54	13

ним из инструментов статистической обработки изображений в данной программе является функция определения фрактальной размерности Fractal Dimension. При помощи данной программы определялась фрактальная размерность клеточным способом [15].

Результаты исследования и их обсуждение. В результате экспериментов получены уравнения регрессии в натуральных единицах:

Для рабочего органа рыхлителя с прямыми стойками (№ 1):

$$F = 3,74 + 23,3h - 0,17w + 1,3hw.$$

Для рабочего органа рыхлителя с параболическими стойками (№ 2):

$$F = -5,56 + 37,86h - 0,77w + 0,86hw.$$

Для рабочего органа рыхлителя с полукруглой нижней кромкой (№ 3):

$$F = -31,4 + 104,93h - 0,07w + hw.$$

Анализ результатов исследования показал, что наиболее значимым фактором является глубина рыхления, а также следует отметить влияние на усилие F и качество рыхления формы боковых стоек. На малой глубине рыхления величина тягового усилия для моделей отличается незначительно. При глубине 0,68 м наименьшее значение наблюдалось для рабочих органов № 1 и № 2, причем для рабочего органа № 2 меньше на 3,7 % (при $w = 8\%$) и на 5,2 % (при $w = 18\%$). Усилие для модели № 3 было существенно больше, чем у модели № 2, а именно – на 86 % (при $w = 8\%$) и на 57 % (при $w = 18\%$).

По качеству разрыхления, однородности грунта, наличию наиболее мелких фракций, а также по силовым зависимостям наиболее рациональным можно считать рабочий орган с параболическими стойками (№ 2). Наличие крупных фракций грунта (60...75 мм) составляло не более 7 %, а большая часть комьев размером до 30 мм составляла 63 % (рис. 2).

Опыты с применением методов фрактального анализа практически совпадают с результатами инструментальных измерений. Кроме этого, опыты позволили получить графическую картину результатов рыхления при скорости 0,2 м/с (рис. 3).

Наиболее однородная структура грунта без комьев больших размеров образовывалась в результате рыхления рыхлителем с параболическими стойками.

С целью уточнения влияния влажности грунта на сопротивление рыхлению, а также получения зависимости удельного сопротивления рыхлению от глубины проведены однофакторные опыты с каждым рабочим органом.

Анализ результатов однофакторных опытов позволил установить, что влажность грунта при увеличении в пределах от 8 до 18 % приводит к увеличению тягового усилия, для модели с параболическими стойками примерно на 18...25 %, а для U -образной модели на 20...30 %. Это можно объяснить большим сопротивлением грунта при прохождении всей его массы между

боковыми стойками, расположенными вертикально U -образной модели, а также большой степенью слипания фрагментов грунта и увеличением сопротивления перемещения его слоев за счет значительного сжатия.

Рост фрактальной размерности до средних значений влажности 13...15 %, начинающийся с относительно малых величин, составляющих 5...7 % можно объясняться положительным воздействием воды на грунт, обеспечивающим надлежащую организацию самоподобных структур в грунте. Повышение влажности более 18 % приводит к гомогенизированию грунта.

Сравнение тягового усилия позволило сделать определенный вывод о довольно существенном увеличении усилия для U -образного рыхлителя по сравнению с параболическим, причем при увеличении глубины отличие усилия возрастает. Так, на глубине 0,68 м у рыхлителя № 3 усилие было больше на 28...33 % чем у рыхлителя № 2, причем большие значения получены для грунта с влажностью 18 %. Значительное увеличение сопротивления происходит за счет интенсивного сжатия и подъема грунта между боковыми стойками. У рабочего органа с V -образным расположением стоек (№ 1) и параболической формы (№ 2) результаты по тяговому сопротивлению различались незначительно – у № 1 на 10...12 % больше.

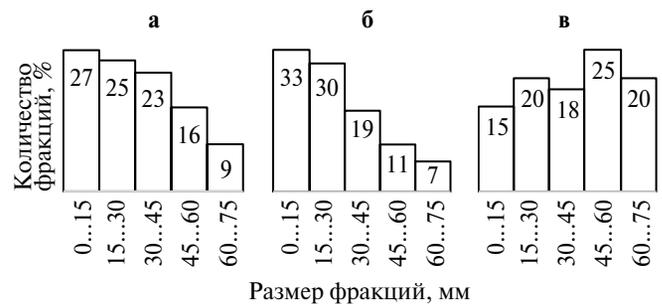


Рис. 2. Распределение фракций разрыхленного грунта по размерам для объемного рыхлителя: а – с V -образными стойками; б – с параболическими стойками; в – с U -образными стойками

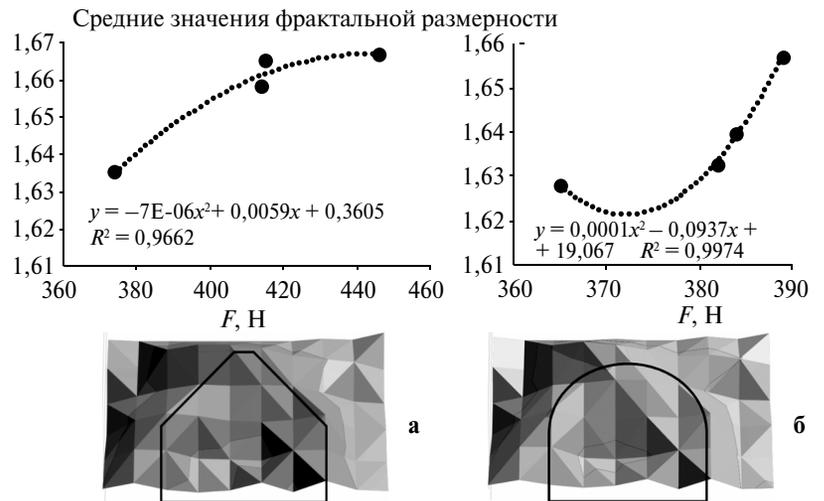


Рис. 3. Распределение фрактальной размерности и зависимости ее средних значений от тягового сопротивления для объемных рыхлителей: а – с V -образными стойками; б – с параболическими стойками

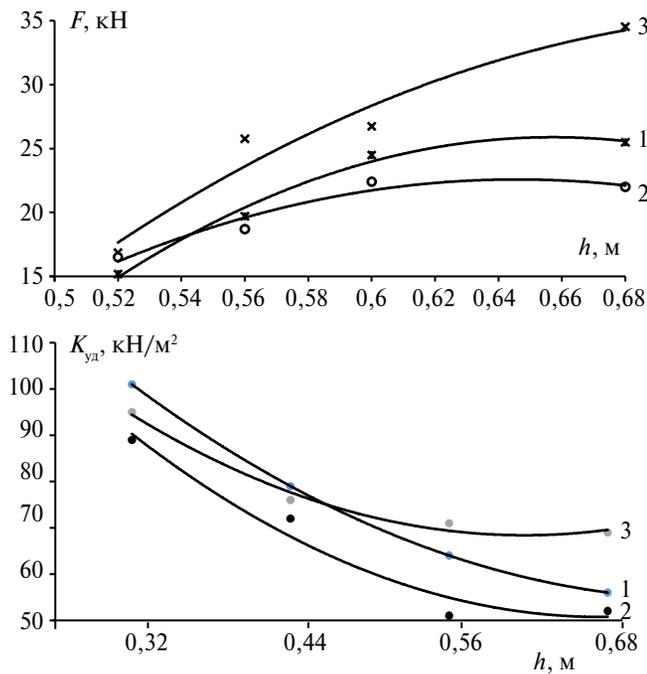


Рис. 4. Зависимость тягового усилия и удельного сопротивления рыхлению от глубины для рыхлителей: 1 – с прямыми стойками; 2 – с криволинейными стойками; 3 – с U-образными вертикальными стойками

Наибольший коэффициент разрыхления K_p получен для рыхлителя с U-образным режущим профилем, величина которого составила 1,28...1,35 при образовании довольно крупных агрегатов грунта. Для параболического рыхлителя значение $K_p = 1,25...1,3$ имело промежуточное значение, а для V-образного $K_p = 1,18...1,2$ – наименьшее значение.

Опытные данные позволили установить зависимость изменения удельного сопротивления от глубины рыхления [9]. При малой глубине наблюдалось наибольшее значение $K_{уд}$, с увеличением глубины рыхления значения $K_{уд}$ уменьшались, причем, для U-образного рабочего органа минимальное значение наблюдалось при глубине рыхления примерно 0,5 м (рис. 4).

При дальнейшем увеличении глубины h величина $K_{уд}$ для прямолинейного и параболического рабочих органов продолжало уменьшаться при заметной тенденции к стабилизации, а для U-образного наблюдалось плавное увеличение $K_{уд}$.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов рабочий орган № 2 с криволинейными стойками в форме параболы является наиболее приемлемым для мелиоративного рыхления.

Выводы

1. По результатам регрессионного анализа было установлено, что наиболее значимым фактором является глубина рыхления. Наибольшее влияние на увеличение сопротивления рыхлению и наименее пригодная структура по агротехническим требованиям наблюдалась для рабочего органа № 3.

2. По качеству разрыхления, однородности разрыхленного грунта, наличию наиболее мелких фрак-

ций наиболее рациональным можно считать рабочий орган с параболическими стойками. Наличие крупных фракций грунта (60...75 мм) составляло до 7%, а большая часть фракций размером до 30 мм составляла 63%. Коэффициент разрыхления рабочих органов № 1 и № 2 составил 1,18 и 1,3. Также более интенсивное уменьшение плотности наблюдалось у рыхлителя с параболическими стойками.

3. По результатам регрессионного анализа, а также однофакторных опытов с оценкой результатов методом фрактального анализа было установлено, что с увеличением влажности наблюдалось слипание агрегатов в более крупные комья, фрактальная размерность увеличивалась.

Заключение. Сравнительные исследования трех типов рабочих органов объемных рыхлителей различной конструкции показали, что более рациональным для практического применения следует считать рабочий орган с параболическими стойками как наиболее удовлетворяющий агрономическим требованиям для глубокого рыхления и в большей степени улучшающий агрофизические свойства почвы. Таким образом, рабочий орган этого типа можно рекомендовать для практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России / А.В. Колганов, Н.В. Сухой, В.Н. Шкура, В.Н. Шедрин; под общ. ред. В.Н. Шедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 222 с.
2. Кизяев Б.М. Агромелиоративные мероприятия на переувлажненных минеральных почвах. М.: ВНИИА, 2013. 140 с.
3. Кизяев Б.М., Маммаев З.М. Культуртехнические мелиорации: технологии и машины. М.: Ассоциация ЭкоСт, 2003. 399 с.
4. Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. Экспериментальные исследования моделей рабочих органов глубокорыхлителей с различной конструкцией боковых стоек // Природообустройство. 2013. № 3. С. 81–85.
5. Леонтьев Ю.П., Цветков И.В., Макаров А.А. Оценка эффективности глубокого рыхления грунтов большой плотности рабочими органами объемного типа // Сборник статей по итогам II Международной научно-практической конференции «Горячкинские чтения», посвященной 150-летию со дня рождения академика В.П. Горячкина (Москва, 18 апреля 2018 г.). М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. С. 121–125.
6. Моделирование режимов работы объемного рыхлителя методом фрактального анализа / И.В. Цветков, Ю.П. Леонтьев, И.М. Жогин [и др.]: материалы международной научной конференции (Москва, 5–7 декабря 2017 г. // Доклады ТСХА. Вып. 290. Ч. 2. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. С. 154–156.
7. Оценка эффективности рыхления грунта методом фрактального анализа / И.В. Цветков, А.А. Макаров, А.Н. Насонов, И.М. Жогин, Х.А. Абдужабаров, М.М. Камалов // Материалы международной научной конференции. М.: Изд-во ВНИИА, 2017. С. 379–384.
8. Зависимость фрактальных параметров обрабатываемого грунта от тягового усилия на рабочем органе объемного рыхлителя / Х.М. Абдужабаров, И.М. Жогин, М.М. Камалов, А.А. Макаров // Сборник статей по итогам II Международной научно-практической конференции «Горячкинские чтения», посвященной 150-летию со дня рождения академика В.П. Горячкина (Москва, 18 апреля 2018 г.). М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. С. 34–39.

9. Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. Определение удельного сопротивления рыхлению грунта объемным рыхлителем // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы международной научно-практической конференции (Москва, 29–30 марта 2016 г.). Т. II. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2016. С. 26–29.

10. Патент № 2484610 С1 Российская Федерация, МПК А01В 15/00, А01В 13/10. Объемный мелиоративный рыхлитель / А.А. Макаров, Ю.П. Леонтьев: № 2011152071/13: заявл. 21.12.2011: опубл. 20.06.2013.

11. Патент на полезную модель № 136673 У1 Российская Федерация, МПК А01В 13/10. Объемный мелиоративный рыхлитель с дополнительным оборудованием / Ю.Г. Ревин, Ю.П. Леонтьев, А.А. Макаров. № 2013119859/13: заявл. 23.08.2013: опубл. 20.01.2014.

12. Мартынова Н.Б., Балабанов В.И., Абдулмажидов Х.А. Машины для очистки каналов на мелиоративных системах. М.: Изд-во «Знание-М», 2022. 86 с.

13. Балабанов В.И., Леонтьев Ю.П., Макаров А.А. Оценка неравномерности глубины рыхления мелиорируемых земель рабочим органом мелиоративного рыхлителя // Агроинженерия. 2021. № 6(106). С. 20–25.

14. Фирсов М.М. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственной техники. М.: Изд-во МСХА, 1999. 127 с.

15. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исслед., 2002. 856 с.

16. Исследование факторов, влияющих на урожайность картофеля / Г.Е. Шардина, М.В. Карпов, Д.О. Семенов, Е.С. Нестеров // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения проф. А.Г. Рыбалко (Саратов, 12 июля 2016 г.); под общ. ред. Е.Е. Демина. Саратов: Центр социальных агроинноваций СГАУ, 2016. С. 88–90.

17. Перспективы разработки почвообрабатывающего оборудования для основной полосовой обработки почвы / А.А. Протасов, М.В. Карпов, А.Г. Шаповалов [и др.] // Научная жизнь. 2019. Т. 14, № 7(95). С. 1122–1132.

REFERENCES

1. Development of land reclamation for agricultural purposes in Russia / A.V. Kolganov, N.V. Sukhoi, V.N. Shkura, V.N. Shchedrin; under total ed. V.N. Shchedrin. Novocheerkassk: RosNIIPM, 2016. 222 p.

2. Kizyaev B.M. Agroreclamation measures on waterlogged mineral soils. M.: VNIIA, 2013. 140 p.

3. Kizyaev B.M. Mammaev, Z.M. Cultural melioration: technologies and machines. M.: Association Ecost, 2003. 399 p.

4. Leontiev Yu.P., Makarov, A.A. Experimental studies of models of working bodies of subsoilers with different designs of side racks // Nature management. 2013. No. 3. P. 81–85.

5. Leontiev Yu.P., Tsvetkov I.V., Makarov A.A. Evaluation of the efficiency of deep loosening of high-density soils by working bodies of a volumetric type // Collection of articles on the results of the II International Scientific and Practical Conference «Goryachkinsky readings» dedicated to the 150th anniversary of Academician V.P. Goryachkina (Moscow, April 18, 2018). M.: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy. K.A. Timiryazev, 2019. S. 121–125.

6. Modeling of operating modes of a volumetric ripper by the method of fractal analysis / I.V. Tsvetkov, i dr. Issue 290, Part 2. M.:

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy. K.A. Timiryazev, 2018. S. 154–156.

7. Estimation of soil loosening efficiency by fractal analysis / I.V. Tsvetkov, A.A. Makarov, A.N. Nasonov, I.M. Zhogin, Kh.A. Abdujabbarov, M.M. Kamalov // Materials of the international scientific conference. M.: Ed. VNIIA, 2017. S. 379–384.

8. Dependence of the fractal parameters of the cultivated soil on the traction force on the working body of the volumetric ripper / Kh.M. Abdujabbarov, I.M. Zhogin, M.M. Kamalov, A.A. Makarov // Collection of articles based on the results of the II international scientific and practical conference «Goryachkinsky readings», dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician V.P. Goryachkina (Moscow, April 18, 2018). M.: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy. K.A. Timiryazev, 2019. S. 34–39.

9. Leontiev Yu.P., Makarov A.A. Determination of the specific resistance to soil loosening by a volumetric ripper // Melioration and water management: problems and solutions: materials of the international scientific and practical conference, Moscow, 29–30 March, 2016. Vol. II. M.: All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikova, 2016. S. 26–29.

10. Patent No. 2484610 C1 Russian Federation, IPC A01B 15/00, A01B 13/10. Volumetric reclamation ripper / A.A. Makarov, Yu.P. Leontiev: No. 2011152071/13: Appl. 12/21/2011: publ. 06/20/2013.

11. Utility model patent No. 136673 U1 Russian Federation, IPC A01B 13/10. Volumetric reclamation cultivator with additional equipment / Yu.G. Revin, Yu.P. Leontiev, A.A. Makarov: No. 2013119859/13: App. 08/23/2013: publ. 01/20/2014.

12. Martynova N.B., Balabanov V.I., Abdulmashidov Kh.A. Machines for cleaning canals in reclamation systems. M.: Publishing house «Knowledge-M», 2022. 86 p.

13. Balabanov V.I., Leontiev Yu.P., Makarov A.A., Evaluation of the unevenness of the depth of loosening of reclaimed lands by the working body of a meliorative ripper // Agroengineering. 2021. No. 6(106). S. 20–25.

14. Firsov M.M. Planning an experiment in the creation of agricultural machinery. M.: Publishing house of the Moscow Agricultural Academy, 1999. 127 p.

15. Mandelbrot B. Fractal geometry of nature. M.: Institute of Computer Research, 2002. 856 p.

16. Study of factors influencing potato yield / G.E. Shardina, M.V. Karpov, D.O. Semenov, E.S. Nesterov // Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the professor Rybalko A.G.: materials of the international scientific and practical conference (Saratov, July 12, 2016); ed. by E.E. Demin. Saratov: Center for Social Agro-Innovations SSAU, 2016. P. 88–90.

17. Prospects for the development of tillage equipment for the main strip tillage / A.A. Protasov, M.V. Karpov, A.G. Shapovalov [et al.] // Scientific Life. 2019. T. 14, No. 7(95). S. 1122–1132.

Балабанов Виктор Иванович, доктор техн. наук, профессор, vbalabanov@rgau-msha.ru; **Леонтьев Юрий Петрович**, канд. техн. наук, доцент, rik831@mail.ru; **Макаров Александр Алексеевич**, ст. преподаватель, makaleksandr17@yandex.ru; **Мартынова Наталья Борисовна**, канд. техн. наук, доцент, nmartinova@rgau-msha.ru; **Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович**, канд. техн. наук, доцент, hamzat72@mail.ru (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева).

В журнале «Мелиорация и водное хозяйство» № 1, 2023 неверно указан телефон Клюкина Александра Никандровича.

Правильный номер: +7(926) 824-42-68

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ИНВЕНТАРИЗАЦИИ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ



Н.Н. ДУБЕНОК, Ю.В. ЧЕСНОКОВ, А.Ф. ПЕТРУШИН

Ключевые слова: база знаний, онтология, аэрофотосъемка, дренажные системы, данные дистанционного зондирования.

Keywords: knowledge base, ontology, aerial photography, drainage systems, remote sensing data.

С целью выполнения Государственной программы ввода в оборот земель сельскохозяйственного назначения, необходимо провести инвентаризацию мелиорированных земель, которые составляют большинство в структуре сельскохозяйственного производства Нечерноземной зоны. Перспективным направлением для оперативной оценки состояния осушительных мелиоративных систем представляется использование данных дистанционного зондирования с применением элементов искусственного интеллекта. Высоким потенциалом для решения таких задач обладает применение беспилотных летательных аппаратов, которые позволяют получать в сжатые сроки качественные изображения сельскохозяйственной территории в различных спектрах съемки.

In order to implement the State program for the introduction of agricultural land into circulation, it is necessary to conduct an inventory of reclaimed lands, which make up the majority in the structure of agricultural production in the Non-Chernozem Zone. A promising direction for the operational assessment of the state of drainage reclamation systems is the use of remote sensing data using elements of artificial intelligence. A high potential for solving such problems has the use of unmanned aerial vehicles, which make it possible to obtain high-quality images of an agricultural area in various imaging spectra in a short time.

По словам основателя науки о мелиорации земель нашей страны академика ВАСХНИЛ А.Н. Костякова, мелиорация – это улучшение сельскохозяйственных земель путем организационных и технических мероприятий. К организационным мероприятиям в определении слова «мелиорация» относятся учет и контроль. 19 декабря 2022 г. Президентом Российской Федерации подписан измененный ФЗ-4 «О мелиорации земель» и на данный момент необходимо определить: каким образом вводить в оборот неиспользуемые мелиорированные сельскохозяйственные земли в нашей стране, согласно Государственной программе РФ до 2030 г. Основной упор, по нашему мнению, необходимо сделать на инвентаризацию мелиорированных земель и мелиоративных систем страны. Согласно действующим инструкциям инвентаризация мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений – это сбор и систематизация сведений о наличии, месте нахождения, площади, техническом состоянии, стоимости и других характеристиках мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

По действующему законодательству Российской Федерации обязанность проведения инвентаризации основных средств возлагается на их балансодержателей, а мелиорированные сельскохозяйственные земли, как и другие земельные ресурсы один раз в 10 лет переписываются в установленном порядке. Данные последней переписи сельскохозяйственных земель в нашей стране проведена в 2021 г., результаты по Северо-Западному Федеральному округу представлены в таблице.

Инвентаризация же мелиорированных земель страны проводилась в 2010 г., согласно поручению губернаторам субъектов Российской Федерации от Министра сельского хозяйства

Наличие и использование в сельскохозяйственном производстве мелиорированных сельскохозяйственных угодий по состоянию на 01.01.2022, тыс. га

Федеральные округа, республики, края, области	Мелиорированные сельхозугодья			Используется в сельхозпроизводстве		
	Всего	в том числе		Всего	в том числе	
		орошаемые	осушенные		орошаемые	осушенные
Республика Карелия	62,800	0,000	62,800	39,467	0,000	39,467
Республика Коми	50,657	0,000	50,657	12,881	0,000	12,881
Архангельская область	73,900	0,000	73,900	35,308	0,000	35,308
Вологодская область	244,870	2,269	242,601	146,784	1,376	145,408
Калининградская область	596,322	1,822	594,500	427,058	1,216	425,842
Ленинградская область	362,244	11,202	351,042	293,194	11,202	281,992
Мурманская область	15,100	0,000	15,100	10,600	0,000	10,600
Новгородская область	180,776	0,476	180,300	134,976	0,476	134,500
Псковская область	250,900	0,700	250,200	171,000	0,000	171,000
Северо-Западный ФО	1837	16	1821	1271	14	1257

РФ Е. Скрынник, (письмо ЕС-20–279931). В соответствии с Федеральным законом от 18.06.2001 № 78-ФЗ (ред. от 31.12.2017) «О землеустройстве». Инвентаризация земель проводится для уточнения или установления местоположения объектов землеустройства, их границ (без закрепления на местности), выявления неиспользуемых, нерационально используемых или используемых

не по целевому назначению и не в соответствии с разрешенным использованием земельных участков, других характеристик земель.

Главной целью последней инвентаризации мелиорированных земель было определение собственников мелиоративных систем. К сожалению, поставленная цель во исполнение решения Комиссии Правительства Российской Федерации по вопросам агропромышленного и рыбохозяйственного комплекса (протокол № 14 от 22.11.2006) так и не была достигнута.

Согласно последним опубликованным данным [1], доля мелиорированных земель в структуре сельскохозяйственного производства Нечерноземной зоны РФ составляет 3569,1 тыс. га. Используются же по данным того же источника только 2536,6 тыс. га. Значит сегодня осушенные мелиорированные земли площадью более миллиона гектар только в Нечерноземной зоне РФ продолжают зарастать древесно-кустарниковой растительностью. Заиливается и зарастает корнями растений трубчатый дренаж, открытая осушительная сеть заросла кустарником и мелколесьем, разрушаются устьевые сооружения, трубы-переезды, смотровые колодцы и другие гидротехнические сооружения из-за бездействия лиц на которых должна быть возложена ответственность за исправное состояние объекта мелиорации в соответствии с Правилами эксплуатации осушительных мелиоративных систем Российской Федерации [2].

Учеными Агрофизического научно-исследовательского института в сотрудничестве с коллегами из РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева на протяжении ряда лет проводятся научные исследования по применению дистанционных методов для обследования осушенных мелиорированных земель с использованием беспилотных летательных аппаратов. Разработанная и апробированная учеными технология визуального и автоматизированного дешифрирования аэрофотоснимков позволяет охарактеризовать состояние осушительной мелиоративной системы и определить ее точное местоположение в глобальной системе координат. Так, на рис. 1 показана мелиоративная система с закрытыми дренажами и осушительными каналами. На снимке четко просматривается осушительный канал с подходящей к нему сетью закрытой дренажной

системой. Также в левой части снимка отчетливо видно, что закрытая дренажная система закупорена и не происходит отток влаги, что привело к заболачиванию и зарастанию территории кустарником.

В этой связи важно отметить, что аэрофотоснимки позволяют оперативно произвести оценку закустаренности сельскохозяйственных полей, рассчитать соответствующие площади вымочек и спланировать объемы агромелиоративных работ. В качестве примера на рис. 2 приведена визуальная «картинка» открытой осушительной системы, где можно наблюдать полное зарастание каналов кустарником, требующих проведения их очистки от растительности.

По данным аэрофотосъемки помимо ортофотоплана, возможно построить высокоточную цифровую модель местности, по данным которой возможно в автоматическом режиме рассчитать объемы зарастания и заиливания каналов. Для расчета зарастания древесно-кустарниковой растительностью аэрофотосъемку необходимо производить в летний период. Расчет объемов заиливания производится на основе ранне-весенней аэрофотосъемки. Для этого необходимо знать проектные параметры открытого канала, по которым рассчитывается общий объем выемки при его строительстве: высота, угол наклона и расстояние относительно двух точек на поверхности. По цифровой модели рельефа рассчитывается существующий объем канала. По значениям этих величин легко определить объем необходимого для удаления наилка. Эта информация существенно ускоряет процесс оценки состояния осушительной системы и является более точной по сравнению с наземными методами измерения.

Обследование осушенных мелиорированных земель по действующим методикам позволяет определить только локальные неисправности мелиоративной системы. Более точно определить участок, где вышла из строя мелиоративная система возможно только дистанционно, по снимкам, показывающим всю мелиоративную систему, включая водоприемник, транс-



Рис. 1. Мелиоративная система с закрытыми дренажными и осушительными каналами



Рис. 2. Заросшие осушительные каналы

портирующие каналы и другие гидротехнические сооружения. Разработанные подходы к дистанционному обследованию технического состояния осушительных мелиоративных систем позволяют автоматизировать процесс инвентаризации объектов мелиорации.

Полученные данные о локальных неисправностях гидротехнических сооружений, имеющие точную координатную привязку к местности позволяют быстро и качественно проводить создание обучающего набора для нейросети. Нейронные сети (искусственный интеллект – ИИ) не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и (или) «зашумленных», частично искаженных данных.

Для повышения качества работы нейронной сети, необходимо увеличивать объем и разнообразие обучающих изображений, а для этого необходимо срочно приступить к разработке экспериментальных осушительно-увлажнительных мелиоративных систем на основе последних достижений, имеющихся в Российской Федерации и мире. Построить их только на Государственных сельскохозяйственных землях и проводить систематические научные исследования по определению эффективности их работы с периодической аэрофотосъемкой гидротехнических сооружений. Это позволит получать научно-обоснованные данные наблюдений и разработать рекомендации по корректировке действующих СНИПов в области мелиорации земель, а также автоматизировать процесс определения состояния мелиоративных систем и их инвентаризации. Только при этом, по нашему мнению, можно научно обосновать выполнение принятой Правительством РФ программы ввода в оборот не используемых земель до 2030 г.

Водно-воздушный режим почв, сроки прекращения стоков с осушаемых территорий, аккумуляция дренажного стока, определение времени дополнительно увлажнения, оперативный отвод избыточной влаги при паводковых ситуациях – главные вопросы, которые могут и должны решать мелиораторы каждого хозяйства, используемого мелиорированные земли. Однако сегодня, ответить на такие научно-обоснованные вопросы, в рамках действующего законодательства, не всегда возможно. Известно, что полномочия органов государственной власти в области мелиорации земель определены Федеральным законом от 10.01.1996 № 4-ФЗ «О мелиорации земель». До принятия в 2008 г. Федерального закона № 66-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации в связи с принятием Фе-

дерального закона «О государственном кадастре недвижимости» к полномочиям федеральных органов государственной власти относился учет и мониторинг мелиорированных земель. Порядок учета мелиорированных земель и внесения данных о них в государственный земельный кадастр устанавливался Правительством Российской Федерации (был утвержден заместителем Председателя Правительства Российской Федерации от 07.08.1996 № 2933п-П 1). В соответствии с пунктом 10 Порядка списание мелиоративных систем и соответственно перевод мелиорированных земель в не мелиорированные производился на основании заключения комиссий, создаваемых органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации. Федеральным законом от 13.05.2008 № 66-ФЗ статья 19 ФЗ-4 «О мелиорации земель», регламентирующая порядок учета мелиоративных систем, исключена, что повлекло признание утратившим силу Постановления утв. заместителем Председателя Правительства Российской Федерации от 07.08.1996 № 2933п-П1. Сегодня нет утвержденного порядка списания мелиоративных систем и не налажен учет сельскохозяйственных мелиорированных земель, перевод их в не мелиорированные. Значит на сегодняшний день правовых норм, определяющих и дающих возможность осуществления органами исполнительной власти полномочий, по учету и списанию мелиоративных систем, федеральным законодательством не установлено.

Заключение. Для эффективного выполнения Государственной программы ввода в оборот земель сельскохозяйственного назначения, необходимо начинать с инвентаризации мелиорированных земель. Работы ученых Агрофизического института и РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева показывают перспективность применения методов дистанционного зондирования для мониторинга состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Предлагаемые подходы к автоматизации процесса инвентаризации мелиоративных систем с привлечением элементов искусственного интеллекта позволят существенно сократить затраты и повысить качество информации о состоянии гидротехнических сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2018 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. С. 82–84.
2. Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, приказ Минсельхоза России от 31.07.2020. № 438.
3. Руководство по мелиорации полей / Г.Г. Гулюк, Г.Г. Янко, В.И. Штыков, М.Б. Черняк, А.Ф. Петрушин. СПб., 2020. 219 с.
4. Якушев В.П., Блохина С.Ю. Состояние и перспективы использования дистанционного зондирования Земли в интересах сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. № 5. С. 257–262. DOI: 10.21046/2070–7401–2018–15–5–257–262.
5. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0 / А.Л. Иванов, А.В. Петриков, В.И. Кирюшин, И.М. Донник, др. М., 2021.

6. Гулюк Г.Г. Эффективность работы закрытого дренажа в зависимости от мелиоративных мероприятий и срока действия // Мелиорация и водное хозяйство. 1999. С. 59–62.

7. Оборудование для технического обслуживания закрытой дренажной сети / А.П. Лихачевич, Н.Н. Погодин, В.А. Болбышко, Г.В. Латушкина // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 3. С. 33–35.

REFERENCES

1. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skoxozyajstvennogo naznacheniya Rossijskoj Federacii v 2018 godu. M.: FGBNU «Rosinformagrotex», 2020. S. 82–84.

2. Pravila e'ksploatacii meliorativny'x sistem i ot del'no raspolozhenny'x gidrotexnicheskix sooruzhenij, pri-kaz Minsel'xoza Rossii ot 31.07.2020. № 438.

3. Rukovodstvo po melioracii polej / G.G. Gulyuk, G.G. Yanko, V.I. Shty'kov, M.B. Chernyak, A.F. Petrushin. SPb., 2020. 219 s.

4. Yakushev V.P., Blokhina S.Yu. Sostoyanie i perspektivy' ispol'zovaniya distancionnogo zondirovaniya Zemli v interesax sel'skogo xozyajstva // Sovremennye' problemy' distancionnogo

zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018. № 5. S. 257–262. DOI: 10.21046/2070–7401–2018–15–5–257–262.

5. Rekomendacii po razvitiyu agropromy'shленного комплекса i sel'skix territorij Nechernozemnoj zony' Ros-sijskoj Federacii do 2030 goda. Versiya 2.0 / A.L. Ivanov, A.V. Petrikov, V.I. Kiryushin, I.M. Donnik, dr. M., 2021.

6. Gulyuk G.G. E'ffektivnost' raboty' zakry'togo drenazha v zavisimosti ot meliorativny'x meropriyatij i sroka dejstviya // Melioraciya i vodnoe xozyajstvo. 1999. S. 59–62.

7. Oborudovanie dlya texnicheskogo obsluzhivaniya zakry'toj drenazhnoj seti / A.P. Lixacevich, N.N. Pogodin, V.A. Bolby'shko, G.V. Latushina // Melioraciya i vodnoe xozyajstvo. 2015. № 3. S. 33–35.

Дубенок Николай Николаевич, академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой, ndubenok@mail.ru (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева); **Чесноков Юрий Валентинович**, доктор биол. наук, директор, yuv_chesnokov@agrophys.ru; **Петрушин Алексей Фёдорович**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, alfiks@mail.ru (ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт).

УДК 626.8

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-19-23

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПРИЕМНОЙ СПОСОБНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА



Н.В. ШЕШЕНЁВ, В.А. ШЕВЧЕНКО, Л.В. КИРЕЙЧЕВА

Ключевые слова: дрена, фильтр, фильтрационное сопротивление, водоприемная способность.

Keywords: drain, filter, filtration resistance, water intake capacity.

В статье приведены результаты лабораторных исследований современных видов дренажных конструкций, определены фактические расходы дренажных конструкций при постоянном напоре, время стабилизации дренажного стока, рассчитаны сопротивления области фильтрации и построены графики динамики расхода воды рассматриваемых экспериментальных конструкций. В процессе исследований установлено, что наилучший результат имеет конструкция с двухслойным фильтром ФИСЛОН: установившийся расход 0,89 мл/с, фильтрационное сопротивление 5,13 м; конструкция с фильтром ТУРАР имеет фактическое сопротивление 5,47 м; наибольшее сопротивление имеет конструкция с мембранной оболочкой – 8,753 м.

The article presents the results of laboratory studies of modern types of drainage structures. The actual resistance of the filtration area, the costs at constant pressure, the time of stabilization of drainage runoff are determined, graphs of the dynamics of water flow of the considered experimental designs of perforated corrugated drains with various types of protective filtering materials are constructed. In the process of research, it was found that the design with a two-layer FISON filter has the best result: a steady flow rate of 0.89 ml/s,

a filtration resistance of 5.13 m; TURAR filter design has an actual resistance of 5.47m; The design with a membrane shell has the greatest resistance – 8.753 m.

Введение. Эффективность и долговечность дренажной конструкции определяется качеством устройства и надежностью работы дренажных конструкций. В недалеком прошлом в дренажных конструкциях применялись песчано-гравийные фильтры, устройство которых было довольно сложно, трудоемко и дорого. В мировой практике и в странах бывшего СССР накоплен значительный опыт применения различных защитно-фильтрующих материалов, однако в настоящее время не существует универсального фильтра, решающего проблемы кольматации, заохривания и проникновения корневой системы растений в дренажную конструкцию.

В настоящее время в странах Западной Европы при строительстве дренажа традиционно применяются гофрированные дренажные трубы, в качестве защитно-фильтрующего материала используются геотекстили, кокосовая койра, органические засыпки [1].

В России в качестве геотекстиля широко используется иностранный материал ТУРАР, отечественные нетканые материалы, находят применение и кокосовая койра. Тем не менее, основными проблемами при эксплуатации дренажа остаются заиливание дрен, кольматация фильтра, а в гумидной зоне еще и заохривание. Поэтому до настоящего времени остается актуальным поиск современных видов дренажных конструкций для восстановления, реконструкции, модернизации и строительства осушительных систем на мелиорируемых массивах Нечерноземной зоны Российской Федерации.

Для предотвращения негативных проявлений и повышения эффективности и долговечности горизонтального дренажа проводятся исследования по обработке фильтров гидрофобными пропитками с целью предотвращения колыматации и особыми устройствами дрена, повышающими водопримную способность [2, 3].

Во ВНИИГиМ для защиты дрена от заилиения и повышения водопримной способности разработан и запатентован многослойный фильтр ФИСЛОН (Способ защиты дрена от колыматации, авторское свидетельство № 1612046 от 08.08.1990), созданный по принципу обратного фильтра на базе иглопробивной технологии: слой, сопряженный с дренажной трубой, имеет толщину 2...3 мм и средний размер пор 0,15...0,2 мм, что обеспечивает хороший приток к дрене; слой, сопряженный с грунтом более плотный со средним размером пор 0,1...0,15 мм толщиной 0,3...0,5 мм, что препятствует проникновению суффозионных частиц в прифильтровую область.

В Турции для преодоления проблем заилиения и заохривания дрена предложена оригинальная конструкция дренажной трубы с мембранной оболочкой, предотвращающая проникновение корневой системы в полость трубы [4]. Эта конструкция состоит из гофрированной дренажной трубы, на которую помещается неперфорированная наружная шипованная мембрана, закрывающая трубу на 3/4 с целью предотвращения контакта дрена с засыпным грунтом. Вода в дрину поступает только через нижний открытый сегмент перфорированной трубы, что предотвращает заохривание дрена ввиду отсутствия контакта с воздухом, и зарастание ее корнями растений.

Заводом «РУСТЕХПЛАСТ» изготовлены экспериментальные образцы перфорированных, гофрированных дренажных труб с различными защитно-фильтрующими материалами для применения данных конструкций в условиях Нечерноземной зоны РФ.

С целью оценки работоспособности конструкций осуществлено в 2020 г. строительство опытных дрена на мелиоративном объекте ТИНКИ-2 в Рязанской области [5] (рис. 1).



Рис. 1. Укладка дрена в траншею с защитно-фильтрующим материалом из кокосовой койры

Цель настоящих исследований – провести лабораторные испытания экспериментальных конструкций дрена для определения их водопримной способности и дополнительного фильтрационного сопротивления, вызванного несовершенством конструкции.

Материалы и методы исследования. В качестве опытных образцов выбраны экспериментальные конструкции гофрированных перфорированных дрена диаметром 63 мм, изготовленные заводом «РУСТЕХПЛАСТ», с защитно-фильтрующими материалами (ЗФМ) из геотекстиля ТУРАР, кокосовой койры, с мембранной оболочкой и с многослойным фильтром ФИСЛОН. Испытания конструкций проводили на прямоугольном лотке по методике, изложенной в работе [6].

В качестве исследуемого грунта был отобран песок с мелиоративного объекта ТИНКИ-2 Рязанской области, гранулометрический состав которого был определен ситовым методом, с характеристиками, представленными в табл. 1–3 согласно [7].

Общее фильтрационное сопротивление, которое преодолевает поток грунтовых вод при движении от внешних границ области питания до полости, несовершенной по степени и характеру вскрытия пласта дрена, можно представить суммой отдельных фильтрационных сопротивлений, отражающих те или иные особенности фильтрационного потока.

Такая возможность вытекает из общих положений метода фильтрационных сопротивлений, применяемого в современной практике проектирования дренажных сооружений. Согласно основным принципам данного метода, фильтрационный поток на некотором расстоянии от дрена определяется только расходом, поступающим в дрину, независимо от того, является ли она совершенной или нет [8]. Разница в структуре потоков к совершенной и несовершенной дрине имеет место в непосредственной близости от дрена и обуславливает соответствующие потери напора.

Закрытая горизонтальная дрена обладает двумя видами несовершенства, снижающими ее водопримную способность: недостаточностью размера (диаметра); несовершенством конструкций по сравнению с полостью такого же размера. Эти виды несовершенства не учитывают потери напора за счет контактных переформирований на границе фильтра с грунтом естественного сложения и обратной засыпки, зависящих от технологии производства работ и гидрогеологических условий на объекте строительства дренажа.

В настоящее время нет теоретических решений, позволяющих вычислить значения дополнительных фильтрационных сопротивлений с учетом контактных переформирований, и поэтому они определяют экспериментально.

Первый вид несовершенства можно оценить расчетным путем по формуле В.В. Ведерникова [9, 10]:

$$d_{кр} = \left(0,17 + 0,255 \frac{W}{k} \right) \frac{BW}{k},$$

где $d_{кр}$ – критический диаметр дрена, м; W – величина инфильтрационного питания, м/сут; B – расстояние между дренами, м; k – коэффициент фильтрации грунта, м/сут.

Гранулометрический состав песчаного грунта

Гранулометрический состав, % (размер частиц, мм)								Наименование грунта по ГОСТ 25100–2011	
>10	10...5	5...2	2...1	1...0,5	0,5...0,25	0,25...0,10	0,1...0,05		<0,05
–	–	0,2	1,4	2,8	14,9	69,0	11,7	–	Песок мелкий

Таблица 2

Физические характеристики песчаного грунта

Наименование	Песок мелкий, средней плотности, маловлажный
Коэффициент фильтрации, м/сут	1,10
Природная влажность, %	0,6
Плотность при природной влажности, г/см ³	1,62
Плотность сухого грунта, г/см ³	1,61
Плотность минеральных частиц, г/см ³	2,66
Степень влажности	0,024
Пористость, %	39,47
Коэффициент пористости	0,652

Таблица 3

Физико-механические характеристики песчаного грунта

Наименование	Песок мелкий
Сцепление, кПа	2
Угол внутреннего трения, град.	32 (в сухом состоянии 35)
Модуль деформации, МПа	28
Максимальная плотность, г/см ³	2,05
Коэффициент пористости при максимальной плотности	0,556
Оптимальная влажность, %	20

Второй вид несовершенства количественно можно оценить только по результатам лабораторного эксперимента.

Для проведения лабораторных исследований по определению водоприемной способности дрен на базе «Мещерского филиала ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» сконструирован прямоугольный лоток согласно известной методике [6, 11] (рис. 2).

При определении размеров фильтрационного лотка учитывались следующие предпосылки: длина дрена моделировалась равной 1 м при выполнении соотношения:

$$\frac{l}{2h} = 1,$$

где l – длина лотка; h – высота лотка.

Отсыпка грунта в лоток производилась с послойным уплотнением объемной массы, примерно равной для грунта ненарушенного сложения. Опыт проводился при постоянном напоре в 4-кратной повторности (для каждой конструкции) в течение 2020–2022 гг. до стабилизации объема дренажного стока (не менее 30 сут).

Дополнительное фильтрационное сопротивление конструкции дрен определялось после стабилизации фильтрационных процессов в фильтрационном лотке. При этом в основу обработки экспериментальных данных положена зависимость, учитывающая в общем виде влияние несовершенства конструкции на величину притока к дрене [6]:

$$Q = \frac{kH}{\Phi_0 + \frac{1}{\alpha}}, \quad (1)$$

где Q – удельный приток к дрене, м²/сут; H – общий действующий напор в пределах рассматриваемой области филь-

трации, м; Φ_0 – фильтрационное сопротивление рассматриваемой области фильтрации при допущении, что вместо реальной конструкции имеется полость в грунте с абсолютно проницаемыми стенками; a – дополнительное фильтрационное сопротивление, учитывающее несовершенство реальной конструкции по сравнению с полостью того же размера; α – коэффициент, учитывающий, через какую часть водоприемного контура происходит поступление воды ($\alpha = 2\pi$ при круговом контуре питания); k – коэффициент фильтрации дренируемого грунта, м/сут.

Знаменатель формулы (1) можно рассматривать как фактическое сопротивление Φ области фильтрации при работе реальной конструкции, которое подсчитывается, используя экспериментально определенные значения Q, H, k по зависимости [6]:

$$\Phi = \frac{kH}{Q}. \quad (2)$$



Рис. 2. Проведение эксперимента на прямоугольном лотке

Результаты исследований экспериментальных конструкций дрен в условиях мелкозернистого песка

Параметр	Конструкции с фильтрами	ФИСЛОН	ТУРАР	Кокосовое волокно	Мембрана
Расход Q , мл/с		0,891	0,819	0,831	0,480
Общий действующий напор H , м		0,359	0,352	0,360	0,330
Фактическое сопротивление Φ , м		5,130	5,472	5,515	8,753

Таблица 4

мы, предпочтительнее использовать защитно-фильтрующий материал для дренажной трубы типа многослойного фильтра ФИСЛОН. Конструкция трубы с этим фильтром будет обеспечивать лучшее водопонижение уровня грунтовых вод на мелиорируемом массиве, по сравнению с комбинированной дренажной, имеющей мембранную оболочку, условно на 41 и 6% в сравнении с дренажной, обернутой защитно-фильтрующим материалом ТУРАР.

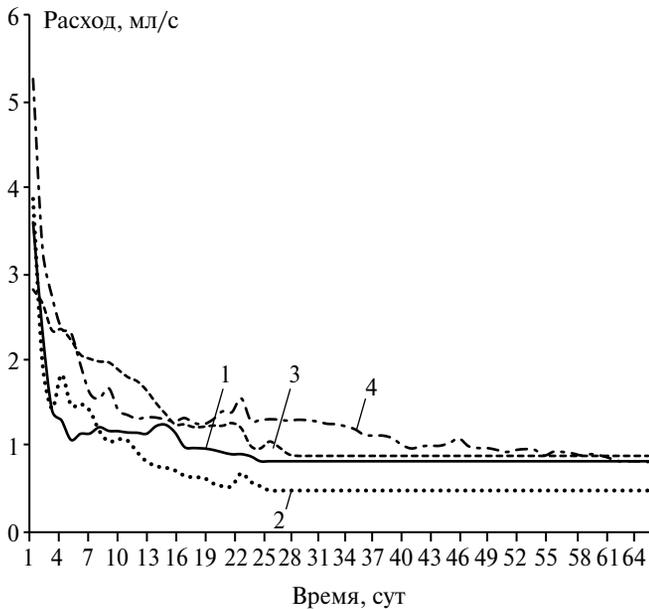


Рис. 3. Графики динамики расхода воды во времени для дренажных труб с ЗФМ:

1 — кокосовая койра; 2 — мембранная оболочка; 3 — геотекстиль ТУРАР; 4 — многослойный фильтр ФИСЛОН

Результаты исследования и их обсуждение. По результатам исследования определены фактические расходы при постоянном напоре и время стабилизации дренажного стока и рассчитаны сопротивления Φ области фильтрации по формуле (2) (табл. 4). Динамика расхода воды во времени для дренажных труб с ЗФМ из кокосовой койры, мембранной оболочки, геотекстиля ТУРАР, многослойного фильтра ФИСЛОН приведена на рис. 3.

В результате проведенного лабораторного эксперимента установлено, что конструкция перфорированной гофрированной дренажной трубы с защитно-фильтрующим материалом ФИСЛОН имеет фактическое сопротивление 5,13 м; конструкция перфорированной гофрированной дренажной трубы с защитно-фильтрующим материалом ТУРАР имеет фактическое сопротивление 5,47 м; конструкция перфорированной гофрированной дренажной трубы с защитно-фильтрующим материалом из кокосовой койры имеет фактическое сопротивление 5,52 м; конструкция трубы с мембранной оболочкой имеет фактическое сопротивление 8,75 м. На основе полученных значений фильтрационного сопротивления, можно сделать вывод о том, что в условиях мелкозернистого песка, при проектировании осушительной систе-

мы, предпочтительнее использовать защитно-фильтрующий материал для дренажной трубы типа многослойного фильтра ФИСЛОН. Конструкция трубы с этим фильтром будет обеспечивать лучшее водопонижение уровня грунтовых вод на мелиорируемом массиве, по сравнению с комбинированной дренажной, имеющей мембранную оболочку, условно на 41 и 6% в сравнении с дренажной, обернутой защитно-фильтрующим материалом ТУРАР.

Заключение. Проведенные лабораторные исследования современных видов дренажных конструкций показали их работоспособность в условиях мелкозернистого песка. Были выявлены оптимальные конструкции дрен для данных условий, определены параметры фактического сопротивления области фильтрации.

В ходе лабораторных испытаний установлено, что конструкция перфорированной гофрированной дренажной трубы с защитно-фильтрующим материалом ФИСЛОН обладает меньшим фактическим сопротивлением и наибольшим расходом по сравнению с аналогами. Условное время стабилизации области грунта составляет 17 сут, область стабилизации расхода воды находится в промежутке 17...40 сут, область установившихся расходов воды через систему «грунт—дренажная труба с фильтром» для разных типов конструкций дрен составляет в среднем 55 сут.

Инновационная конструкция дрены с мембранной оболочкой показала наименьший расход и наибольшее фильтрационное сопротивление, что обусловлено механической суффозией песчаных частиц, попавших в шлюзовое пространство между конструкцией дрены и защитной мембраной. Это увеличило плотность песка в прифильтровой области и снизило коэффициент фильтрации грунта.

Поскольку фактические сопротивления и расходы конструкций дрен из ЗФМ ТУРАР, ФИСЛОН в условиях мелкозернистого песка с коэффициентом фильтрации 1,1 м/сут обладают сопоставимыми параметрами, то для дальнейших исследований и их практического применения необходимы исследования на грунтах других категорий, а также анализ по технико-экономическим показателям. Вследствие того, что кокосовая койра является органическим материалом, который в процессе эксплуатации подвержен разложению и мгновенной коагуляции объемного фильтра, необходимо при проектировании осушительных систем ориентироваться на неорганические материалы типа ФИСЛОН и ТУРАР.

В случае возделывания сельскохозяйственных культур с глубокой корневой системой, которая может повредить фильтр и нарушить его работу, необходимо рассматривать конструкцию дрены с мембранной оболочкой, учитывая ее высокое фильтрационное сопротивление. Для реальной оценки основных параметров проектируемой осушительной системы в различных инженерно-геологических и гидрологических

условиях должны проводиться дополнительные исследования с учетом технологии строительства и корневой системы сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cavelaars J.C., Vlotman W.F., Spoor G. Subsurface drainage systems. In Ritzema HP (ed.) // Drainage Principles and Applications. 3rd edn. Alterra-ILRI: Wageningen, 2006. P. 827–930.
2. Кирейчева Л.В. Дренажные системы на орошаемых землях: прошлое, настоящее, будущее. М., 1999. 202 с.
3. Повышение эффективности работы дренажа на базе новых конструктивных элементов / А.И. Митрахович, И.Ч. Казмирук, В.Н. Кондратьев, Н.М. Авраменко // Мелиорация. 2018. № 2(84). С. 5–12.
4. Idris Bahceci, Abdullah Suat Nacar, Lui Topalhasan, Ali Fuat Tari and Henk P. Ritzema. A new drain pipe-envelope concept for subsurface drainage systems in irrigated agriculture // Irrigation and drainage. 2018. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/ird.2247
5. Пыленок П.И. Экспериментальный пластмассовый дренаж // Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса: сборник научных трудов. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2020. С. 170–173.
6. Кирейчева Л.В., Терешкина Е.Е. Методика лабораторных и натуральных исследований водоприемной способности дренажных конструкций. М.: ВНИИГиМ, 1988. 40 с.
7. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация.
8. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М.: Изд-во МГУ, 1965. 233 с.
9. Ведерников В.В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. М.: Госстройиздат, 1939. С. 200–204.
10. Горизонтальный дренаж орошаемых земель / В.А. Духовный, М.Б. Баклушин, Е.Д. Томин, Ф.В. Серебренников. М.: Колос, 1979. 255 с.
11. Патент на полезную модель № 208005 U1 Российская Федерация, МПК E02D 1/00. Устройство для определения фильтрационного сопротивления дренажных конструкций: № 2021110807: заявл. 16.04.2021; опубл. 29.11.2021 / Н.В. Шешенев, В.А. Шевченко, Л.В. Кирейчева; заявитель ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова».
12. Пособие по строительству пластмассового дренажа (на правах рекомендаций) / Г.Г. Гулюк, Б.М. Кизяев, В.И. Штыков [и др.]. СПб.: ГУ ГНПЦ «Ленводпроект», 2003. 80 с.

REFERENCES

1. Cavelaars J.C, Vlotman W.F., Spoor G. Subsurface drainage systems. In Ritzema HP (ed.) // Drainage Principles and Applications. 3rd edn. Alterra-ILRI: Wageningen, 2006. P. 827–930.
2. Kireicheva L.V. Drainage systems on irrigated lands: past, present, future. M., 1999. 202 p.
3. Improving the efficiency of drainage on the basis of new structural elements / A.I. Mitrakhovich, I.Ch. Kazmiruk, V.N. Kondratiev, N.M. Avramenko // Land reclamation. 2018. № 2(84). P. 5–12.
4. Idris Bahceci, Abdullah Suat Nacar, Lui Topalhasan, Ali Fuat Tari and Henk P. Ritzema. A new drain pipe-envelope concept for subsurface drainage systems in irrigated agriculture // Irrigation and drainage. 2018. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/ird.2247
5. Pыlenok P.I. Experimental plastic drainage // Scientific and methodological support for the development of the reclamation and water management complex: Collection of scientific papers. – M.: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov, 2020. P. 170–173.
6. Kireicheva L.V., Tereshkina E.E. Methods of laboratory and field studies of the water intake capacity of drainage structures. M.: VNIIGiM, 1988. 40 p.
7. GOST 25100–2011. Soils. Classification.
8. Shestakov V.M. Theoretical foundations of assessment of backwater, water supply and drainage. MSU Publishing House, 1965. 233 p.
9. Vedernikov V.V. Filtration theory and its application in the field of irrigation and drainage. M.: Gosstroizdat, 1939. P. 200–204.
10. Horizontal drainage of irrigated lands / V.A. Dukhovny, M.B. Baklushin, E.D. Tomin, F.V. Serebrennikov. M.: Kolos Publishing House, 1979. 255 p.
11. Utility model Patent No. 208005 U1 Russian Federation, IPC E02D 1/00. Device for determining the filtration resistance of drainage structures: No. 2021110807: application No. 16.04.2021: publ. 29.11.2021 / N.V. Sheshenev, V.A. Shevchenko, L.V. Kireicheva; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov».
12. Manual on the construction of plastic drainage (on the rights of recommendations) / G.G. Gulyuk, B.M. Kizyaev, V.I. Shtykov [et al.]. St. Petersburg: GU GNPC «Lenvodproekt», 2003. 80 p.

Шешенёв Николай Викторович, мл. науч. сотрудник; **Шевченко Виктор Александрович**, академик РАН, доктор с.-х. наук; **Кирейчева Людмила Владимировна**, доктор техн. наук (ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»).

УДК 502/504:631.432.2

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-23-29

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСЕВАМИ ОРОШАЕМОЙ ЛЮЦЕРНЫ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ

О.С. ЕРМОЛАЕВА, А.М. ЗЕЙЛИГЕР

Ключевые слова: орошение, водопродуктивность, водозффективность, урожайность, оросительная норма, суммарное испарение, транспирация, сенсор MODIS/EOS, модель SEBAL, метеоданные.

Keywords: irrigation, yield, evapotranspiration, sensor MODIS/EOS, SEBAL model, irrigation water productivity, irrigation water efficiency.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00438, <https://rscf.ru/project/23-27-00438/>.

Цель проведенных исследований заключалась в разработке методов оценки эффективности использования посевами орошаемой люцерны запасов почвенной влаги, основанных на данных наземного метеорологического и космического мониторинга потоков составляющих суммарного испарения подстилающего слоя. Соответствующие подспутниковые исследования, а также сбор данных были проведены на территории Саратовского Заволжья в вегетационный период 2012 г. Объектами исследований являлись 19 производственных посевов орошаемой люцерны 2-го года вегетации, орошение которых осуществлялось дождевальными машинами кругового действия. Для оценки эффек-

тивности использования поливной воды этими посевами были использованы 6 индикаторов (3 индикатора водопродуктивности и 3 индикатора водозэффективности), каждый из которых представлял собой отношение двух независимых параметров. Этими параметрами являлись: урожайность; оросительная норма; суммарное испарение за вегетационный период; транспирация за вегетационный период была использована модель SEBAL. С помощью модели по наборам данных теплового канала сенсора MODIS и наземного метеорологического мониторинга были рассчитаны ряды суточных значений суммарного испарения и транспирации. Для сопоставления результатов анализа эффективности использования поливной воды с помощью 6 индикаторов соответствующие им ряды были ранжированы. Анализ 6 рангов, полученных этими посевами, позволил сделать вывод о сопоставимости получаемых с помощью 6 индикаторов результатов ранжирования. Таким образом, продемонстрирована принципиальная возможность использования индикаторов, не включающих в качестве параметров: урожайность; оросительную норму; урожайность и оросительную норму.

The purpose of the research was to develop methods for assessing the effectiveness of the use of soil moisture reserves by irrigated alfalfa crops, based on data from ground meteorological and space monitoring of the evaporation of the underlying layer. The corresponding field studies, as well as data collection, were carried out on the territory of the Saratov Volga region during the growing season of 2012.

The objects of research were 19 production crops of irrigated alfalfa of the 2nd year of vegetation, irrigation of which was carried out by circular sprinkler machines. To assess the effectiveness of irrigation water use by these crops, 6 indicators were used (3 indicators of water productivity and 3 indicators of water efficiency), each of which represented the ratio of two independent parameters. These parameters were: yield; irrigation rate; total evaporation during the growing season; transpiration during the growing season. The SEBAL model was used to calculate the total evaporation and transpiration during the growing season. A series of daily values of total evaporation and transpiration were calculated using a model based on data sets of the MODIS sensor thermal channel and ground-based meteorological monitoring. To compare the results of the analysis of the effectiveness of irrigation water use with the help of 6 indicators, the corresponding rows were ranked. The analysis of 6 ranks obtained by these crops allowed us to conclude that the ranking results obtained with the help of 6 indicators are comparable. Thus, the fundamental possibility of using indicators that do not include as parameters was demonstrated: yield; irrigation rate; yield and irrigation rate.

Введение. Результаты проводимых исследований по получению устойчивых высоких урожаев посевов орошаемых агрофитоценозов свидетельствуют о наличии значительных рисков, связанных с флуктуациями климатических характеристик [1], приводящих к дефициту водных ресурсов [2], в частности, на оросительных системах, где используются устаревшие технологии орошения [3]. Однако отсутствие необходимых данных и (или) несовершенство индикаторов, используемых для оценки эффективности орошения агрофитоценозов, зачастую не позволяет вести соответствующий контроль [4], необходимый для совершенствования современных технологий ведения орошаемого земледелия [5].

В последние десятилетия в сельскохозяйственных регионах России, расположенных на густонаселенных территориях водосборов рек Волги и Дона юго-востока европейской части России, отмечаются усиливающиеся воздействия засух [6], приводящие к дефициту

водных ресурсов, необходимых для устойчивого и высокоэффективного развития орошаемого земледелия [7]. Влияние отмеченного дефицита на развитие орошения может быть существенно снижено за счет минимизации потерь поливной воды по пути ее следования от водозабора до корнеобитаемого слоя почвенного покрова агрофитоценозов. Для выявления узких мест на этом пути в ряде стран развиваются системы объективного мониторинга [8], использование которых способствует снижению рисков возникновения дефицита поливной воды, повышению экологической устойчивости ведения орошения, а в итоге и к социально-экономическому развитию регионов.

В настоящее время в практике анализа эффективности использования поливной воды в орошаемом земледелии используется ряд индикаторов [9], ни один из которых не является универсальным, ввиду своих, входящим в них параметрам ограничений и неопределенностей [10].

В настоящей работе для количественной оценки водозэффективности орошения орошаемых посевов люцерны Саратовского Заволжья, использовано шесть индикаторов, основанных на данных наземного и космического мониторинга. Отправным из этих индикаторов является т.н. водопродуктивность орошения (IWP) агрофитоценоза [11, 12], который представляет собой отношение урожайности Y к суммарному объему поливной воды Ir за оросительный период:

$$IWP_{Ir} = Y / Ir. \quad (1)$$

Для учета в оценке водопродуктивности потерь поливной воды на почвенно-грунтовый сток было предложено заменить в этом выражении объем оросительной воды на объем суммарного испарения ET_a [3], оценку которого получают, в том числе, с использованием результатов космического мониторинга [13]:

$$IWP_{ET} = Y / ET_a. \quad (2)$$

В продолжение развития индикаторов водопродуктивности на основе данных космического мониторинга было предложено использовать в знаменателе выражения (2) вместо объема суммарного испарения ET_a за вегетационный период суммарный объем транспирации Tr за аналогичный период, который значительно более тесно связан с урожайностью агрофитоценозов [14]:

$$IWP_{Tr} = Y / Tr_a. \quad (3)$$

Наряду с использованием приведенных выше трех индикаторов водопродуктивности орошения агрофитоценоза в последние годы предложены показатели водозэффективности орошения (IWE) агрофитоценозов [15, 16]. В индикаторах этой группы не используются значения урожайности, которые, бывают, или недоступны для использования, или содержат неопределенности, делающих неправомерным их использование для оценки эффективности орошения. Использование такого рода индикаторов водозэффективности позволяет проводить соответствующий контроль не только отдельного посева, но и его отдельных контуров [17].

Один из таких индикаторов представляет собой отношение объема суммарного испарения с растительного покрова агрофитоценоза к объему оросительной воды, использованной для его орошения [18]:

$$IWE_{ET} = ET_a / Ir. \quad (4)$$

Для учета при оценке водоэффективности потерь поливной на почвенно-грунтовый сток в числителе другого индикатора этой же группы вместо объема суммарного испарения ET_a используется объем суммарной транспирации Tr [19]:

$$IWE_{Tr} = Tr_a / Ir. \quad (5)$$

В работе [20] для моделирования водного режима посевов орошаемой люцерны была найдена эмпирическая связь между накопленным за оросительный период водным стрессом и урожайностью биомассы люцерны. Это позволило предложить в настоящей работе использовать для оценки водоэффективности значения суточного дефицита потенциального испарения ET_0 :

$$IWE_{DET} = \sum \frac{ET_0 - ET_a}{ET_0}. \quad (6)$$

Объект исследований. Расчеты показателей эффективности орошения 19 посевов орошаемой люцерны 2-го года вегетации были выполнены с использованием наборов данных, полученных в 2012 г. для территории Саратовского Заволжья, включавших данные об урожайности и оросительных нормах, а также ряды суточных значений ET_a и Tr , полученных с помощью агрогидрологического моделирования на основе наземного метеорологического и космического мониторинга сенсором MODIS. Места расположения посевов, приуроченные к трем производственным участкам орошения: Приволжская оросительная система; ОПХ ВолжНИИГиМ; ЗАО «Березовское».

Орошение посевов люцерны на производственных участках осуществлялось дождевальными машинами кругового действия (ДМ-КД) типа «Фрегат» и «Зимматик».

Материалы и методы. Расчет объемов поливной воды, использованных для орошения посевов, включенных в исследования, проводился по данным измерительной аппаратуры, установленной на водоподающих трубопроводах. Урожайность органического углерода этих посевов орошаемой люцерны рассчитана по данным о биомассе и влажности люцерны, предоставленным руководством хозяйств.

Для расчетов объемов суммарного испарения ET_a , транспирации растительного покрова Tr и испарения с поверхности почвенного покрова E_v использованы результаты обработки данных тепловой съемки сенсора MODIS моделью SEBAL [21] с использованием ранее разработанного компьютерного кода [22, 23]. В качестве входных параметров для этого кода использованы данные метеорологического мониторинга приземного слоя атмосферы на метеостанции г. Маркс, а также данные тепловой съемки радиометром MODIS/EOS Terra и Aqua в период с 01.03.2012 по 11.08.2012.

Результаты и обсуждение

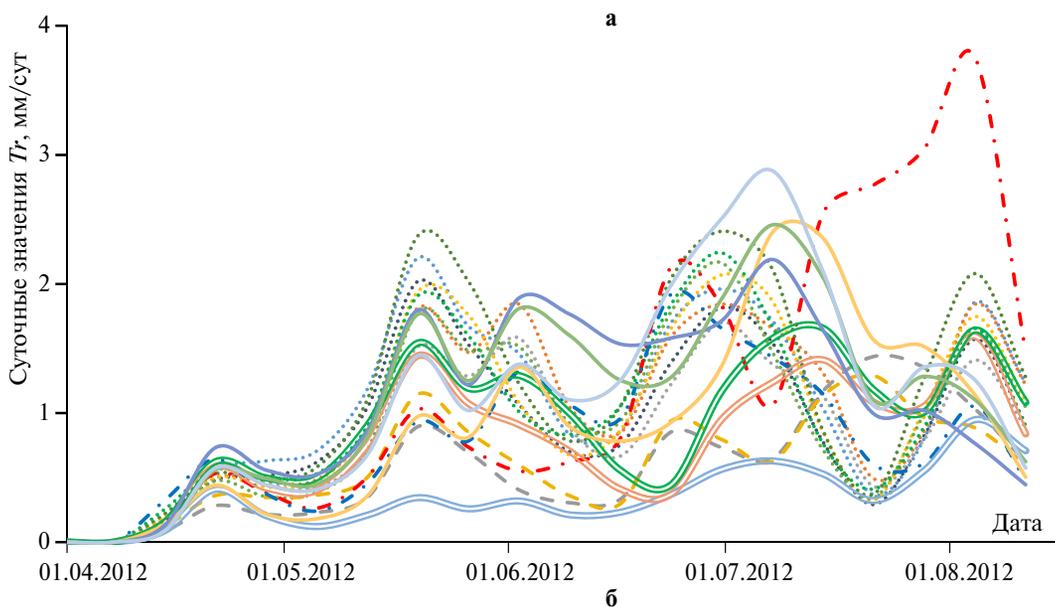
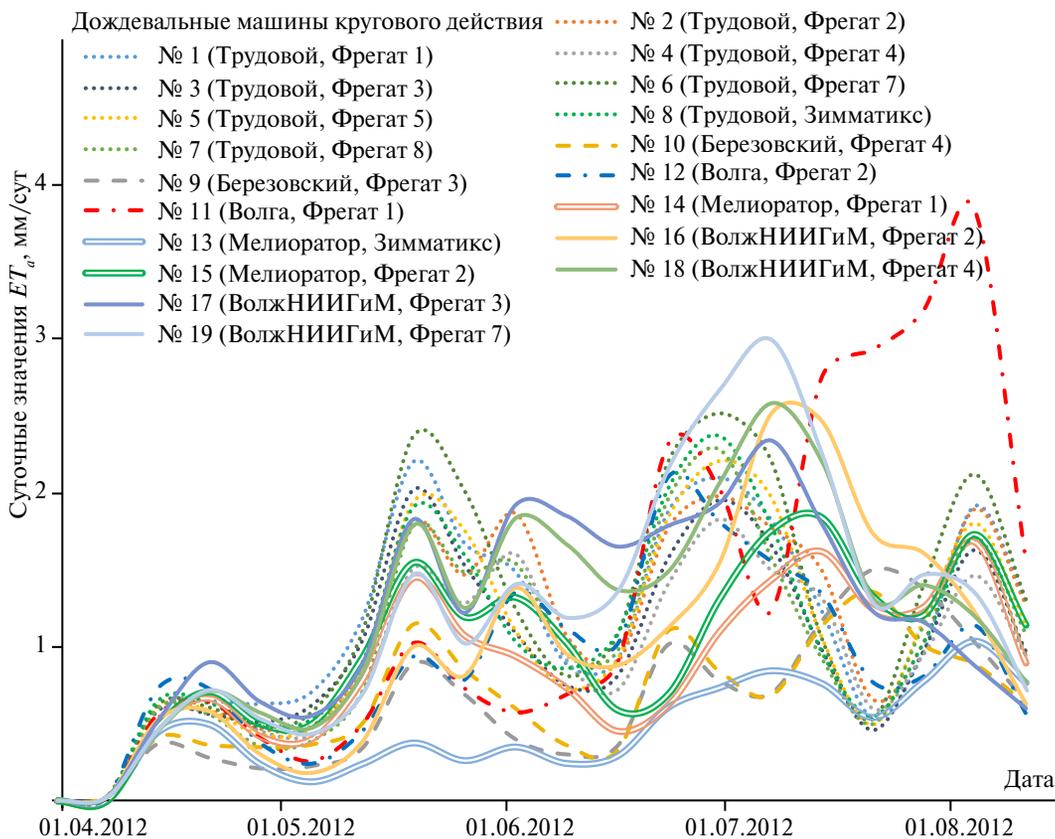
Расчет рядов актуального суммарного испарения, транспирации растительного покрова и испарения с по-

верхности почвенного покрова. В результате расчетов с использованием сочетания моделей SEBAL, для всех трех производственных участков для всех суток в период с 03.03.2012 по 11.08.2012, включительно, получено 162 набора суточных значений ET_a и Tr . Эти ряды, осредненные для удобства их представления и анализа, представлены на рисунке.

Анализ рядов актуального суммарного испарения, транспирации растительного покрова и испарения с поверхности почвенного покрова. Графическое отображение рядов суточных значений ET_a и Tr представлено на рисунке, их максимумы приурочены к моментам проведения поливов и выпадения осадков. Первая волна, присущая всем представленным рядам второй половины марта, соответствует периоду вегетации после схода снежного покрова. Вторая волна, соответствующая второй половине мая, приходится на период проведения первого полива, прошедшего практически синхронно на всех посевах. Следующая третья волна с несколько меньшими значениями, соответствующая началу июня, прослеживается только для посевов, расположенных на первом (№ 2, № 4, № 7 и № 8) и втором (№ 16–19) производственных участках. Это находит свое объяснение в серии небольших по величине осадков, зафиксированных на метеостанции г. Маркса, когда соответствующий дождевой фронт, по всей видимости, прошел неширокой полосой вдоль р. Волги, что является достаточно характерным для Саратовского Заволжья в этот период года. В результате прохождения этого фронта осадки выпали на отмеченных выше посевах, а те посевы, которые были расположены на большем удалении от р. Волги, остались не затронутыми.

Четвертая волна, приходящаяся на период конца июня и начала июля, достаточно согласована между всеми посевами. Исключение составляют посевы № 11 и № 12 первого, а также № 13 и № 14 второго производственного участка, у которых эта волна приходится на более ранние даты. Последняя пятая волна, приходящаяся на период конца июля и начала августа, имеет достаточно согласованный характер на первом и втором производственных участках, с несколько меньшими величинами максимумов на последнем. На третьем производственном участке приходится на несколько более ранние даты, что связано с более ранним проведением поливов.

Проведенный анализ графиков суточных значений ET_a и Tr показал сходство внутри группы 8 посевов (№ 1–8), принадлежавших ЗАО «Трудовой», а также внутри группы двух посевов (№ 9–10), принадлежавших ЗАО «Березовское». С начала июля интенсивность поливов посева № 11 была выше и это привело к нарушению указанного сходства. В случае трех посевов (№ 13–15), принадлежавших ЗАО «Мелиоратор», групповое сходство отмечено между первыми двумя, которые значительно отличались от последнего. Это связано с реализацией на посева № 15 поливного режима, с помощью ДМ-КД «Зимматик», с аналогичной периодичностью, но меньшими поливными нормами. Групповое сходство прослеживается и для всех четырех посевов (№ 16–19), принадлежавших ФГБНУ «Волж-



Расчитанные по сочетанию моделей SEBAL ряды характеристик посевов орошаемой люцерны: а – суточных значений ET_a ; б – суточных значений Tr

НИИГиМ». Однако поливной режим посева № 19 в середине июля был интенсифицирован за счет проведения дополнительного полива.

Отмеченные выше профили двух посевов № 9 и № 10 (ЗАО «Березовский»), имели в течение всего периода мониторинга значимо меньшие значения в сравнении с остальными. Это было связано с проведением поливов невысокого качества, приведшим к значительным потерям поливной воды на почвенно-грунтовой сток, что было отмечено еще на стадии проведения на-

земных обследований и нашло свое подтверждение в приведенных рядах.

Оценка эффективности орошения 19 посевов люцерны 2-го года вегетации была выполнена по выражениям (1)–(6) с использованием данных по урожайности и оросительным нормам, рядов суточных значений ET_a и Tr , а также относительных дефицитов потенциального испарения DET_0 за вегетационный период. В таблице представлены ряды значений показателей (1)–(6), а также соответствующие результаты ранжирования значений этих показателей в убывающем порядке.

Сопоставление трех серий показателей водопроductивности, у которых разница между парами соответствующих рангов не превышает порог в три значения, показывает сопоставимость полученных с их помощью рангов. В случае же шести посевов № 1, № 2, № 4, № 6, № 9 и № 13 соответствующие разницы рангов, полученные по выражению (1) с одной стороны, а с другой – по выражениям (2) и (3), превышают указанный порог.

Очевидно, что отмеченная в этих случаях значимая разница рангов является следствием несоответствия линейной корреляции между, с одной стороны, данными по урожайности, и, с другой стороны, данными по суммарным за вегетацию объемам ET_a и Tr . При этом четыре первых из этих семи указанных посевов принадлежали одному и тому же собственнику, предоставившему данные об их урожайности, что могло повлиять на полученные результаты. В тоже самое

Значения показателей эффективности орошения посевов люцерны и результаты их ранжирования

ДМ-КД	Водопродуктивность						Водоэффективность					
	$100IWP_{Ir}$, т/мм	Ранг по IWP_{Ir}	IWP_{FT} , мм/мм	Ранг по IWP_{FT}	IWP_{Tr} , мм/мм	Ранг по IWP_{Tr}	IWE_{FT} , мм/мм	Ранг по IWE_{FT}	IWE_{Tr} , мм/мм	Ранг по IWE_{Tr}	IWE_{DET} , мм/мм	Ранг по IWE_{DET}
1	1,33	14	1,26	19	1,36	19	1,06	5	0,98	5	0,304	8
2	1,37	12	1,33	17	1,44	17	1,03	6	0,95	6	0,303	9
3	1,28	16	1,39	15	1,52	15	0,92	12	0,84	11	0,289	13
4	1,31	15	1,49	11	1,64	11	0,88	14	0,80	14	0,283	14
5	1,40	11	1,42	13	1,54	13	0,99	7	0,91	8	0,312	7
6	1,57	7	1,38	16	1,47	16	1,14	4	1,06	4	0,322	5
7	1,35	13	1,40	14	1,53	14	0,96	9	0,88	9	0,301	10
8	1,40	10	1,42	12	1,54	12	0,99	8	0,91	7	0,316	6
9	0,87	18	1,50	10	1,60	10	0,58	19	0,54	18	0,219	18
10	0,80	19	1,33	18	1,41	18	0,60	18	0,57	17	0,225	17
11	1,55	8	1,69	8	1,83	8	0,92	13	0,85	10	0,352	3
12	1,40	9	1,68	9	1,86	9	0,83	16	0,75	15	0,289	12
13	1,10	17	1,73	7	2,24	7	0,85	15	0,49	19	0,195	19
14	1,73	5	2,16	2	2,41	3	0,80	17	0,72	16	0,268	16
15	1,70	6	1,84	6	2,02	6	0,92	11	0,84	12	0,271	15
16	1,87	4	2,01	5	2,23	5	0,93	10	0,84	13	0,293	11
17	2,93	2	2,11	3	2,34	4	1,43	1	1,25	1	0,368	1
18	3,00	1	2,50	1	2,75	1	1,24	3	1,09	3	0,337	4
19	2,69	3	2,07	4	2,26	2	1,34	2	1,19	2	0,362	2

время в выделенной группе 6 посевов обращает на себя внимание высокая разница рангов двух других посевов (№ 9 и № 13), принадлежавших разным собственникам, для которых низкие ранги по показателю (1) соседствуют со средними рангами по показателям (2) и (3) в случае посева № 9, а также высоким в случае посева № 13. Очевидными причинами в случае посева № 9 являются низкие значения суммарных объемов ET_a и Tr за вегетацию, которые были следствием больших потерь проливной воды на почвенно-грунтовый сток, отмеченный выше. В случае же посева № 13 сочетание низкого ранга по показателю (1) и высокие ранги по показателям (2) и (3) явились следствием отмеченного выше поливного режима с невысокими экономными нормами, что, однако, не позволило получить сопоставимую отдачу в виде урожайности.

Анализ различий рангов второй группы показателей водоэффективности (4)–(6) выявил два посева № 11 и № 15, разница рангов которого превышал установленный авторами порог в три значения, у пар показателей (4)–(6) и (5)–(6). В целом это свидетельствует о достаточно тесном взаимном соответствии этих показателей применительно к исследованным посевам. Поливной режим отмеченного посева № 11, начавшийся после проведения второго полива и включавший дополнительный четвертый полив, привел, как отмечено выше, к формированию динамики потоков ET_a и Tr , значимо отличавшейся от других. В итоге полученные на этом посеве наибольшие значения суммарных объемов обоих этих потоков среди всех исследованных, привели к его ранжированию по показателям (1)–(5) на среднем уровне. Однако сформированный после второго полива более интенсивный поливной режим привел к получению достаточно низких показате-

лей дефицита потенциального испарения. В результате это и привело к получению этим посевом высокого ранга по показателю (6).

Выводы. В работе проведено сопоставление 6 индикаторов эффективности орошения на примере 19 посевов орошаемой люцерны, произраставших в Саратовском Заволжье в 2012 г. С этой целью использованы данные урожайности и оросительных норм, а также данные потоков суммарного испарения и транспирации за вегетационный период, рассчитанные по сопряженным данным наземного и космического мониторинга. Сопоставление трех индикаторов водопродуктивности и трех индикаторов водоэффективности проведено на основе ранжирования соответствующих этим индикаторам рядов, в результате которого каждый посев получил серию из 6 рангов. Анализ серий этих рангов продемонстрировал значимый уровень их соответствия, что позволило прийти к выводу о сопоставимости результатов оценки эффективности, получаемых при их использовании. Таким образом, продемонстрирована возможность в случае отсутствия данных по урожайности и (или) их невысокого качества, использовать индикаторы, не содержащие один из них или оба вместе.

Использование индикаторов водоэффективности в практике орошаемого земледелия позволит получать объективную оценку эффективности орошения, как на уровне отдельного поля и хозяйства, так и оросительной системы в целом. Внедрение инструментов оценки потоков суммарного испарения и его составляющих на основе данных наземного метеорологического и космического мониторинга позволит вести не только апостериорный контроль эффективности орошения, но и вести такой контроль в течение всего вегетационного периода. Это будет способствовать

оценке, как планирования орошения, так и его реализации. В целом все это вместе взятое будет способствовать повышению эффективности орошаемого земельного участка, а также эффективности управления водными ресурсами, выделяемыми для орошения. Последнее приобретает особую значимость в районах с текущим и прогнозируемым дефицитом водных ресурсов выделяемых для орошения, а также в районах испытывающих негативную нагрузку на окружающую среду в результате использования поливной воды с недостаточной эффективностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability / M. Kummu et al. // *Scientific Reports*. 2016. 6:1. Nature Publishing Group, 2016. Vol. 6, № 1. P. 1–16.
2. Белолобцев А.И., Дронова Е.В. Моделирование продуктивности люцерны изменчивой на орошаемых землях Ростовской области // *Кормопроизводство*. 2020. № 1. P. 21–25.
3. Boutraa T. Improvement of Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture: A Review // *Journal of Agronomy*. 2010. Vol. 9, № 1. P. 1–8.
4. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution / D. Molden et al. // *Agric Water Manag.* Elsevier, 2010. Vol. 97, № 4. P. 528–535.
5. Surface energy balance and actual evapotranspiration of the transboundary Indus Basin estimated from satellite measurements and the ETLook model / W.G.M. Bastiaanssen et al. // *Water Resour Res.* John Wiley & Sons, Ltd, 2012. Vol. 48, № 11.
6. Utkuzova D.N., Han V.M., Vil'fand R.M. Statistical analysis of extreme drought and wet events in Russia // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2015. Vol. 28, № 4. P. 336–346.
7. Косолапов А.Е. Цимлянское водохранилище в условиях длительного периода пониженной водности // *Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения* : сборник научных трудов: посвящается году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН (Сочи, 2–7 октября 2017 г.). Сочи: Лик, 2017. P. 31–36.
8. Water Accounting and Productivity Analysis to Improve Water Savings of Nile River Basin, East Africa: From Accountability to Sustainability / H. Hirwa et al. // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, № 4. P. 818.
9. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices / L. Levidow et al. // *Agric Water Manag.* Elsevier, 2014. Vol. 146. P. 84–94.
10. Howell T. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture // *Agron J. American Society of Agronomy*, 2001. Vol. 93, № 2. P. 281.
11. Maximov N.A. The plant in relation to water. A Study of the Physiological Basis of Drought Resistance. London: Allen and Unwin, 1929. 451 p.
12. Ali M.H., Talukder M.S.U. Increasing water productivity in crop production – A synthesis // *Agric Water Manag.* Elsevier, 2008. Vol. 95, № 11. P. 1201–1213.
13. Remote sensing of regional crop transpiration of winter wheat based on MODIS data and FAO-56 crop coefficient method / H. Li et al. // *Intelligent Automation & Soft Computing*. TF, 2013. Vol. 19, № 3. P. 285–294.
14. Steduto P., Hsiao T.C., Fereres E. On the conservative behavior of biomass water productivity // *Irrig Sci.* Springer-Verlag, 2007. Vol. 25, № 3. P. 189–207.
15. Irrigation Performance Measures: Efficiency and Uniformity / C.M. Burt et al. // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 1997. Vol. 123, № 6. P. 423–442.
16. Burt C., Styles S. Modern Water Control and Management Practices in Irrigation: Impact on Performance // *Report No. R98-001*. 1998. 276 p.
17. Khanal S., Fulton J., Shearer S. An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture // *Comput Electron Agric.* Elsevier, 2017. Vol. 139. P. 22–32.
18. Njuki E., Bravo-Ureta B.E. Irrigation Water Use and Technical Efficiencies: Accounting for Technological and Environmental Heterogeneity Using Random Parameters Irrigation Water Use and Technical Efficiencies: Accounting for Technological and Environmental Heterogeneity in U.S. Agriculture Using Random Parameters. 2018.
19. Understanding irrigation water use efficiency at different scales for better policy reform: a case study of the Murray – Darling Basin, Australia / M.E. Qureshi et al. // *Water Policy Uncorrected Proof*. 2010. P. 1–18.
20. Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S. Water Stress Regime of Irrigated Crops Based on Remote Sensing and Ground-Based Data // *Agronomy*. 2021. Vol. 11, № 6. P. 1117.
21. Bastiaanssen W.G.M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey // *J. Hydrol (Amst)*. 2000.
22. Зейлигер А.М., Ермолаева О.С. Информационные технологии в мониторинге богарных и орошаемых агроценозов // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. Vol. 10, № 1. P. 62–66.
23. Зейлигер А.М., Ермолаева О.С., Кричевцова А.Н. Результаты пространственно-временного анализа наборов данных ДЗЗ по испарению с поверхности суши MOD16 за 2000–2009 годы для территории Палласовского района Волгоградской области РФ // *Экология. Экономика. Информатика: Сборник статей в 3-х т. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет*, 2015. P. 35–48.

REFERENCES

1. The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability / M. Kummu et al. // *Scientific Reports*. 2016. 6:1. Nature Publishing Group, 2016. Vol. 6, № 1. P. 1–16.
2. Belolyubcev A.I., Dronova E.V. Modelirovanie produktivnosti lyucerny izmenchivoj na oroshaemyh zemlyah Rostovskoj oblasti // *Kormoproizvodstvo*. 2020. № 1. P. 21–25.
3. Boutraa T. Improvement of Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture: A Review // *Journal of Agronomy*. 2010. Vol. 9, № 1. P. 1–8.
4. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution / D. Molden et al. // *Agric Water Manag.* Elsevier, 2010. Vol. 97, № 4. P. 528–535.
5. Surface energy balance and actual evapotranspiration of the transboundary Indus Basin estimated from satellite measurements and the ETLook model / W.G.M. Bastiaanssen et al. // *Water Resour Res.* John Wiley & Sons, Ltd, 2012. Vol. 48, № 11.
6. Utkuzova D.N., Han V.M., Vil'fand R.M. Statistical analysis of extreme drought and wet events in Russia // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2015. Vol. 28, № 4. P. 336–346.
7. Kosolapov A.E. Cimlyanskoe vodohranilishche v usloviyah dlitel'nogo perioda ponizhennoj vodnosti // *Vodnyeresursy: novye vyzovy i puti resheniya* : sbornik nauchnyh trudov: posvyashchaetsya Godu ekologii v Rossii i 50-letiyu Instituta vodnyh problem RAN (Sochi, 2–7 oktyabrya 2017 goda). Sochi: Lik, 2017. P. 31–36.
8. Water Accounting and Productivity Analysis to Improve Water Savings of Nile River Basin, East Africa: From Accountability to Sustainability / H. Hirwa et al. // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, № 4. P. 818.
9. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices / L. Levidow et al. // *Agric Water Manag.* Elsevier, 2014. Vol. 146. P. 84–94.
10. Howell T. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture // *Agron J. American Society of Agronomy*, 2001. Vol. 93, № 2. P. 281.
11. Maximov N.A. The plant in relation to water. A Study of the Physiological Basis of Drought Resistance. London: Allen and Unwin, 1929. 451 p.

12. Ali M.H., Talukder M.S.U. Increasing water productivity in crop production – A synthesis // *Agric Water Manag.* Elsevier, 2008. Vol. 95, № 11. P. 1201–1213.

13. Remote sensing of regional crop transpiration of winter wheat based on MODIS data and FAO-56 crop coefficient method / H. Li et al. // *Intelligent Automation & Soft Computing*. TF, 2013. Vol. 19, № 3. P. 285–294.

14. Steduto P., Hsiao T.C., Fereres E. On the conservative behavior of biomass water productivity // *Irrig Sci.* Springer-Verlag, 2007. Vol. 25, № 3. P. 189–207.

15. Irrigation Performance Measures: Efficiency and Uniformity / C.M. Burt et al. // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 1997. Vol. 123, № 6. P. 423–442.

16. Burt C., Styles S. Modern Water Control and Management Practices in Irrigation: Impact on Performance // Report No. R98-001. 1998. 276 p.

17. Khanal S., Fulton J., Shearer S. An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture // *Comput Electron Agric.* Elsevier, 2017. Vol. 139. P. 22–32.

18. Njuki E., Bravo-Ureta B.E. Irrigation Water Use and Technical Efficiencies: Accounting for Technological and Environmental Heterogeneity Using Random Parameters Irrigation Water Use and Technical Efficiencies: Accounting for Technological and Environmental Heterogeneity in U.S. Agriculture Using Random Parameters. 2018.

19. Understanding irrigation water use efficiency at different scales for better policy reform: a case study of the Murray – Darling Basin, Australia / M.E. Qureshi et al. // *Water Policy Uncorrected Proof*. 2010. P. 1–18.

20. Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S. Water Stress Regime of Irrigated Crops Based on Remote Sensing and Ground-Based Data // *Agronomy*. 2021. Vol. 11, № 6. P. 1117.

21. Bastiaanssen W.G.M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey // *J. Hydrol (Amst)*. 2000.

22. Zeiliger A.M., Ermolaeva O.S. Информационные технологии в мониторинг bogarnyh i oroshaemyh agrocenozov // *Современные наукоёмкие технологии*. 2016. Vol. 10, № 1. P. 62–66.

23. Zeiliger A.M., Ermolaeva O.S., Krichevцова A.N. Rezul'taty prostranstvenno-vremennogo analiza naborov dannyh DZZ po ispareniyu s poverhnosti sushi MOD16 za 2000–2009 gody dlya territorii Pallasovskogo rajona Volgogradskoj oblasti RF // *Ekologiya. Ekonomika. Informatika : Sbornik statej v 3 t. Rostov-na-Donu: Yuzhnyj federal'nyj universitet*, 2015. P. 35–48.

Ермолаева Ольга Сергеевна, ст. преподаватель, *ol_ermolaeva@rgau-msha.ru* (Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева); **Зейлигер Анатолий Михайлович**, доктор биол. наук, гл. науч. сотрудник, *azeuliguer@mail.ru* (Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова).

УДК 631.6

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-29-32

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ НОРМЫ ПОЛИВА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВосМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

С.Э. БАДМАЕВА

Ключевые слова: многолетние травы, режим орошения, поливы, нормы, водопотребление, коэффициент, урожайность.

Keywords: perennial grasses, watering, norms, water consumption, coefficient, yield.

В статье представлены результаты многолетних исследований по разработке режима орошения со щадящими поливными нормами при выращивании многолетних травосмесей в условиях юга Красноярского края. Суровые природно-климатические условия с холодными зимами, короткими жаркими летними периодами накладывает отпечаток на выращивание сельскохозяйственных культур. В большинстве сельскохозяйственных районов юга Красноярского края многолетние травы испытывают недостаток увлажнения в критические фазы роста и развития. Для восполнения дефицита почвенной влаги и повышения урожайности культур с высокими кормовыми качествами необходимо дополнительное увлажнение – поливы. На черноземах обыкновенных поливы должны быть небольшими нормами во избежание негативных последствий орошения, т. е. экологически безопасными.

The article presents the results of many years of research on the development of irrigation regime of perennial grass mixtures in the conditions of the south of the Krasnoyarsk Territory. Harsh natural and climatic conditions, with cold winters, short hot summers, leave an imprint on the cultivation of agricultural crops. In most agricultural areas of the south of the Krasnoyarsk Territory, perennial grasses lack moisture during critical phases of growth and development. To make up for the lack of soil moisture and increase the yield of crops with high feed qualities, additional moistening – watering is necessary. On ordinary chernozems, irrigation should be small in order to avoid negative consequences of irrigation, i.e. environmentally safe.

Мелиорация земель осуществляется в целях повышения продуктивности и устойчивости земледелия, обеспечения гарантированного производства сельскохозяйственной продукции на основе воспроизводства повышения плодородия земель сельскохозяйственного назначения [12]. Оросительные мелиорации, являясь, частью гидромелиорации направлены на оптимизацию водного, воздушного, температурного и пищевого режима почв [1, 2]. Орошение, как мощный антропогенный фактор, приводит к изменению почвенных режимов, как в положительную сторону, так и в отрицательную.

Поливы, проведенные без научного обоснования режимов орошения сельскохозяйственных культур, без учета почвенно-климатических условий могут привести к негативным последствиям: повышению уровня грунтовых вод, вторичному засолению и заболачиванию, водной эрозии и т. д. Опыт эксплуатации оросительных систем на юге Красноярского края, где проводилось орошение «грузными» поливными нормами привело к поднятию уровня грунтовых вод и вторичному засолению на пониженных элементах орошаемой территории [8]. Для обоснования и оценки природно-мелиоративных особенностей мелиорируемой толщи почв должна быть учтена критическая глубина уровня грунтовых вод [9, 11]. Разработку режима орошения культур необходимо увязывать как с особенно-

стями выращиваемой культуры, так и почвенно-мелиоративными условиями [5, 7, 10].

Цель исследования – разработать экологически безопасные режимы орошения многолетних трав на черноземах обыкновенных лесостепной зоны Красноярского края.

Методика. Режим влажности почвы и водно-физические свойства изучались по общепринятым методикам почвенных исследований. Влажность почвы определялась на глубину до 0,5 м по слоям через 0,1 м по пятидневкам, до и после полива. Образцы на водно-физические свойства отбирались по 0,1 м слоем сплошной колонкой до глубины 0,5 м и в них определялись: плотность – методом режущего кольца, плотность твердой фазы почвы – методом Качинского, максимальная гигроскопичность – по Николаеву, наименьшая влагоемкость – методом заливаемых площадок, влажность завядания и диапазон активной влаги – расчетным методом.

Схема опыта предусматривала варианты: контроль (без орошения); осенний влагозарядковый полив + вегетационные поливы; вегетационные поливы с поддержанием влажности почвы на уровне 70 % НВ.

Результаты и их обсуждение. Земледельческая зона юга Красноярского края характеризуется достаточно теплым и умеренно – влажным климатом, ГТК 1,2. За год выпадает 300...400 мм осадков, сумма активных температур выше 10 °С не превышает 1569 °С. Средняя температура января – 22,1 °С, июля +17,5 °С, средняя температура за год – 1,9 °С. Испарение составляет 267 мм в год. Коэффициент континентальности достигает 88,9. Продолжительность безморозного периода не превышает 90...95 дней. Господствующими почвами являются черноземы обыкновенные, оподзоленные и выщелоченные [3]. Мощность гумусового горизонта чернозема обыкновенного 25...50 см, содержание гумуса в гор. А – от 4,6 до 7,7 %, емкость поглощения 34...65 мг-экв на 100 г почвы, рН водной вытяжки в верхних горизонтах 7,1...7,7, в почвообразующей породе до 8,6. Токсичные воднорастворимые соли отсутствуют.

Водопроницаемость низкая и средняя, коэффициент фильтрации при естественной влажности – 0,48...1,31 мм/мин, а при влажности 0,7НВ – 0,08...0,11 мм/мин. Плотность сложения в верхнем полуметровом слое колеблется от 1,09 до 1,27 г/см³, наименьшая влагоемкость 24,9...28,1 %, диапазон активной влаги 9,1...15,4 % от объема почвы.

По влагообеспеченности вегетационные периоды в годы исследований были от остросухих (95 % обеспеченности осадками) до влажных (25 % обеспеченности). В целом можно отметить, как в годы наших исследований, так и по среднемноголетним данным, большая часть осадков выпадает во второй половине вегетационного периода.

Исследования по разработке режима орошения многолетних травосмесей проводились на черноземах обыкновенных, среднесуглинистых в вегетационно-полевом опыте в течение семи лет. Наиболее эффективной формой повышения продуктивности

сельскохозяйственных угодий в условиях юга Красноярского края является ускоренное залужение их сеянцами многолетними травами. Многолетние травосмеси состояли из одного бобового и двух злаковых культур: люцерна синегибридная + овсяница луговая + костер безостый. Набор смеси многолетних трав из трех компонентов обеспечивает высокую урожайность сена многолетних трав с высокими кормовыми качествами, устойчивы к кратковременному избыточному увлажнению, так же и выдерживают кратковременную засуху. К настоящему времени экологические функции культурных бобово-злаковых растительных сообществ в агро- или фитоценозе достаточно широко изучены. Это связано со способностью бобовых культур улучшать азотное и фосфорное питание, что обусловлено азотфиксацией и возможностью бобовых растений усваивать труднорастворимые фосфаты, часть которых с корневыми выделениями поступает в почву в формах, доступных для других видов растений. Также злаковые культуры могут влиять на бобовые через изменение их условий питания [4, 6].

Режимы орошения были разработаны для условий года 50 % обеспеченности осадками (полузасушливый год). По количеству выпавших осадков, по температурным условиям вегетационные периоды в годы исследований мало отличались. Осадков выпало 236...251 мм, что несущественно выше среднемноголетних значений (229 мм). Распределение осадков по месяцам было неравномерное: начало вегетации трав май–июнь был засушливым, обильными и продолжительными атмосферными осадками характеризовался июль, осадков выпало выше нормы на 40,2 мм, август был близок к «норме» – 64,6 мм. За период вегетации сумма среднемесячных температур воздуха за все месяцы была выше «нормы» на 6,3 °С, особенно теплыми были июнь и июль месяцы.

На варианте «контроль» в неорошаемых условиях, запасы влаги в полуметровом слое почвы в среднем составили 55...58 % НВ. В период роста и развития трав до первого укоса влажность почвы колебалась в пределах 53...60 % НВ. Во втором укосе в результате обильных осадков, выпавших в июле, наблюдалось постепенное повышение влажности почвы до 77 % НВ.

На варианте с осенним влагозарядковым поливом в сочетании с вегетационными поливами, исходные запасы влаги в 0...50 см слое почвы составили 70 % НВ. Затем шло постепенное снижение влажности и потребовались дополнительные увлажнения почвы – поливы. В зависимости от распределения осадков в период вегетации культур по годам исследований, проведены от одного до двух поливов нормами 30 мм. В дальнейшем на этом варианте поливы способствовали поддержанию оптимального уровня влажности почвы выше 70 % НВ.

В опытах на варианте с поддержанием предполивного порога увлажнения на уровне 70 % НВ к началу вегетации многолетних трав влажность почвы была невысокой и составляла 60 % НВ. Для ускоренного отрастания многолетних трав и устранения дефицита почвенной влаги были проведены поливы нормой 30 мм в начале мая. Многолетним наблюдениями установлено, что май характеризуется засушливыми погод-

ными условиями при высоких температурах воздуха. Влажность почвы в этот период уменьшается до критических значений, и требуются поливы. Распределение выпавших атмосферных осадков в годы исследований были неравномерны. Для поддержания влажности почвы не ниже 70 % НВ были проведены от двух до пяти поливов нормами 20...30 мм с оросительной нормой 80...140 мм за период вегетации.

Методы определения суммарного водопотребления можно разделить на методы непосредственных полевых измерений и расчетные методы, основанные на установлении корреляционной зависимости суммарного водопотребления с различными метеорологическими факторами. Практика показала, что наиболее достоверны данные, полученные в результате непосредственных наблюдений за водопотреблением растений.

Эффективность использования оросительной воды характеризует коэффициент водопотребления. В условиях года 50 % обеспеченности осадками (полузасушливый) самые высокие показатели суммарного водопотребления были отмечены на варианте с предполивным порогом увлажнения 70 % НВ – 348...380 мм, где на долю осадков приходилось от 66 до 71 %, на поливы – от 23 до 37 %. Наблюдениями было установлено, что на этом варианте произошло увеличение почвенных влагозапасов к концу вегетации от 3 до 6 %.

В опытах с осенним влагозарядковым поливом в сочетании с вегетационными поливами суммарное водопотребление составило 303...323 мм, доля осадков возросла по сравнению с опытом с предполивным порогом увлажнения 70 % НВ и составила от 78 до 82 %. За счет поливов пришлось от 10 до 18 %, и от запасов влаги – от 4 до 8 %. Самые низкие значения водопотребления определены на неорошаемом варианте – от 275 до 280 мм и, соответственно, большая часть пришлась на долю осадков – 90 %, и за счет почвенной влаги – 10 % (таблица).

Урожайность сена многолетних трав на вариантах с орошениями колебалась от 9,1 до 10,5 т/га, при коэффициентах водопотребления 29...42 мм/т.

Заключение. В условиях южных районов Красноярского края большая часть атмосферных осадков выпадает во второй половине лета, что предопределило сроки поливов. Суммарное водопотребление многолетних трав в наших опытах зависело от режима орошения и погодных условий, складывавшихся в вегетаци-

онные периоды. При этом водопотребление в большей мере определялось интенсивностью изучаемых режимов орошения, а его структура, кроме того, во многом зависела от количества атмосферных осадков, выпавших в вегетационный период. Осенние влагозарядковые поливы, аккумулируя влагу, позволяет отодвинуть весенние поливы на две – три декады и способствуют ускоренному отрастанию многолетних трав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадмаева С.Э. Эколого-мелиоративные исследования в Средней Сибири: монография. Красноярск: КрасГАУ, 2004. 141 с.
2. Бадмаева С.Э. Оптимизация агроландшафтов по показателям тепло-влагообеспеченности: мат. межд. научно-практ. конф. Красноярск, 2020. С. 3–5.
3. Бадмаева Ю.В., Морев И.О., Кудрин В.С. Устойчивость агроландшафтов Минусинской лесостепи Красноярского края // Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 1(61). 2021. С. 93–96.
4. Бадмаева С.Э. Интенсивное выращивание многолетних травосмесей на пойменных почвах юга Средней Сибири // Плодородие. 2008. № 3. С. 22–26.
5. Бадмаева С.Э., Семёнова В.В. Гранулометрический состав и агрофизические свойства чернозема обыкновенного лесостепи Красноярского края // Плодородие. 2019. № 2(107). С. 31–32.
6. Гребенников А.М. Экологические функции культурной растительности в агроценозе // Агрехимия. 2001. № 9. С. 75–84.
7. Лихачевич А.П., Романов И.А. Оценка влияния продолжительности расчетного интервала на точность водобалансового расчета при неустойчивых погодных условиях // Мелиорация. 2017. № 2. С. 5–9.
8. Меркушева М.Г., Бадмаева С.Э., Убугунов Л.Л. Орошаемые почвы степных территорий Восточной Сибири: монография. Красноярск: КрасГАУ, 2010. 571 с.
9. Приходько В.Е. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность: монография. М.: Интеллект, 1996. 180 с.
10. Семёнова В.В., Бадмаева С.Э. Оптимизация водного режима чернозема обыкновенного лесостепной зоны Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2020. № 1. С. 40–46.
11. Устинов М.Т., Глистин М.В. Критический уровень грунтовых вод как критерий эколого-мелиоративного состояния почв // Вестник мелиоративной науки. 2017. С. 4–11.
12. ФЗ РФ «О мелиорации земель»: принят Государственной Думой от 8 декабря 1995 г., с изменениями и дополнениями от 19 декабря 2022 г. № 539-ФЗ.

REFERENCES

1. Badmaeva S.E. Ecological and meliorative research in Central Siberia: monograph. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2004. 141 p.

Суммарное водопотребление, урожайность и коэффициент водопотребления многолетних трав в годы 50%-й обеспеченности осадками

Вариант	Приход влаги			Суммарное водопотребление, мм	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, мм/т
	Осадки	Поливы	Почвенные запасы			
Контроль	248...251 90	–	27...29 10	275...280	2,9...3,4	95...82
Осенний влагозарядковый + вегетационный поливы	248...251 82...78	30...60 10...18	25...12 8...4	303...323	10,5...9,8	29...33
70 % НВ	248...251 71...66	80...140 23...37	20...(±11) 6...(±3)	348...380	9,8...9,1	35...42

Примечание. В числителе – мм; в знаменателе – % от суммарного водопотребления; + – увеличение, уменьшение запасов влаги к концу вегетации.

2. Badmaeva S.E. Optimization of agricultural landscapes in terms of heat and moisture availability: mat. International Scientific and Practical conference. Krasnoyarsk, 2020. P. 3–5.

3. Badmaeva Yu.V., Morev I.O., Kudrin V.S. Sustainability of agro-landscapes of the Minusinsk forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory // Astrakhan Bulletin of ecological education. 2020. No. 1(61). 2021. P. 93–96.

4. Badmaeva S.E. Intensive cultivation of perennial grass mixtures on floodplain soils of the south of Central Siberia // Fertility. 2008. No. 3. P. 22–26.

5. Badmaeva S.E., Semenova V.V. Granulometric composition and agrophysical properties of ordinary chernozem of the forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory // Fertility. 2019. No. 2(107). P. 31–32.

6. Grebennikov A.M. Ecological functions of cultural growth in agrogenesis // Agrochemistry. 2001. No. 9. P. 75–84.

7. Likhatevich A.P., Romanov I.A. Assessment of the effect of the duration of the calculation interval on the accuracy of the water balance calculation under unstable weather conditions // Land reclamation. 2017. No. 2. P. 5–9.

8. Merkusheva M.G., Badmaeva S.E., Ubugunov L.L. Irrigated soils of steppe territories of Eastern Siberia: monograph. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2010. 571 p.

9. Prikhodko V.E. Irrigated steppe soils: functioning, ecology, productivity: monograph. M.: Intellect, 1996. 180 p.

10. Semenova V.V., Badmaeva S.E. Optimization of the water regime of ordinary chernozem of the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory // Bulletin of KrasGAU. 2020. No. 1. P. 40–46.

11. Ustinov M.T., Glistin M.V. Critical groundwater level as a criterion of ecological and meliorative state of soils // Bulletin of meliorative science. 2017. P. 4–11.

12. The Federal Law of the Russian Federation «On Land Reclamation» was adopted by the State Duma on December 8, 1995, with amendments and additions dated December 19, 2022 No. 539-FZ.

Бадмаева Софья Эрдыниевна, доктор биол. наук, зав. кафедрой кадастра застроенных территорий и геоинформационных технологий, s.bad55@mail.ru (Красноярский государственный аграрный университет, Институт землеустройства, кадастров и природообустройства).

УДК 631.6

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-32-36

ПОКРЫТИЕ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИННОВАЦИОННЫМ БЕТОННЫМ ПОЛОТНОМ И АДАПТИВНЫЕ СПОСОБЫ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Ф.К. АБДРАЗАКОВ, А.А. РУКАВИШНИКОВ, Э.Э. САФИН

Ключевые слова: мелиорация, техническое обслуживание и ремонт, оросительный канал, бетонное полотно.

Keywords: reclamation, irrigation canal operation, geomembrane, concrete bed, resource-saving technologies, construction.

Актуальность исследования заключается в расширении и получении новых теоретических знаний о применении адаптивных технологий эксплуатации оросительных каналов в зависимости от типа облицовочных материалов, а именно геосинтетических материалов. Объектом исследования является бетонное полотно. Анализ включал в себя методы эмпирического и экспериментально-теоретического уровня. В работе рассматривались и сопоставлялись такие облицовочные материалы как геомембрана, бентонитовые маты и бетонная облицовка, как традиционный облицовочный материал. Приведенные теоретические положения работы допускают возможность применения малой механизированной техники при проведении работ по очистке русла каналов, покрытых бетонных полотном от наносов.

The relevance of the study is to expand and obtain new theoretical knowledge on the application of adaptive technologies of irrigation canals operation depending on the type of facing materials, namely geosynthetic materials. The object of the study is a concrete canvas. The analysis included methods of empirical and experimental-theoretical level. The work considered and compared such cladding materials as geomembrane, bentonite mats and concrete cladding as a traditional cladding material. The given theoretical provisions of

the work allow for the possibility of applying small mechanized equipment when carrying out works on cleaning the canal beds covered with concrete canvas from sediments.

Введение. Мелиоративное производство является неотъемлемой частью и однозначно катализатором получения высоких и устойчивых урожаев по всей России. При этом качество проводимых мероприятий и технологии определяют лидеров по валовому сбору сельскохозяйственной продукции. Однако нельзя не отметить, что для проведения оросительных мероприятий, необходимо поддерживать транспортирующую и проводящую функцию каналов системы. Это необходимо для ежегодной эксплуатации оросительной сети с максимальными показателями кпд [1]. Применение того или иного материала всегда сопровождается рядом вопросов по строительству и обслуживанию их в процесс жизненного цикла как канала, так и материала. Современные облицовочные материалы, такие как бетонное полотно, геомембрана и также подобные композитные материалы, без сомнения, обладают уникальными свойствами, позволяющие укладывать от 100 до 600 м² за один рабочий день, минимальное или полное отсутствие тяжелой техники, фильтрационные свойства и т. д. [3–5, 8]. При этом полностью отсутствуют комплексные технологии обслуживания и ремонта таких материалов.

Данный вопрос является актуальным, так как вышеперечисленные материалы появились сравнительно недавно, и немногие проходили процедуру текущего и капитального ремонта. Следовательно, тема работы является актуальной и заслуживает внимания. Целью работы является повышение эффективности и надеж-

ности оросительных каналов, исключение фильтрационных потерь воды за счет разработки и применения инновационных геосинтетических материалов при их реконструкции и ремонте.

Методика исследования. При проведении исследования использовали метод эмпирического познания. Теоретический метод включал в себя реферирование, конспектирование и цитирование общих и специальных научных трудов ученых по данному наукоемкому направлению. В работе применяли математические и статистические методы для получения и установления количественных зависимостей между изучаемыми явлениями.

Так как основа исследования базируется на обслуживании оросительных каналов покрытых бетонным полотном, а именно очистка каналов от наносов, то основным будет считаться возможность материала выдержать вес трактора, бульдозера или иное транспортное средство.

При движении транспортного средства в русле канала в зоне контакта дна канала возникают динамические вертикальные, продольные и поперечные касательные силы, значение которых зависит от типа транспортного средства, шины колеса, нагрузки и природно-климатических условий (рис. 1). При неподвижности транспортного средства, на стоящее колесо действует только одна сила – вес трактора, приходящееся на это колесо. Под действием вертикальной силы колесо деформируется как на рис. 1а [10].

Площадь следа колеса F меняется в пределах 250...1000 см². Для одного и того же трактора значение F , м², зависит от нагрузки на колесо: $F = G/p$.

Различают площадь отпечатка колеса по контуру в форме эллипса (рис. 1а) и по выступам рисунка протектора. При определении среднего давления в расчет принимают площадь отпечатка по выступам протектора. При расчете дорожной одежды для вычисления p условно принимают площадь отпечатка в виде круга диаметром D , м, равновеликую площади эллипса [12]:

$$D = 11,3\sqrt{G / (0,1p)}.$$

Основные физико-механические параметры бетонного полотна: прочность на сжатие – 25,6...30,4 МПа (261,04...309,99 кг/см²); прочность на изгиб – 4,5...5 МПа (45,88...50,98 кг/см²).

Прочность бетонного полотна на изгиб обосновывается структурой материала, позволяющей ему при воздействии механических нагрузок возвращаться в исходное состояние (рис. 2), при этом монолитный бетон (лабораторный образец 100×100×400 мм по ГОСТ 10180–90) при осевом растяжении может выдерживать нагрузку до 52,4 кг/см² без деформации. Однако при появлении трещин бетон будет постепенно разрушаться.

Для полноты данных необходимо добавить данные о разрывной нагрузке бетонного полотна. Для ис-

следования места стыковки бетонного полотна проводился эксперимент на разрыв. Метод испытания заключается в растяжении образца ПКМ с постоянной скоростью нагружения или деформирования до момента разрыва. На рис. 3 представлена установка и испытуемый образец, зажатый в тисках с обеих сторон.

По результатам проводимых исследований с разными вариантами креплений, получены удовлетворяющие результаты, равные 2,05 МПа.

Результаты исследования. Принципиально отличие средств и технологий при обслуживании оросительных каналов заключается в том, что некоторые виды геосинтетиков не предусматривают очистку путем применения тяжелой техники, к таким относится геомембрана и бентонитовые маты [3, 7, 9]. В данном случае нами рассматривается вопрос очистки каналов путем непосредственного использования тяжелой техники в русле канала. Традиционный вариант очистки оросительных каналов путем использования тяжелых тракторов недопустим, так как современные облицовочные материалы не предусматривают технологии очистки пу-

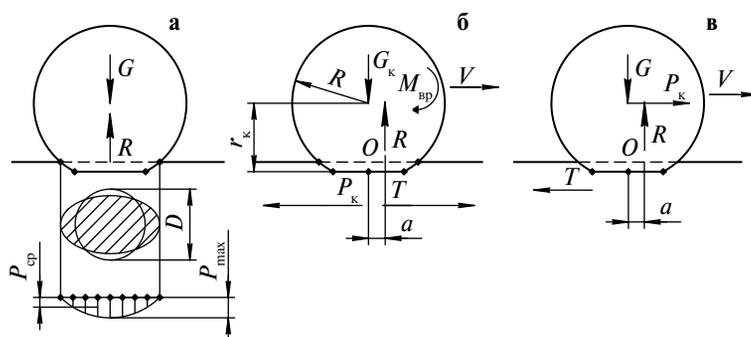


Рис. 1. Схема сил, действующих на поверхность дна канала:
 а – стоящее колесо; б – ведущее колесо; в – ведомое колесо;
 D – размер пятна контакта колеса с облицовочным покрытием;
 $P_{сп}$, P_{max} – соответственно средний и максимальный прогиб облицовочного полотна; G – вес ТС; R – сила реакции; G_k – вес ТС, приходящийся на колесо; $M_{вр}$ – вращающий момент; T – сила трения; r_k – расстояние от центра колеса до поверхности дорожного покрытия; r – радиус колеса; a – расстояние от мгновенного центра скоростей O до линии действия силы реакции R ; P_k – окружная сила; v – скорость движения ТС

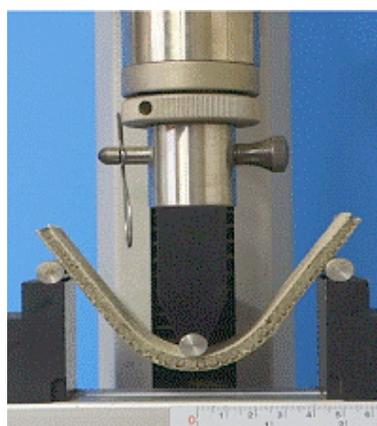


Рис. 2. Испытания на изгиб по ГОСТ 18124–2012



Рис. 3. Испытания на разрыв бетонного полотна

тем непосредственного контакта тяжелой механизированной техники и облицовочного материала.

Данный вариант невозможен по нескольким причинам [2, 10]:

- большая масса (пример Т-330);
- невозможность передвижения из-за просадки грунта до 20 % от проектного сечения;
- высокий процент трения недопустим для данных геосинтетических материалов.

Как известно, при нормальных условиях эксплуатации откладываемые в течение года наносы могут составлять порядка 0,1...0,5 м, при этом площадь живого сечения ежегодно сокращается на 5...8%. Отсюда следует, что эксплуатационные мероприятия следует выполнять ежегодно, вне зависимости от используемого материала [6]. При этом важно отметить, что при использовании бетонных облицовочных плит ситуацию можно исправить с помощью тяжелой техники.

Капитальный ремонт оросительных каналов проводится раз в 10...25 лет в зависимости от геоположения объекта и условий эксплуатации. При этом важной проблемой в будущем будет невозможность использования каналов облицованных современными одеждами, если не будет комплексных технологий обслуживания. Полная утилизация и замена облицовки является иррациональным вариантом, так как несет высокие затраты [1, 2].

Оценивая геосинтетические материалы, нельзя не отметить, бетонное полотно. Данный материал сочетает в себе бетон и геомембрану, что позволяет внести определенные исключения в плане технологического обслуживания. Бетонное полотно в достаточной мере работает на изгиб 3,4...4,5 МПа (34,7...45,8 см²), что позволяет выдерживать высокие нагрузки на материал. Плотность материала в зависимости от марки варьируется от 1500...2025 кг/м³ [3]. Данные показатели позволяют использовать технику, например, Belarus 152 и Русич Т-244. Характеристики моделей представлены в таблице [10].

При этом использование данной техники возможно только при умеренном объеме наносов 0,1...0,3 м, это обосновывается тем, что трактора с максимальной буксируемой массой до 300...800 кг не должны работать на пределе своих возможностей, следовательно, диагностика и очистка каналов покрытых бетонным полотном должна проводиться ежегодно в зависимости от объемов загрязнения.

При этом нельзя не учитывать стоимость техники: Belarus 152 – 370 тыс. руб.; Русич Т-244 – 750 тыс. руб.

Основные характеристики мини-тракторов

Характеристика	Belarus 152	Русич Т-244
Масса	650	1230
Привод	Полный (4×4)	
Мощность, л.с.	11,8	24,4
Дорожный просвет, мм	280	300
Максимальная буксируемая масса, кг	300	800
Тяговый класс	0,2	0,6

В примере проведен анализ мини-тракторов как приемлемый вариант использования каждого из них. Без сомнения, Русич Т-244 на порядок превосходит по всем характеристикам Belarus 152, при этом масса имеет важное значение при выборе наиболее рационального варианта.

Рассмотрим максимальное давление на грунт каждого трактора: Belarus 152 – 14 МПа (142,76 кг/см²); Русич Т-244 – 21 МПа (214, 14 кг/см²).

Так как учитывается максимальное давление на грунт (облицовку) тракторов, то также будем учитывать максимальные показатели на сжатие бетонного полотна. Таким образом, получаем:

для Belarus 152:

$$R_{\text{сжатие бет. пол.}} / \text{Уд. давл. макс тракт.} = 30,4 / 14 = 2,17 \text{ МПа;}$$

для Русич Т-244:

$$R_{\text{сжатие бет. пол.}} / \text{Уд. давл. макс тракт.} = 30,4 / 21 = 1,44 \text{ МПа.}$$

где $R_{\text{сжатие бет. пол.}}$ – максимальные показатели бетонного полотна на сжатие; Уд. давл. макс тракт. – максимальное удельное давление трактора на грунт (облицовку).

Таким образом, получаем коэффициенты запаса 2 и 1,5 при применении тракторов Belarus 152 и Русич Т-244 соответственно.

Использование бетонного полотна должно сопровождаться тщательной оценкой грунтовой поверхности каналов и возможных подтоплений близлежащих территорий, так как при подвижности грунта или рыхлой поверхности применение бетонного полотна невозможно, тем более дальнейшее обслуживание путем использования тяжелой техники.

Нельзя не отметить тот факт, что подвесное оборудование в виде ковша должно иметь прорезиненный защитный слой, имеющий прямое взаимодействие с бетонным покрытием, так как в ином случае это приведет к повреждению бетонной облицовки.

Завершающий этап очистки оросительных каналов, а именно подъем и утилизация наносов из русла оросительного канала может осуществляться традиционным способом с помощью ручной загрузки и подъемом наносов с помощью мелиоративного экскаватора ЭМ-152Б, как одним из многочисленных вариантов.

Каждый материал требует индивидуального анализа и проработанной технологии очистки. К вопросу очистки каналов покрытых геомембраной, можно добавить, что его преимуществом является его шероховатость. Это позволит снизить залегаемые наносные отложения, а также ускорить поток воды в открытом трубопроводе, что увеличит транспортирующую способность канала.

Обсуждение и выводы. Невозможно отрицать широкое применение геосинтетических материалов на территории РФ и странах ближнего зарубежья. Изучением и разработкой современных технологий укладки и обслуживания занимаются известные ученые из РосНИИПМ, г. Новочеркасск: О.А. Баев, Ю.М. Косиченко, В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко и др. При этом нельзя не отметить возрастающую востребованность современных и эффективных инновационных технологий при эксплуатации каналов.

Предложенные теоретические положения использования малой механизированной техники при дальнейшей апробации может локально решить вопрос о проведении ежегодного текущего ремонта и обслуживания оросительных каналов, покрытых бетонным полотном.

Известно, что бетонное полотно применяется в регионах с различными погодными условиями (рис. 4). Соответственно выбор технических средств обслуживания является первостепенной задачей.

Вопрос очистки каналов покрытых композитными материалами путем использования экскаватора остается открытым, так как в полной мере не изучен вопрос взаимодействия рабочего оборудования и облицовочного материала.

Требуется оценить безопасность такого способа очистки, так как повышение технического уровня, поддержание нормативных показателей и совершенствование гидротехнических сооружений является условием экологически сбалансированных систем с минимально допустимыми непроизводительными потерями, что обеспечивает биологический круговорот воды, вещества, энергии и информации в агроландшафтах.

Нижеприведенные объекты включают в себя различные погодные условия от -60 до $+60$ °С, то есть климатический диапазон для использования бетонного полотна готов к экстремальным погодным условиям.

Также стоит отметить, что технологии обслуживания оросительных каналов без прямого воздействия на материал могут остаться неизменными, как например удаление древесно-кустарниковой растительности.

Заключение. Внедрение высокотехнологичных инновационных геосинтетических материалов, обладающих значительной прочностью и долговечностью, без сомнений, вызывает интерес у потенциальных потребителей. При этом экологичность, экономичность, универсальность и что немаловажно исключение потерь и фильтрации оросительной воды позволяет повысить эффективность облицовочных работ и следствием этого, КПД оросительной сети в целом. В работе было отмечена возможность применения малой механизированной техники, а именно мини-тракторов для обслуживания каналов покрытых бетонным полотном. Это позволит повысить эффективность функционирования каналов, а также обеспечить их бесперебойную и надежную работу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдразаков Ф.К. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств в мелиоративном производстве. Саратов, 2002. 352 с.



Великобритания, Бедвас



Южная Африка, Муден



Чита-Забайкальск, граница с КНР



Якутия, Мирный

Рис. 4. Использование бетонного полотна в РФ и зарубежных странах

2. Абдразаков Ф.К. Ресурсосберегающие технологии и машины для интенсификации мелиоративного производства. Саратов, 2019. 164 с.

3. Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А. Оценка перспективы использования бетонного полотна в качестве облицовочного материала оросительных каналов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4(60). С. 327–339.

4. Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А. Интенсификация мелиоративного производства путем совершенствования технологий реконструкции и строительства оросительных каналов Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2018. № 10. С. 48–51.

5. Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А. Исключение непроизводительных потерь водных ресурсов из оросительной сети за счет использования инновационных облицовочных материалов // Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 91–94.

6. Абдулмажидов Х.А., Карапетян М.А. Очистка мелиоративных каналов от наносов, заиления и растительности // Агринженерия. 2016. № 5(75). С. 13–17.

7. Баев О.А., Талалаева В.Ф. Конструктивно-технологические решения для создания и восстановления покрытий оросительных каналов // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 2. С. 177–191.

8. Баев О.А. Расчеты установившейся свободной фильтрации из необлицованных каналов // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 3. С. 227–243. DOI 10.31774/2712–9357–2022–12–3–227–243.

9. Косиченко Ю.М., Баев О.А. Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов. Новочеркасск: ИП Белоусов А.Ю., 2014. 239 с.

10. Научные основы технологии машиностроения: учебное пособие / А.С. Мельников, М.А. Тамаркин и др. СПб.: Лань, 2018. 420 с.

11. Русинов А.В. Методические указания для практических занятий по дисциплине «Теория автомобилей и тракторов» для специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2019. 50 с.

REFERENCES

Abdrzakov F.K. Intensification of technologies and improvement of technical means in land reclamation production. Saratov, 2002. 352 с.

2. Abdrazakov F.K. Resource-saving technologies and machinery for the intensification of land reclamation production. Saratov, 2019. 164 с.

3. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A. Evaluation of the prospects for the use of concrete bed as a lining material of irrigation canals // Proceedings of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. № 4(60). С. 327–339.

4. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A. Intensification of meliorative production by improving the technology of reconstruction and construction of irrigation canals of the Saratov region // Agrarian Scientific Journal. 2018. № 10. С. 48–51.

5. Abdrazakov F.K., Rukavishnikov A.A. Elimination of unproductive losses of water resources from the irrigation network through the use of innovative facing materials // Agrarian Scientific Journal. 2019. № 10. С. 91–94

6. Abdulmazhidov Kh.A., Karapetyan M.A. Cleaning meliorative channels from sediments, silt and vegetation // Agroengineering. 2016. № 5 (75). С. 13–17;

7. Bayev O.A., Talalaeva V.F. Structural and technological solutions for creating and restoring coatings of irrigation canals // Melioration and Hydraulic Engineering. 2022. Т. 12. № 2. С. 177–191.

8. Bayev O.A. Calculations of steady-state free filtration from unlined channels // Melioration and Hydraulic Engineering. 2022. Т. 12. № 3. С. 227–243. DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-3-227-243.

9. Kosichenko Y.M., Bayev O.A. Antifiltration coverings from geosynthetic materials. Novocheboksak: IP Belousov A.Yu., 2014. 239 с.

10. Scientific bases of mechanical engineering technology: Textbook / A.S. Melnikov, M.A. Tamarkin et al. SPb: Lan', 2018. 420 с.

11. Rusinov A.V. Methodological instructions for practical exercises on the discipline «Theory of cars and tractors» for the specialty 23.05.01 Land transport and technological means. Saratov: FGBOU VO Saratov GAU, 2019. 50 с.

Абдразаков Фярид Кинжаевич, доктор техн. наук, профессор кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК», abdrzakov.fk@mail.ru; **Рукавишников Андрей Алексеевич**, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», andrei_rukavishn@mail.ru; **Сафин Эмиль Эдикович**, аспирант кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК», mister.safimil@yandex.ru (Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова).

УДК 626.8:693.54

DOI: 10.32962/0235-2524-2023-2-36-40

ДЕФЕКТЫ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



Д.С. ДУБЯГО, А.Е. НОВИКОВ, С.М. ГРИГОРОВ

Ключевые слова: дефекты, бетонные и железобетонные конструкции, гидротехнические сооружения, мелиоративные системы.

Keywords: defects, concrete and reinforced concrete structures, hydraulic structures, ameliorative systems.

Проанализированы причины появления дефектов бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений мелиоративных систем Республики Беларусь. Установлено, значительные разрушения происходят в зоне переменного уровня воды в сравнении с подводной и надводной зонами, что обусловлено значительными колебаниями температуры воздуха от 0 °С, а также циклами замораживания — оттаивания воды. Согласно анализа проектно-сметной документации на ремонты различного назначения ГТС производство бетонных и сопутствующих работ составляет 48...73% от общего объема ремонтных работ, что указывает на необходимость совершенствования технологии ремонтов и повышения их качества. Для повышения эксплуатационной надежности бетонных и железобетонных конструкций рекомендуется при устройстве противофильтрационных облицовок использовать композитной арматуры (АСК Ø8 мм) и полиэтиленовой пленки.

The reasons for the appearance of defects in concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures of reclamation systems of the Republic of Belarus are analyzed. It has been established that significant damage occurs in the zone of variable water level in comparison with the underwater and above-water zones, which is due to significant fluctuations in air temperature from 0 °C, as well as cycles of freezing and thawing water. According to the analysis of design estimates for repairs of hydraulic structures for various purposes, the production of concrete and related works is 48 ... 73 % of the total repair work, which indicates the need to improve the technology of repairs and improve their quality.

To increase the operational reliability of concrete and reinforced concrete structures, it is recommended to use composite reinforcement (ASK Ø 8 mm) and polyethylene film when installing impervious linings.

Введение. В настоящее время Россия, как и Республика Беларусь, столкнулась с глобальными и национальными вызовами, которые обусловлены геополитической и санитарно-эпидемиологической обстановкой, а также другими причинами, негативно влияющими на сельскохозяйственный сектор. Особого внимания требуют экологические, природно-ресурсные и технологические вызовы, создающие существенные риски снижения уровня дохода сельскохозяйственного производства [1–4]. На территориях ведения сельского хозяйства с неустойчивым выпадением атмосферных осадков гидротехнические сооружения (ГТС) мелиоративных систем оказывают определяющее влияние на получение проектных урожаев сельскохозяйственных культур. Это, главным образом, связано с обеспечением требуемого уровня грун-

товых вод, своевременного отвода излишков воды или транспортирования воды к оросительным системам [5–9]. Однако текущее эксплуатационное состояние большинства бетонных и железобетонных конструкций ГТС вызывает особое опасение, по имеющимся публикациям [10–12] состояние можно охарактеризовать как удовлетворительное и неудовлетворительное. При этом технологии обслуживания и ремонта таких конструкций, например, использование полимерных композиций разработанного состава для приклеивания полиэтиленовой пленки к поверхности бетона [12–14], или повышения эксплуатационной надежности бетона при относительном удешевлении строительных работ, например, при армировании неметаллической композитной арматурой [15, 16], имеются и широко используются как в мелиоративно-водохозяйственном комплексе, так и в смежных областях.

Материалы и методы исследования. Обследование и оценка состояния отдельных гидротехнических сооружений мелиоративных систем, расположенных на территории Республики Беларусь (Могилевская область), выполняли с использованием типовых методик, разработанных ГО «Белводхоз». Стоимости работ по ремонту или восстановлению ГТС приняты из производственных проектов.

Результаты исследования и их обсуждение. В соответствии с Госпрограммой Республики Беларусь в качестве приоритетных направлений на период до 2025 г. запланировано выполнение неотложных ремонтно-эксплуатационных работ на мелиоративных системах и отдельных гидротехнических сооружениях [12, 14, 17].

По результатам обследования ГТС мелиоративных систем Республики Беларусь выявлено множество дефектов бетонных и железобетонных конструкций, выраженных локальными разрушениями бетона в окружении его неповрежденной структуры (рис. 1). Дефекты проявляются по-разному в различных частях сооружений. Например, в шлюзах-регуляторах до 90 % разрушений выявлено в их камерах и в конструкциях элементов рисбермы. Преимущественно это дефекты, связанные с образованием раковин в стенках и днище камеры, разрушение бетона в бычках и устоях, стенках и днище (с обнажением и без обнажения арматуры), разрушение плит и блоков, смещение и выкрашивание бетона швов между плитами.

Практически на всех обследованных сооружениях из-за невысокого уровня воды в камере шлюза-регулятора в зимний период происходило промерзание воды до самого его днища. Например, в 2011–2021 гг. промерзание воды на отдельных водохранилищах зафиксировано на уровне 0,4...0,6 м и более. Вследствие этого на днище шлюза-регулятора появились шелушение и отслоение бетона, раковины и оголение арматуры. В камере шлюза-регулятора разрушение бетона отмечено в береговых устоях и открьлках на блоках и днище в диапазоне 0,1...0,2 м вверх от уровня

воды в период осенне-зимних и весенних заморозков и вниз на глубину промерзания воды до 0,5 м.

В конструкциях железобетонных опор и устоев мостовых переходов преимущественно наблюдали шелушение и отслоение бетона с обнажением и без обнажения арматуры, а у труб-переездов и труб-регуляторов дополнительно обнаружены раковины, разрушение плит и блоков, их смещение, выкрашивание бетона в швах между плитами. Отличительной особенностью вышедших из строя труб-переездов и труб-регуляторов является разрушение стыков во входном и выходном оголовках труб, а также в теле труб, через которые происходит вымыв грунта, сопровождающийся продажкой насыпи и дорожного покрытия.

Таким образом, результаты обследования ГТС выявили значительные разрушения железобетонных конструкций в зоне переменного уровня воды в сравнении с подводной и надводной зонами, что обусловлено значительными колебаниями температуры воздуха от 0 °С (до 100 раз и более в холодный период года), циклами замораживания – оттаивания воды. При этом гидротехнический бетон в порах и капиллярах испытывает деструктивное воздействие расширяющегося льда, который и провоцирует возникновение локальных дефектов. На рис. 2 систематизированы причины появления дефектов в бетонных и железобетонных конструкциях ГТС.

На основе проведенного анализа проектно-сметной документации на ремонты различного назначения ГТС на мелиоративных системах (шлюзов-регуляторов, труб-регуляторов, труб-переездов, мостовых переходов) выделено 4 основных вида работ (таблица). При



Рис. 1. Дефекты бетонных и железобетонных конструкций ГТС



Рис. 2. Причины появления дефектов в бетонных и железобетонных конструкциях ГТС мелиоративных систем

такой классификации можно определить долю отдельных видов работ в общей их стоимости, а также изменение вышеуказанных долей в зависимости от назначения сооружения. Согласно полученным результатам производство бетонных и сопутствующих работ составляет от 48 до 73 % (за исключением мостовых переходов) от общего объема ремонтных работ, при этом монтаж и гидроизоляция конструкций в общем объеме работ составляют всего 1,3...8,2 %.

Дефекты в конструктивных элементах ГТС мелиоративных систем и методы их устранения [18–20] схожи по своей природе, поэтому приведенное в таблице относительное соотношение стоимостных затрат между отдельными группами ремонтных работ может быть применено при решении аналогичных задач в мелиоративно-водохозяйственном комплексе Российской Федерации.

Относительные стоимостные затраты на выполнение работ при ремонтах ГТС, %

Виды работ	Вид ГТС			
	Шлюз-регулятор	Труба-регулятор	Труба-переезд	Мостовой переход
1. Земляные работы по восстановлению форм и размеров конструктивных элементов	12,8	25,1	14,6	–
2. Производство бетонных и сопутствующих работ	48,2	49,1	72,8	9,8
2.1. Земляные работы	3,1	23,8	37	–
2.2. Монтаж (демонтаж) бетонных и железобетонных конструкций	–	8,2	1,3	–
2.3. Производство бетонных работ	35,8	6,3	1,8	9,8
2.4. Гидроизоляция бетонных и железобетонных конструкций	–	–	3,9	–
2.5. Водоотлив	9,3	10,8	28,8	–
3. Работы по ремонту (восстановлению) водорегулирующего оборудования	36,8	25	–	–
4. Работы по ремонту (восстановлению) ограждающих конструкций	2,2	1,0	0,4	90,2
Всего	100	100	100	100

Современный уровень конструкционных и связующих материалов позволяет реализовывать инновационные экономически обоснованные технологии строительства и ремонта ГТС мелиоративных систем. Для повышения эксплуатационной надежности бетонных и железобетонных конструкций, например, при устройстве противофильтрационных облицовок оросительных каналов, можно рекомендовать взамен традиционной стальной арматуры (Вр-II Ø5 мм)

использование композитной (АСК Ø8 мм). Такое решение обеспечивает сооружению устойчивость к коррозии и, соответственно, долговечность, позволяет уменьшить защитный слой бетона, толщину и массу плиты не снижая прочностных характеристик элемента конструкции [11, 15].

В мелиоративном строительстве и при проведении ремонтно-восстановительных работ для создания оптимальных температурно-влажностных условий для твердения и упрочнения гидротехнического бетона, исключающих температурно-усадочные деформации и формирование трещин, достижения необходимой прочности в проектные сроки, рекомендуется приклеивание полиэтиленовой пленки к прилегающей поверхности бетона водным раствором полимерной композиции на основе латекса синтетического и натрий-карбометилцеллюлозы технической с содержанием твердых компонентов 24,9...37,4% [12–14].

Выводы. Техническое состояние гидротехнических сооружений мелиоративных систем Республики Беларусь требует незамедлительного проведения ремонтно-восстановительных работ, которые обеспечат более длительный период их эксплуатации и, соответственно, эффективное использование мелиорированных земель в целях получения устойчиво высоких урожаев сельскохозяйственных культур. В отдельных случаях при отсутствии возможности восстановления функций гидротехнического сооружения имеет место изменение его назначения, например, демонтаж трубы-регулятора и назначение ей функций трубы-переезда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».
2. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации».
3. Новиков А.Е., Комарова О.П. Проблемы и направления исследований в орошаемом земледелии // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 5. С. 8–10.
4. Новиков А.Е., Новиков А.А. Научное обеспечение орошаемого земледелия аридных территорий. ВНИИОЗу-55 лет // Орошаемое земледелие. 2022. № 3(38). С. 8–10.
5. Турапин С.С., Савушкин С.С., Каштанов В.В. Эксплуатация гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса Минсельхоза России // Экология и строительство. 2018. № 2. С. 19–26.
6. Деградация земель и опустынивание в России: новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей ее решения / Г.С. Куст, Т.М. Кудерина, О.В. Андреева [и др.]. М.: Изд-во «Перо», 2019. 235 с.
7. Куликова Е.В., Нигреева В.А. Влияние гидротехнических сооружений на состояние водных ресурсов Белгородской области // Модели и технологии природообустройства. 2020. № 1. С. 18–23.
8. Кружилин И.П. Мелиорация земель – необходимое условие высокого уровня развития сельскохозяйственного производства // Вестник РАСХН. 2013. № 1. С. 16–19.
9. Кружилин И.П., Новиков А.Е., Дубенок Н.Н. Обоснование водного режима почвы и регламента поливов аэробного риса // Вестник РСН. 2021. № 1. С. 62–66.
10. Абдразаков Ф.К., Чуркина К.И. Состояние оросительных каналов Саратовского Заволжья и пути повышения их эффективности // Аграрный научный журнал. 2020. № 4. С. 68–70.

11. Способ реконструкции деформационных швов противифльтрационных бетонных и железобетонных облицовок гидротехнических сооружений / С.Я. Семененко, Д.П. Арьков, С.С. Марченко [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 1. С. 31–35.

12. Виды и структура ремонтных работ гидромелиоративных систем Республики Беларусь / Н.Н. Дубенок, Д.С. Дубяго, М.В. Климакина [и др.] // Орошаемое земледелие. 2022. № 4 (39). С. 13–16.

13. Патент на изобретение № 2769233 Российская Федерация, МПК С04В 41/48. Способ приклеивания пленки полиэтиленовой к поверхности свежеложенного бетона / Д.С. Дубяго, Ю.А. Мажайский, М.И. Голубенко [и др.]. Публ. 29.03.2022.

14. Дубяго Д.С., Новиков А.Е., Мажайский Ю.А. Повышение качества проводимых бетонных работ при ремонте и восстановлении гидротехнических сооружений на мелиоративных системах // Известия НВ АУК. 2022. № 4(68). С. 561–568.

15. Семененко С.Я., Марченко С.С., Арьков Д.П. Конструирование канальных плит с применением композитной арматуры // Известия НВ АУК. 2021. № 4(64). С. 378–390.

16. Семененко С.Я., Марченко С.С., Новиков А.Е. Сравнение расчетных характеристик и экспериментальных результатов испытаний бетонных балок с композитной арматурой на прогиб // Известия НВ АУК. 2022. № 4(68). С. 434–440.

17. Государственная программа «Аграрный бизнес 2021–2025 годы». Введ. 11.02.2021. Минск: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 2021. 115 с.

18. Судаков В.Б., Василевский А.Г. О ремонте бетонных и железобетонных конструкций в зоне переменного горизонта воды // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2015. Т. 262. С. 55–60.

19. Охапкин Г.В. Выбор способов ремонта бетона в зоне переменного уровня // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2018. Т. 288. С. 75–78.

20. Причины разрушения и концепции ремонта бетонных и железобетонных строительных конструкций гидротехнических сооружений / В.М. Давиденко, Г.Ф. Паромова, Г.В. Охапкин [и др.] // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2017. Т. 286. С. 3–9.

REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation of December 1, 2016 No. 642 «On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation».
2. Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20 «On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation».
3. Novikov A.E., Komarova O.P. Problems and directions of research in irrigated agriculture // Melioration and Water Management. 2021. No. 5. P. 8–10.
4. Novikov A.E., Novikov A.A. Scientific support of irrigated agriculture in arid territories. VNIIOZ-55 years // Irrigated agriculture. 2022. No. 3(38). – P. 8–10.
5. Turapin S.S., Savushkin S.S., Kashtanov V.V. Operation of hydraulic structures of the reclamation complex of the Ministry of Agriculture of Russia // Ecologiya i Stroitelstvo. 2018. No. 2. P. 19–26.
6. Land degradation and desertification in Russia: the latest approaches to the analysis of the problem and the search for ways to solve it / G.S. Kust, T.M. Kuderina, O.V. Andreeva et al. M.: Publishing house «Pero», 2019. 235 p.
7. Kulikova E.V., Nigreeva V.A. Influence of hydraulic structures on the state of water resources of the Belgorod region // Models and technologies of environmental management. 2020. No. 1. P. 18–23.
8. Kruzhihin I.P. Land reclamation is a necessary condition for a high level of development of agricultural production // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2013. No. 1. P. 16–19.
9. Kruzhihin I.P., Novikov A.E., Dubenok N.N. Substantiation of the water regime of the soil and the regulations for irrigation of aerobic rice // Vestnik of Russian Agricultural Science. 2021. No. 1. P. 62–66.

10. Abdrazakov F.K., Churkina K.I. The state of irrigation canals of the Saratov Volga region and ways to improve their efficiency // Agrarian scientific journal. 2020. No. 4. P. 68–70.

11. Method of reconstruction of deformation seams of anti-filtration concrete and reinforced concrete linings of hydraulic structures / S.Ya. Semenenko, D.P. Arkov, S.S. Marchenko et al. // Melioration and Water Management. 2017. No. 1. P. 31–35.

12. Types and structure of repair works of irrigation and drainage systems of the Republic of Belarus / N.N. Dubenok, D.S. Dubyago, M.V. Klimakhina et al. // Irrigated agriculture. 2022. No. 4(39). P. 13–16.

13. Patent No. 2769233 Russian Federation, IPC C04B 41/48. Method of gluing polyethylene film to the surface of freshly laid concrete / D.S. Dubyago, Yu.A. Mozhaisky, M.I. Golubenko et al. Publ. 03/29/2022.

14. Dubyago D.S., Novikov A.E., Mazhaisky Y.A. Improving the quality of concrete works during repair and restoration of the structures of hydrotechnical structures on reclaim systems // Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2022. No. 4(68). P. 561–568

15. Semenenko S.Ya., Marchenko S.S., Arkov D.P. Designing channel plates using composite reinforcement // Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2021. No. 4(64). P. 378–390.

16. Semenenko S.Ya., Marchenko S.S., Novikov A.E. Comparison of design characteristics and experimental results of deflection testing of concrete beams with composite reinforcement // Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2022. No. 4(68). P. 434–440.

17. State program «Agricultural business 2021–2025». Introduction 02/11/2021. Minsk: National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, 2021. 115 p.

18. Sudakov V.B., Vasilevsky A.G. On the repair of concrete and reinforced concrete structures in the zone of variable water horizon // Bulletin VNIIG im. B.E. Vedeneeva. 2015. Vol. 262. P. 55–60.

19. Okhapkin G.V. The choice of methods for repairing concrete in the zone of variable level // Bulletin VNIIG im. B.E. Vedeneeva. 2018. Vol. 288. P. 75–78.

20. Causes of destruction and the concept of repair of concrete and reinforced concrete building structures of hydraulic structures / V.M. Davidenko, G.F. Paromova, G.V. Okhapkin et al. // Bulletin VNIIG im. B.E. Vedeneeva. 2017. Vol. 286. P. 3–9.

Дубяго Дмитрий Святославович, аспирант, dubyago.dm@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0163-2619; **Григоров Сергей Михайлович**, доктор техн. наук, профессор, кафедра «Мелиорация земель и комплексное использование водных ресурсов», gsm.dtn@mail.ru (ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»); **Новиков Андрей Евгеньевич**, доктор техн. наук, член-корр. РАН, директор, ae_novikov@vniioz.ru, ORCID: 0000-0002-8051-4786 (ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», г. Волгоград), зав. кафедрой «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» (ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»).

ПАМЯТИ ЮРИЯ ПЕТРОВИЧА КОДЗОКОВА



С прискорбием сообщаем, что 17 апреля 2023 г., на 68-м году жизни после продолжительной болезни ушел из жизни Кодзиков Юрий Петрович, который возглавлял коллектив ФГБУ «УЭММК» с 2011 г. и по состоянию здоровья завершил трудовую деятельность в 2021 г.

Юрий Петрович родился в 1955 г. В 1977 г. окончил Кабардино-Балкарский государственный университет, получив квалификацию инженер-механик сельского хозяйства. До назначения директором Кабардино-Балкарского филиала ФГБУ «Управление «Спецмелиоводхоз» в 2003 г., занимал различные должности в организациях республики. Затем принял предложение возглавить ФГБУ «УЭММК» (после реорганизации в 2022 г. Терский филиал ФГБУ «УЭММККаббалкмелиоводхоз»). Руководил деятельностью учреждения эффективно, проявляя исключительные организаторские способности, также занимался

активной общественной деятельностью, являясь Депутатом Парламента Кабардино-Балкарской Республики 5-го созыва, заместителем председателя районного политсовета партии «Единая Россия». Под его чутким руководством благоустроена производственная база Мало-Кабардинского эксплуатационного канала, также прилегающая территория административного здания ФГБУ «УЭММК». Были проведены реконструкция головного водозаборного сооружения и быстротока № 3 магистрального канала Баксан-Малка (2014–2018 гг.) и реконструкция магистрального канала им. Ленина с ПК 110+00 по ПК 294+00 (2016–2019 гг.). За высокий профессионализм Юрий Петрович пользовался заслуженным авторитетом у своих коллег не только в республике, но и за ее пределами.

За добросовестный труд в отрасли Юрий Петрович награжден Почетной грамотой Министерства сельского хозяйства в 2009 г., в 2014 г. Почетной грамотой Кабардино-Балкарской Республики, в этом же году ему присвоено звание «Почетный работник агропромышленного комплекса России», в 2017 г. награжден серебряной медалью «За вклад в развитие агропромышленного комплекса России», в 2019 г. получил Благодарность от комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию, в 2020 г. награжден золотой медалью «За вклад в развитие агропромышленного комплекса России».

Коллектив Терского филиала ФГБУ «УЭММККаббалкмелиоводхоз» выражает глубокое соболезнование родным и близким. Добрая память о Юрии Петровиче Кодзикове сохранится в сердцах его родных, коллег и друзей.