

ISSN 2313-2248

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Научно-практический журнал

Выпуск № 4(72)/2018

Новочеркасск

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

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

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

Выпуск № 4(72)/2018

Октябрь – декабрь 2018 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – академик РАН, доктор технических наук, профессор В. Н. Щедрин

Заместитель главного редактора – доктор сельскохозяйственных наук А. Н. Бабичев

Ответственный секретарь – Л. И. Юрина

Редакторы: доктор технических наук А. В. Колганов; доктор технических наук, профессор Ю. М. Косиченко; доктор сельскохозяйственных наук, профессор Г. Т. Балакай; доктор технических наук Ю. Ф. Снопич; доктор экономических наук, доцент Л. Н. Медведева; кандидат технических наук А. А. Чураев; чл.-кор. РАН, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО НИМИ ДГАУ В. И. Ольгаренко; кандидат технических наук О. А. Баев; кандидат физико-математических наук М. В. Власов; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент В. Д. Гостищев; кандидат сельскохозяйственных наук Л. М. Докучаева; кандидат технических наук Ю. Е. Домашенко; кандидат технических наук С. Л. Жук; кандидат технических наук А. Л. Кожанов; кандидат технических наук А. А. Кузьмичёв; кандидат технических наук, доцент С. А. Манжина; кандидат сельскохозяйственных наук В. А. Монастырский; кандидат технических наук В. Иг. Ольгаренко; кандидат технических наук В. В. Слабунов; кандидат технических наук, доцент А. И. Тищенко; кандидат технических наук А. С. Штанько; кандидат сельскохозяйственных наук Р. Е. Юркова

Технический редактор, выпускающий – Е. А. Бабичева

Литературный редактор – А. И. Литовченко

Переводчик – В. В. Кульгавюк

Адрес редакции: 346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, Баклановский проспект, 190

Тел./факс: (8635) 26-86-24
<http://www.rosniipm.ru/ppeoz>
e-mail: transfer-rosniipm@yandex.ru

**Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство ПИ № ФС 77-61083 от 19 марта 2015 г.**

Подписано в печать 16.11.2018. Формат 60×84/8.

Усл. печ. л. 24,42. Тираж 500 экз. Заказ № 47

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

Отпечатано ИП Белоусов А. Ю.
346421, Ростовская область,
г. Новочеркасск, Баклановский проспект, 190 «Е»

ISSN 2313-2248



9 772313 224008

Дата выхода в свет 07.12.2018
Свободная цена

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Научно-практическая конференция «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения»

Гостищев В. Д., Сенчуков Г. А., Мартынов Д. В. Локальный мониторинг части акватории Цимлянского водохранилища	6
Злодеев Ю. Г., Ялалова Г. Х. Опытная эксплуатация цифровой технологии поддержки управления водораспределением на орошении.....	12
Капустян А. С. Состояние мелиоративной инфраструктуры на водных объектах.....	19
Кожанов А. Л. Моделирование процесса компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия.....	24
Щедрин В. Н., Горобей В. П., Ляшевский В. И. Повышение эффективности процесса флотационной очистки сточных вод.....	31
Штанько А. С., Шкура В. Н. О номенклатуре трубопроводов капельной оросительной сети.....	37
Сенчуков Г. А., Пономаренко Т. С., Бреева А. В., Кузьмичев А. А. Прогнозирование внутригодового распределения стока на реке Каче с использованием различных расчетных методов	42
Бабичев А. Н., Монастырский В. А., Ольгаренко В. Иг. Способ совершенствования элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур	48
Власов М. В., Балакай Г. Т. Текущая оценка и прогноз состояний защитных лесных насаждений в южных районах Ростовской области	53
Рулева О. В., Овечко Н. Н. Почвенно-мелиоративные особенности агролесомелиоративных районов Заволжья и пути повышения биопродуктивности сельскохозяйственных культур.....	58
Шевченко А. В. Факторы, определяющие условия ирригации, и оценка орошаемых территорий Северного Кавказа и Нижнего Поволжья	64
Мартынов Д. В., Рыжиков А. Н., Капустян А. С. Особенности внедрения геоинформационных технологий при ведении государственного водного реестра и осуществлении мониторинга водных объектов	68
Кореновский А. М., Филимонова В. М. Выбор оптимальной конструкции берегозащитного гидротехнического сооружения на реке Ягодной Рясе в Чаплыгинском районе Липецкой области	74
Балакай Г. Т. Водосберегающий режим орошения сои на юге России	80
Кузьмичев А. А., Пономаренко Т. С. Методологический подход к вопросу использования местного стока для вовлечения в сельскохозяйственный оборот дополнительных площадей орошения	84
Белоусов А. А. Схема классификации речных низконапорных плотинных водозаборных сооружений.....	90
Писаренко П. В., Малярчук Н. П., Исакова Г. М., Булыгин Д. А., Лужанский И. Ю. Оптимизация использования водных ресурсов при производстве зерна в короткоротационном орошаемом севообороте.....	94
Бородин В. С. Применение беспилотных летательных аппаратов для геодезических работ и мониторинга водных объектов.....	99

Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Состояние черноземов южных, орошаемых слабоминерализованной водой.....	102
Пономаренко Т. С., Рыжаков А. Н., Бреева А. В. Прогноз прохождения максимальных расходов в русле реки Качи (результаты компьютерного моделирования).....	107
Лихацевич А. П., Латушкина Г. В., Набздоров С. В. Оценка влияния урожая сельскохозяйственных культур на их водопотребление.....	114
Волкова Н. Е., Захаров Р. Ю. Об использовании сточных вод для целей орошения.....	123

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Дуброва Ю. Н., Савастеева Е. А., Кукреш А. С. Проблемы и перспективы использования мелиорированных земель южной части Республики Беларусь	129
Шкура В. Н., Штанько А. С. Методика расчета координат и построения очертания зон капельного увлажнения почвы	133
Васильев М. С., Домашенко Ю. Е. Использование сточных вод сахарных заводов в оросительных мелиорациях	140
Гаевая Э. А. Регулирование водного режима почв на склоне как способ предотвращения водной эрозии.....	145
Монастырский В. А., Бабичев А. Н., Ольгаренко В. И. Дистанционный мониторинг засоренности и болезней посевов сельскохозяйственных культур в условиях прецизионного земледелия	149
Грушко Д. В., Домашенко Ю. Е., Васильев С. М. Анализ влияния сельскохозяйственных культур на формирование водно-экологической ситуации в пределах орошаемого участка.....	155
Авдеев С. С., Тарасенко А. Е. Эффективность использования воды в технологии выращивания лекарственных растений на капельном орошении	159

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Барамыков М. Р. Исследование входной части горловины лотка критической глубины	166
Талипов Ш. Г., Гловацкий О. Я., Газарян А. С. Вопросы реконструкции насосно-турбинной части мелиоративно-водохозяйственного комплекса	170
Шомайрамов М. А., Гловацкий О. Я. Разработка устройств с гидравлическими средствами автоматизации при неустановившихся режимах работы насосных станций.....	175

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Слабунов В. В., Воеводин О. В. Анализ нормативно-правовой базы применения типовой проектной документации для автоматизированного проектирования мелиоративных систем и сооружений.....	180
Шепелев А. Е. Анализ потребности в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России.....	185

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

Манжина С. А. К вопросу формирования задач оптимизации распределения ресурсов внутри агромелиоративных парков.....	190
---	-----

Медведева Л. Н., Горобей В. П., Медведев А. В. Интерактивное образование, инновационное проектирование и коммерциализация идей на материально-технической базе территориальных мелиоративных парков..... 196

НАУКА – ПРАКТИКЕ

Тищенко А. И. Расчет прочности железобетонного крепления дна мелиоративных каналов..... 203

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Научно-практическая конференция «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения»

УДК 627.8.034

В. Д. Гостищев, Г. А. Сенчуков, Д. В. Мартынов

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ЛОКАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ЧАСТИ АКВАТОРИИ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Рассмотрена методология организации и осуществления локального мониторинга части акватории Цимлянского водохранилища в районе водозаборного сооружения оросительной системы, проводимого в целях реализации Постановления Правительства «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов», которое определяет последовательность действий по представлению водопользователями сведений, необходимых для ведения государственного мониторинга водных объектов. Изложены требования законодательства к осуществлению изыскательской деятельности, связанной с гидрометрическими измерениями. Описана специфика производства полевых работ и этапы камеральных работ. Проведены мероприятия по локальному мониторингу части акватории Цимлянского водохранилища в районе водозаборного сооружения оросительной системы. Полученные результаты первичного мониторинга указывают на существенную переработку берегов Цимлянского водохранилища на рассматриваемом участке.

Ключевые слова: государственный мониторинг, водоем, водохранилище, водозабор, акватория, береговая линия, переработка берегов, форма отчетности.

V. D. Gostishchev, G. A. Senchukov, D. V. Martynov

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

LOCAL MONITORING OF THE PART OF THE TSIMLYANSKIY RESERVOIR WATER AREA

The methodology of the organization and implementation of local monitoring of a part of the water area of the Tsimlyanskiy reservoir in the area of the irrigation intake structure of the irrigation system, carried out to implement the Government Decree “On Approval of the Regulation on the Implementation of State Monitoring of Water Bodies”, which determines the sequence of actions for the use of information by water users required for conducting state monitoring of water bodies. The requirements of the legislation for the implementation of survey activities related to hydrometric measurements are presented. The specifics of field work and the stages of cameral work are described. Measures on local monitoring of a part of the water area of the Tsimlyansk reservoir in the area of the intake structure of the irrigation system were carried out. The results of the initial monitoring indicate a significant processing of the shores of the Tsimlyanskiy reservoir on the site under consideration.

Key words: state monitoring, water body, reservoir, water-intake, water area, coastline, marginal erosion, accountability statement.

Введение. Основанием для производства работ по измерению морфометрических параметров водного объекта послужил договор с Волгодонским филиалом ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз». Водный объект расположен на левом берегу Цимлянского водохранилища, в 348 км от устья р. Дон, рядом с х. Овчинников Дубовского района Ростовской области.

Целью работ являлось получение данных о морфометрических параметрах части акватории Цимлянского водохранилища, приуроченной к месту расположения водозаборного оголовка насосной станции, находящейся на балансе у заказчика.

В соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов «Об утверждении форм и порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами» [1], собственникам и водопользователям необходимо представлять сведения о водных объектах, в т. ч. по форме 6.1 «Данные наблюдений за водными объектами (их морфометрическими особенностями)». Данный приказ содержит формы отчетности и разработан в соответствии с положением об осуществлении государственного мониторинга водных объектов [2].

Для заполнения формы 6.1 необходимо наличие следующих сведений: наименование водного объекта, код водного объекта, «0» графика, координаты створа, дата наблюдений, площадь акватории, объем, максимальная и средняя глубина.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- предварительный сбор картографических материалов с целью оценки расположения и характеристик объекта изысканий, а также местоположения пунктов государственной геодезической сети (ГГС);

- рекогносцировка объекта изысканий с целью уточнения характеристик объекта (плановое расположение точки водозабора, удаление точки водозабора от береговой линии, местоположение площадок для устройства опорных точек наблюдений, сохранность пунктов ГГС);

- устройство на местности опорных точек наблюдений в виде пунктов долговременного закрепления (репера, марки);

- проведение инженерно-изыскательских работ (проложение теодолитных и нивелирных ходов от пунктов ГГС до опорных точек наблюдений);

- определение в натуральных условиях границ участка изысканий (акватории, включенной в программу мониторинга с учетом границ: удаление от береговой линии на 100 м от точки водозабора и 500 м в обе стороны вдоль береговой линии);

- производство гидрометрических работ с измерением глубин (отметок дна) по характерным створам наблюдений;

- уравнивание теодолитно-нивелирных ходов с вычислением координат и высот характерных точек (в т. ч. реперов и (или) марок, граничных точек участка изысканий – акватории мониторинга) в Балтийской системе высот и местной системе координат;

- составление карты глубин (от «0» графика гидропоста р. Дон) на период проведения работ;

- определение характерных глубин в границах акватории (максимальной, средней);

- вычисление площади и объема в границах акватории, подлежащей мониторингу аналитическим (расчетным) способом.

Ввиду того, что организации, осуществляющие наблюдения за водными объектами, несут ответственность за сроки, полноту и достоверность сведений, необходимо соблюдать квалификационные требования к непосредственным исполнителям работ (наличие допуска к производству специализированных работ в части инженерных изысканий, гидрометеорологии, наличие необходимого специализированного оборудования и поверженных средств измерений).

Согласно Федеральному закону «Об обеспечении единства измерений» средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования

обеспечения единства измерений, подлежат в процессе эксплуатации периодической проверке [3]. Юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны своевременно предоставлять эти средства измерений на проверку в аккредитованные организации.

В связи с этим работа по измерению морфометрических параметров водного объекта проводилась специалистами ФГБНУ «РосНИИПМ» на основании лицензии на осуществление деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, а также допуска, выданного Саморегулируемой организацией, основанной на членстве лиц, выполняющих инженерные изыскания. ФГБНУ «РосНИИПМ» имеет необходимый для производства описанных выше работ поверенный комплект геодезических приборов, на который имеются действующие свидетельства о поверке.

Для камеральной обработки полевых данных были задействованы современные ПК и лицензионное программное обеспечение: GeoniCS 10 Изыскания, AutoCAD Civil 3D, GeoniCS Каналы и реки (Aquaterra).

Для составления отчета о проведении инженерно-изыскательских работ была подготовлена краткая характеристика района работ. Рассматриваемая площадь в геоморфологическом отношении приурочена к надпойменной террасе долины р. Дон. Климат района производства работ резко континентальный и засушливый. Рельеф территории, граничащей с частью акватории (подлежащей мониторингу), представляет собой равнинные участки со слабовыраженной балочной сетью. При этом участок береговой линии возвышается над уровнем воды в водохранилище, соответствующим нормальному подпорному уровню (НПУ = 36,0 м), в диапазоне 2,5–3,5 м. Уклон водосборной территории в северном направлении в сторону водохранилища составляет порядка 0,0065.

Материалы и методы. С целью обеспечения правомерности и обоснованности проведения работ по мониторингу части акватории водного объекта, а также соблюдения принципа единства измерений была использована нормативно-методическая база, представленная в списке литературных источников [4–8].

На первом этапе для проведения мониторинга водного объекта были установлены предварительные границы участка измерений, которые определялись исходя из планового местоположения водозаборного оголовка насосной станции, расположенного на расстоянии 0,4 км от береговой линии.

На втором этапе были определены границы участка акватории, в которых необходимо производить мониторинг водного объекта. В географической системе координат WGS-84 на цифровую картографическую основу (в геоинформационной системе – ГИС) была нанесена точка водозабора. В системе ГИС были подгружены космоснимки данной территории. От точки водозабора на расстоянии 100 м от береговой линии была установлена граничная точка А1. Далее в перпендикулярных направлениях на расстоянии 500 м (вдоль береговой линии) было определено местоположение граничных точек А2 и А3. Из этих точек в направлении, перпендикулярном отрезку А2 – А3 (т. е. в сторону береговой линии), были очерчены боковые границы акватории (рисунок 1).

Полученные границы акватории были импортированы в полевой планшетный компьютер для дальнейшего выноса границ в натурные условия и закрепления (увязки) их на местности знаками долговременного закрепления (реперами и марками).

На третьем этапе для подготовки к полевым работам была установлена связь, требуемая для предоставления отчетности по форме б.1, систем высот: уровень над «0» графика и общепринятая система высот для производства инженерно-геодезических изысканий (абсолютная – «Балтийская» БС). Основой для дальнейших пересчетов послужило приложение № 18 к «Правилам использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища» [9] «Перечень действующих гидрологических постов и состав их информационных элементов в зонах формирования притока воды к Цимлянскому водохранилищу».

Для установления планового местоположения границ акватории участка, подлежащего мониторингу, в системе координат, установленной для Ростовской области

(МСК-61), и высотного определения создаваемой сети наблюдений в БС была проведена работа для получения координат пунктов ГГС. Запросы (сначала на изученность, а затем, после предоставления информации об их ближайшем расположении, на сохранившиеся пункты) были официально направлены в отдел геодезии и картографии Управления Росреестра по Ростовской области.

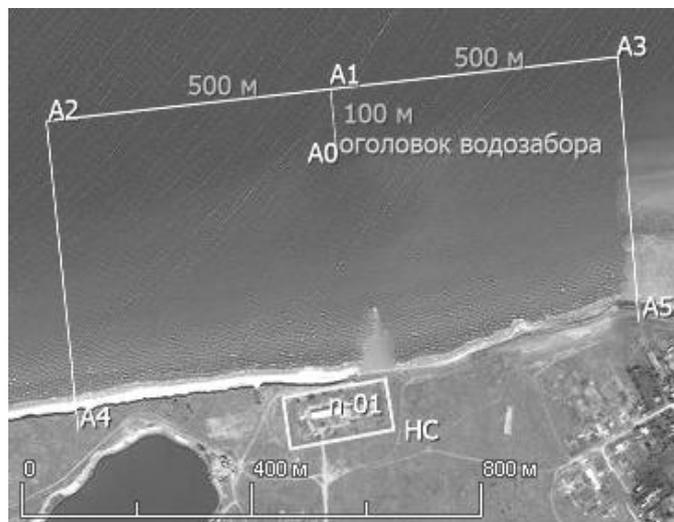


Рисунок 1 – Схема установления границ акватории для проведения мониторинга водного объекта

На четвертом этапе были выполнены полевые работы. В полевых условиях была создана опорная геодезическая сеть с целью обеспечения единства измерений. Такую сеть называют еще плано-высотным обоснованием (ПВО). На местности были закреплены точки, с которых в последующем предусматривалось производить измерения в непосредственной близости к участку мониторинга, а также промежуточные точки для проложения на местности теодолитных и высотных (нивелирных) ходов в привязке к пунктам ГГС.

Горизонтальные углы и расстояния измерялись с помощью электронного тахеометра Topcon GTS-105N и комплекта светоотражающих призм, а превышения – с помощью электронного нивелира Sokkia SDL-30 и рейки нивелирной со штрихкодом. В качестве основы для развития ПВО послужили три пункта ГГС.

Развитие ПВО выполнено методом оптических измерений на местности, а также путем контрольных измерений с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (Global Navigation Satellite System – GNSS) посредством поверенного оборудования Leica GS08plus. В районе участка мониторинга были закоординированы шесть пунктов долговременного закрепления, координаты и высоты которых определены в ходе уравнивания сети ПВО.

Камеральная обработка полевых геодезических измерений производилась с использованием лицензированного программного обеспечения GeoniCS 10 Изыскания. Невязки измеренных углов, приращений координат и превышений находились в границах допустимых значений и были увязаны математически. В результате были вычислены координаты и отметки реперов и марок, предназначенных для производства всех последующих этапов мониторинга водного объекта.

Производство топографической съемки осуществлялось с целью координирования границ береговой линии, ограничивающей акваторию участка, в которых необходимо будет в последующем производить мониторинг водного объекта. Топографическая съемка выполнена методом тахеометрической съемки. В процессе рекогносцировки было выявлено, что береговая линия (граница акватории участка мониторинга) представляет собой обрывистый берег с вертикальным уступом высотой 2,5–3,5 м,

сформированный в результате процесса переработки берега под воздействием Цимлянского водохранилища.

В результате камеральных работ по топографической съемке береговой линии были вычислены координаты и отметки характерных точек береговой линии, а также объекты ситуации (дороги, трубы, столбы ЛЭП и т. д.).

Для определения максимальной и средней глубины на участке мониторинга водного объекта были произведены замеры глубин. Методика этих работ заключалась в следующем. В полевой планшетный компьютер-навигатор была внесена растровая подложка, содержащая информацию о местоположении объекта, его границах, а также были нанесены промерные створы с шагом 100 м перпендикулярно береговой линии.

Далее, ориентируясь по навигатору, с помощью плавсредства производили промеры глубин по заданным сворам. В качестве мерного инструмента для измерения глубин использовалась нивелирная рейка и рулетка с закрепленным грузом массой более 3 кг. Съемка уреза воды (на момент производства измерений) выполнялась нивелированием от закоординированных ранее реперов с применением успокоительного колодца. Плановое местоположение точек измерения глубин определялось с помощью электронного тахеометра, а также дублировалось геодезической спутниковой аппаратурой Leica GS08plus.

Результаты и обсуждение. После камеральной обработки всех вышеперечисленных измерений были выполнены графические построения плана участка мониторинга. На план участка мониторинга (в цифровом виде) были нанесены уточненные границы акватории водного объекта, подлежащего мониторингу, номера граничных точек, а также расположение промерных створов.

Далее в границах водного объекта, подлежащего мониторингу, была выбрана максимальная глубина (h_{\max}), которая составила 6,11 м.

Для определения средней глубины (в границах акватории мониторинга) $h_{\text{ср}}$, м, использовалась расчетная формула:

$$h_{\text{ср}} = \frac{V}{S} = \frac{14965441}{4865136} = 3,08 \text{ м,}$$

где V – объем, м³;

S – площадь, м².

Вычисление площади аналитическим (расчетным) способом (в границах акватории, подлежащей мониторингу) выполнялось с помощью электронных средств программного обеспечения AutoCAD Civil 3D. За расчетный контур фигуры приняты границы акватории и граница, проходящая непосредственно по урезу воды на дату измерений. Площадь акватории (подлежащей мониторингу) составила 0,49 км².

Вычисление объема водного объекта (в границах акватории, подлежащей мониторингу) производилось аналитическим (расчетным) способом. Для расчета применялся следующий алгоритм. В соответствии с линиями изобат (линий равных глубин), построенных аппаратными средствами цифровой карты в среде AutoCAD Civil 3D, были определены соответствующие им теоретические площади с шагом интерполяции в 0,5 м. Объем каждой элементарной фигуры (ограниченной двумя плоскостями, проходящими через линии соседних изобат) вычислялся как результат умножения полусуммы площадей (т. е. средней площади) на высоту фигуры (т. е. расстояние между ними, равное 0,5 м). В результате суммирования промежуточных площадей был определен объем акватории (подлежащей мониторингу), который составил 1496,5 тыс. м³.

Для графического отображения результатов расчетов были построены батиграфические зависимости, соответствующие уровню воды над «0» графика на момент производства измерений (рисунок 2).

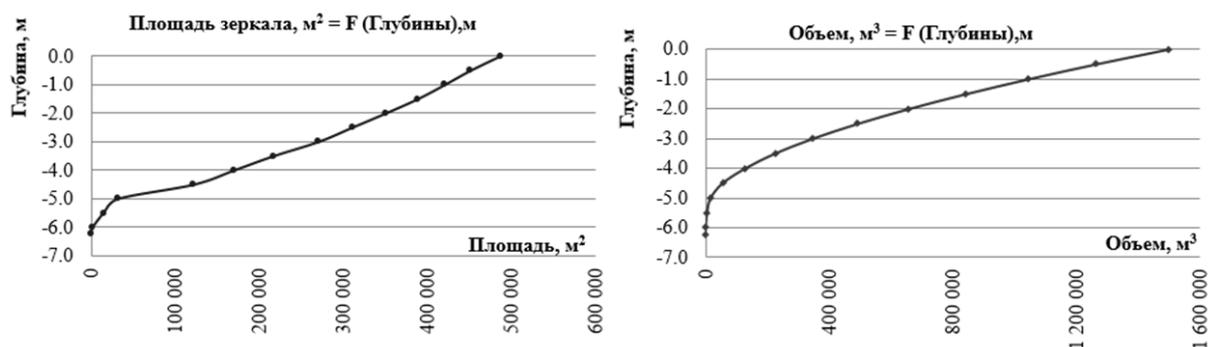


Рисунок 2 – Батиграфические зависимости

Выводы. Для осуществления локального мониторинга водных объектов, предписанного водопользователям и собственникам водных объектов, необходимо руководствоваться действующими нормативно-техническими и правовыми документами.

Организация локального мониторинга водных объектов, а именно водоемов, состоит из двух ответственных этапов производства работ. На первом (ключевом этапе) устанавливаются и закрепляются на местности границы части акватории, на которой необходимо проводить мониторинг. На втором этапе производятся регулярные (ежеквартальные) наблюдения и замеры в соответствии с позициями формы 6.1, утвержденной Министерством природных ресурсов.

В ходе осуществления камеральных работ в системе ГИС нами были дополнительно проанализированы материалы топографических съемок и лоцманских карт данной территории. Результаты наложения картографических материалов прошлых лет на современную основу позволили оценить глобальные масштабы переработки береговой линии. Так, за период порядка 20 лет переработке подверглась береговая полоса шириной около 150 м. Глубины при этом уменьшились местами до 8 м. Эти данные могут свидетельствовать о значительном изменении параметров ложа Цимлянского водохранилища в целом.

Упорядоченный сбор и анализ данных локального мониторинга водных объектов в единой системе ГИС на уровне Министерства природных ресурсов позволит своевременно выявлять процессы негативного воздействия вод и своевременно разрабатывать систему мероприятий по недопущению и ликвидации таких проявлений. В конечном счете это и есть конечная цель мониторинга водных объектов, при котором будут учтены интересы как самих водопользователей, так и населения, проживающего на прилегающей территории, в целом.

Список использованных источников

1 Об утверждении форм и порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами, заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, собственниками водных объектов и водопользователями: Приказ МПР от 6 февраля 2008 г. № 30 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

2 Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов: Постановление Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. № 219 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

3 Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ: по состоянию на 13 июля 2015 г. // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

4 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 7. Ч. 1. Гидрометеорологические наблюдения на озерах и водохранилищах. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 476 с.

5 Инженерно-геодезические изыскания для строительства: СП 11-104-97: утв. Госстроем России 14.10.97: введ. в действие с 01.01.98 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

6 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500: ГКИНП-02-033-83: утв. Гл. упр. геодезии и картографии при Совете Министров СССР 05.10.79: введ. в действие с 01.01.83 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

7 Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов: ГКИНП (ГНТА)-03-010-02: утв. Федер. службой геодезии и картографии Рос. Федерации 25.12.03: введ. в действие с 01.02.04 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

8 Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS: ГКИНП 02-262-02: утв. Федер. службой геодезии и картографии Рос. Федерации 18.01.02: введ. в действие с 01.03.02 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

9 Об утверждении Правил использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища: Приказ Росводресурсов от 2 июня 2016 г. № 114 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

УДК 631.6

Ю. Г. Злодеев, Г. Х. Ялалова

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

ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НА ОРОШЕНИИ

Цель исследований – рост действенности принимаемых решений по водопользованию и совершенствование условий труда диспетчерской службы путем автоматизации расчетов и применения процедур и операций, соответствующих современным возрастающим требованиям регулирования водораспределения на орошении. Выполнена опытная апробация цифровой технологии помощи диспетчерским воздействиям на межсистемное водопользование на сооружениях, подкомандных ФГБУ «Управление эксплуатации Кумских гидроузлов и Чограйского водохранилища» (ФГБУ «УЭКГ и ЧВ»). Определены показатели эксплуатационной надежности технологии для процессов стратегического, тактического и оперативного прогнозирования и регулирования использования воды для полива агроценозов. Показатели эффективности опытного применения цифровой технологии определяются увеличением коэффициента использования воды на 0,2, ростом степени автоматизации труда на 20 %, повышением производительности последнего на 30 %.

Ключевые слова: цифровая технология, опытная эксплуатация, водораспределение, диспетчерская служба, управление, поддержка решения, орошение.

Yu. G. Zlodeev, G. Kh. Yalalova

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

EXPERIMENTAL OPERATION OF DIGITAL TECHNOLOGY FOR WATER DISTRIBUTION CONTROL SUPPORT AT IRRIGATION

The purpose of the research is to increase the effectiveness of decisions taken on water use and improve the working conditions of the dispatching service by automating calculations

and applying procedures and operations that meet the current increasing requirements for water distribution in irrigation. The experimental testing of digital technology for assisting dispatching impacts on intersystem water use at constructions subordinated to the FGBU "Operation Management of the Kumskiy Hydraulic Work and the Chograi Reservoir" (FGBU "UECG and FV") was done. The indicators of operational reliability of technology for the processes of strategic, tactical and operational forecasting and regulation of water use for irrigation of agrocenoses are determined. The indicators of the effectiveness of experimental application of digital technology are determined by the increase of water use factor by 0.2, an increase in the degree of labor automation by 20 %, an increase in the productivity of the latter by 30 %.

Key words: digital technology, experimental operation, water distribution, dispatching service, management, decision support, irrigation.

Введение. К важнейшим факторам эффективного использования воды на объектах орошения относится межсистемное, межхозяйственное и внутривладельческое водопользование, характеризующее водораспределение и потребление воды во всех звеньях оросительной системы, которые должны быть согласованы между собой [1–4]. Координация и взаимная увязка отдельных составляющих межхозяйственного водопользования обеспечивается единой централизованной диспетчерской системой регулирования водоподдачи на основе учета большого числа взаимосвязанных факторов и быстро сменяющихся требований к объекту управления, поступающих лицу, принимающему решение (ЛПР).

Новые подходы к регулированию водопользования в изменившихся реалиях хозяйствования и становления частной собственности на землю базируются на создании цифровых технологий с возможностями формирования этапов планирования водопользования и реализации оперативного регулирования водоподдачи; контроля; информационной и технологической помощи в принятии решений о воздействующих мероприятиях; анализа водопользования и т. п. [5–12].

Методы исследования. Цифровая технология межсистемного водопользования (свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2016616695) разработана и апробирована специалистами ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» в составе работ по плану НИР, утвержденному Федеральным агентством научных исследований на 2011–2017 гг. [6].

Методология созданных моделей прогнозирования и регулирования водораспределения на межхозяйственных оросительных системах в режиме реального времени основана на информационно-аналитических исследованиях концепции системного подхода, обуславливающей учет синергизма и возможность находить, оценивать и сравнивать часто совсем не однозначные по своей действенности варианты управленческих решений. Приоритетное требование к моделям – формирование минимума методологических отклонений и недопустимого искажения информации при ее анализе, агрегировании и иной обработке.

Опытное функционирование технологии выполнялось ООО «Севкавгипроводхоз» по материалам водопользования объектов, подведомственных Управлению эксплуатации Кумских гидроузлов и Чограйского водохранилища (ФГБУ «УЭКГ и ЧВ»). Структуру объектов ФГБУ «УЭКГ и ЧВ», дислоцирующегося в Ставропольском крае Северо-Кавказского региона, составляют Северокумский, Артезианский, Чограйский и Отказненский водохозяйственные участки, которые забирают воду из р. Кумы, Терско-Кумского и Кумо-Маньчского каналов, Кумского коллектора и осуществляют ее подачу для полива сельскохозяйственных земель, занимающих площадь 65,326 тыс. га.

Результаты и обсуждение. Прогнозирование системного водопользования, реализованное в составе апробируемой компьютерной технологии, включает две основные задачи, определяющие потребность водопользователей в водных ресурсах и корректив-

ровку запрашиваемых объемов воды в соответствии с распределением сезонного (на вегетацию и межвегетационный период) лимита. Функциональная структура компьютерной модели формирования планов водопользования представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Функциональная структура компьютерной модели формирования планов водопользования

Компьютерная модель разработки планов водопользования оросительной системы обеспечивает выполнение следующих процедур:

- формирование гибких баз данных о потребителях воды;
- автоматизацию процесса поступления заявок на потенциальное водопотребление;
- выполнение балансовых расчетов по водораспределению;
- наполнение и регулирование базы данных о потенциальном водозаборе и водоподаче;
- подготовку отчетов о водопользовании на оросительной системе, дифференцированных по дням отчетного периода, водопотребителям и водоемким объектам.

Задача моделирования процедур регулирования оперативного водораспределения определяется формированием системы координации и контроля за работой межхозяйственных каналов для создания условий, гарантирующих выполнение плана водопользования (рисунок 2).

Модель регулирования водораспределения позволяет выполнять оперативный анализ соответствия имеющихся объемов воды требующимся, определение численных значений ограничений и реализацию их согласно критериям оценки действенности управления.

Ключевым вопросом апробации технологии водопользования в ФГБУ «УЭКГ и ЧВ» стало моделирование схемы водовыделов, базирующейся на местоположении фактических ГТС – водовыделов ФГБУ «УЭКГ и ЧВ» в плане (рисунок 3).

Моделирование схемы водовыделов организовано в автоматизированном режиме при помощи интерфейса СУБД Access на этапе настройки базовой комплектации технологии водопользования на параметры конкретного мелиоративного водохозяйственного комплекса с помощью специально разработанных таблиц, для формирования которых используется форма «узлов» – водовыделов (рисунок 4).

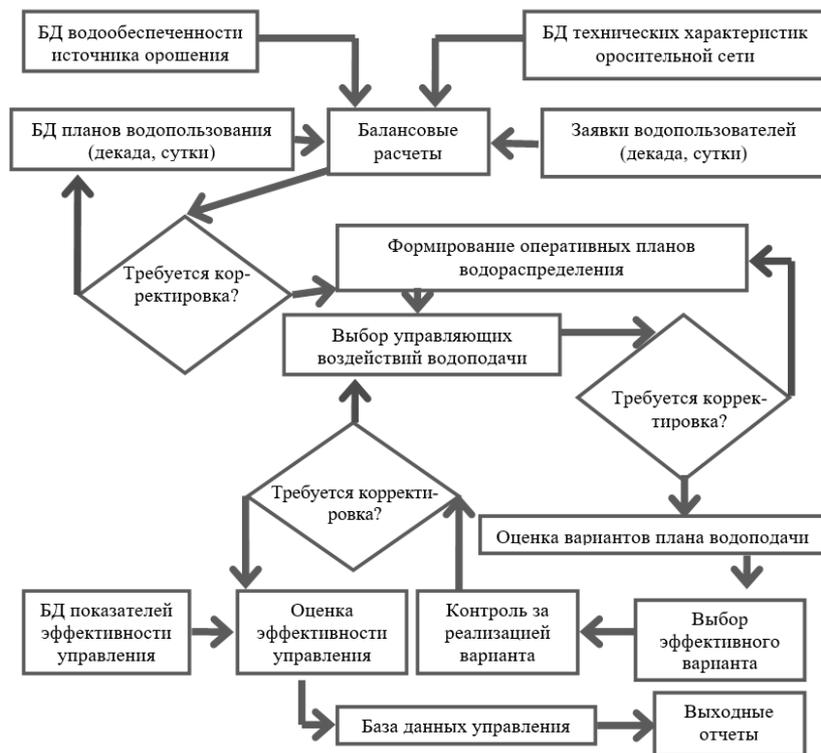


Рисунок 2 – Функциональная структура компьютерной модели управления водораспределением

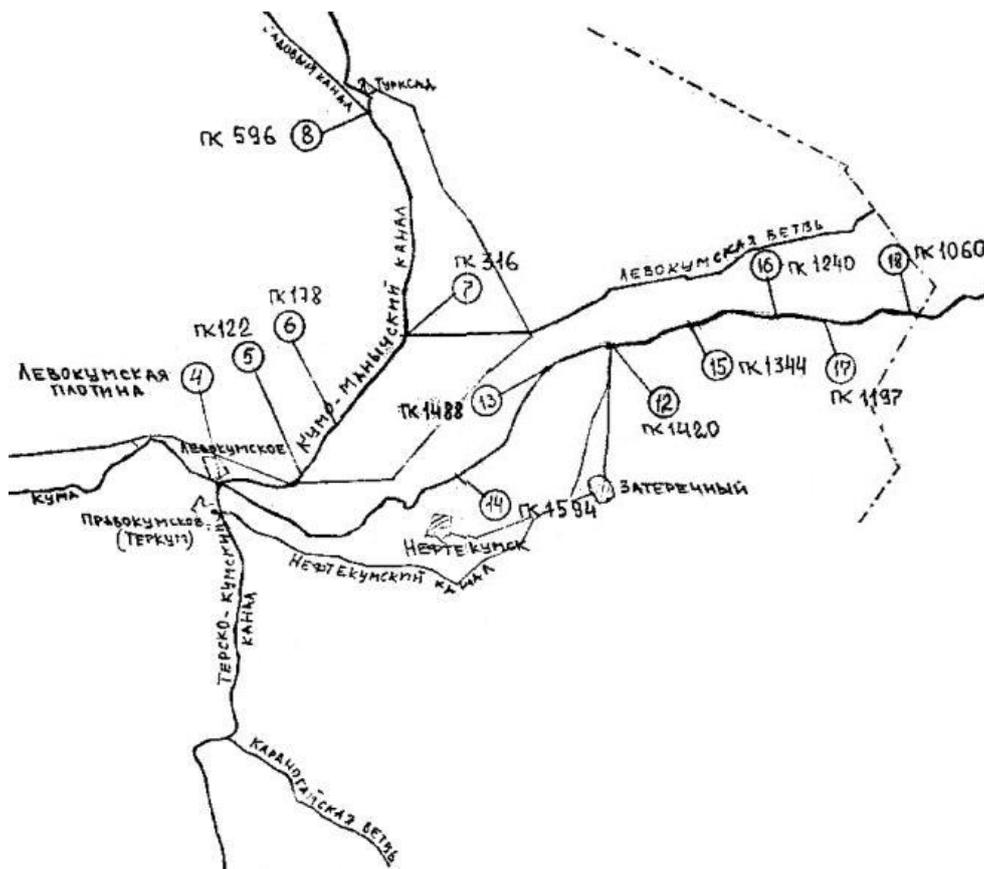


Рисунок 3 – Фрагмент ситуационной схемы расположения объектов ФГБУ «УЭКГ и ЧВ»

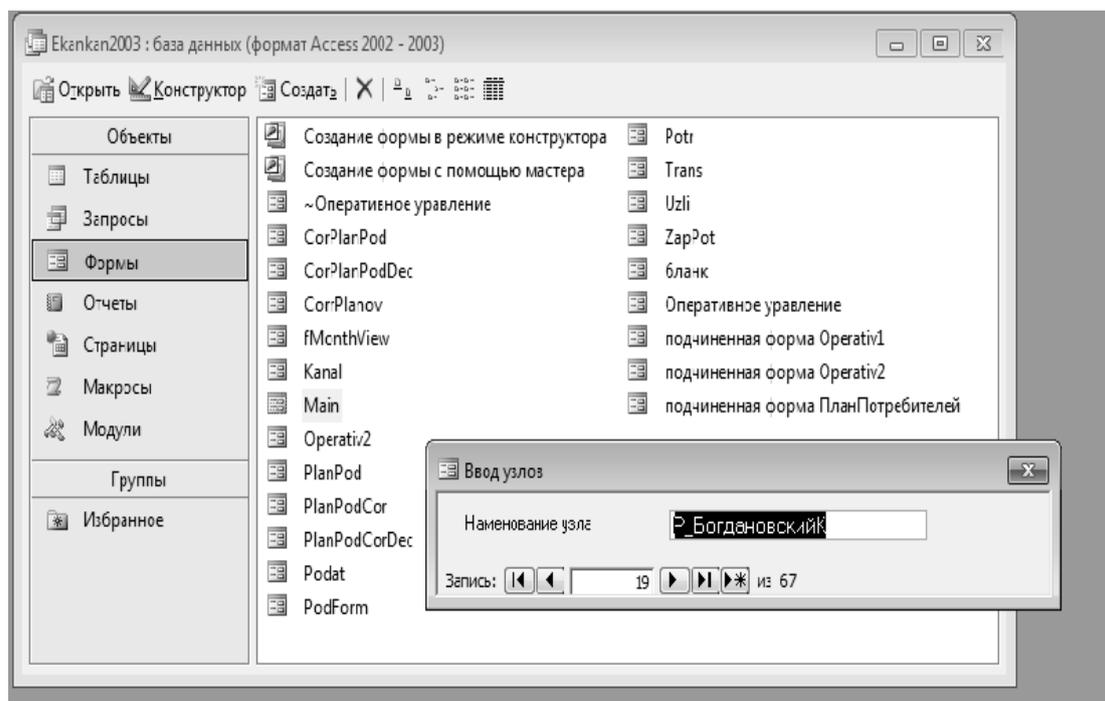


Рисунок 4 – Форма для ввода «узлов» – водовыделов

Алгоритм моделирования схемы водовыделов включает:

- формирование матрицы «узлов» (водовыделов);
- разработку таблицы каналов на основе матрицы «узлов» (точек выдела воды) и информации о канале, требующейся для планирования подачи воды (времени добега- ния воды от водозабора в канал до водовыдела потребителю и КПД).

База данных комплексной цифровой технологии водопользования включает ма- териалы о водовыделах и сооружениях, намечаемом водозаборе и водоподаче сооруже- ний – водовыделов, а также экспресс-информацию, поступающую в диспетчерскую службу от подведомственных участков.

Источником управленческой информации служат:

- данные о фактическом поступлении воды к гидроузлу;
- прогнозируемый приток воды к гидроузлу;
- сведения о разборе воды;
- объемы подачи воды в точки выдела потребителю;
- проектные документы и паспорта ГТС.

Цифровая технология поддерживает процедуры:

- хранения, поиска и просмотра вышеуказанной информации;
- трансформации данных, установления балансов водопользования по ФГБУ «УЭКГ и ЧВ»;
- расчета забора и подачи воды по объектам ФГБУ «УЭКГ и ЧВ»;
- создания архивов данных временного анализа и работы с ними;
- выдачи отчетов по требованию пользователя.

В качестве примера интерфейса технологии на рисунке 5 показана форма для ввода исходных данных о притоке по Левокумскому гидроузлу. Пример выходного документа приводится на рисунке 6.

В составе работы по адаптации базового варианта цифровой технологии регули- рования водопользования на орошении к реальным условиям распределения воды на гидроузлах-водовыделах, покомандных ФГБУ «УЭКГ и ЧВ», проверялись следующие режимы функционирования технологии:

- прогнозирование водоподачи по узлам-водовыделам, водопользователям и по межсистемному гидроузлу в целом;
- формирование данных за установленный период времени об уровнях воды в подкомандных водотоках и водоемах, расходах и объемах подачи воды гидроузлами и т. д.;
- оценка рядов наблюдений за параметрами водопользования текущего периода и (или) анализ постсезонной ситуации.



Рисунок 5 – Форма для ввода исходных данных о притоке к Легокумскому гидроузлу

Ведомость учета разбора воды																		
Год		месяц Ноябрь																
Декада	Дата	Часик	Р-2-X		4-X-1		4-X-1a		4-X-2		4-X-3		4-X-4		2-5a-1		ЛКВ	
			н	q	н	q	н	q	н	q	н	q	н	q	н	q	н	q
Декада 3																		
	11.11.03	0	0,00	0,10	0,00	0,30	0,00	0,20	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
	25.11.03	8	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,20	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
	25.11.03	14	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,20	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
	25.11.03	20	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,20	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
	27.11.03	2	0,00	0,10	0,00	0,30	0,00	0,20	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
	30.11.03	2	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,20	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
	30.11.03	2	0,00	0,10	0,00	0,30	0,00	0,20	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00
Сумма					0,20	1,40		5,60		3,50		3,50		3,50		3,50		0,00
Средняя за декаду					0,04	0,30		0,20		0,50		0,50		0,50		0,50		0,00
Итого за месяц					0,20	1,40		5,60		3,50		3,50		3,50		3,50		0,00
Средняя за месяц					0,04	0,30		0,20		0,50		0,50		0,50		0,50		0,00

Рисунок 6 – Пример выходного документа о заборе воды в точках водовыдела Легокумского участка

По результатам опытно-производственной проверки функционирования комплексной цифровой технологии регулирования водораспределения:

- установлено соответствие внедряемой технологии требованиям действующей нормативно-правовой базы для водохозяйственных комплексов сферы мелиорации [12–16];

- выявлена возможность получения всех нормативно-директивных, оперативных и стратегических показателей водопользования [6, 15, 17–20], требующихся службе эксплуатации при работе с компьютерной технологией;

- определены действенность принятой технологической и функциональной структуры технологии, достаточность полноты и релевантности базы данных;

- рассчитаны количественные значения технико-экономических показателей апробируемой цифровой технологии;

- отработаны с пользователями операции моделирования водопользования на межсистемных гидроузлах.

Выполненная работа показала, что использование комплексной компьютерной модели регулирования водопользования в практике диспетчерской службы ФГБУ «УЭКГ и ЧВ» обеспечивает принимаемые управленческие воздействия достоверной и надежной информацией, это способствует росту эффективности водопользования на поливаемых сельскохозяйственных угодьях. Количественные параметры реальных технико-экономических показателей внедрения цифровой технологии водораспределения, адаптированной к эксплуатации межсистемных Кумских гидроузлов, составили:

- повышение коэффициента полезного использования воды на 0,2;

- увеличение автоматизации труда и производительности на 20 и 30 % соответственно.

Выводы. Внедрение и опытное апробирование технологии помощи диспетчерским решениям по водопользованию на межсистемном гидроузле ФГБУ «УЭКГ и ЧВ» подтвердили безусловную действенность и актуальность применения цифровых технологий в процедурах автоматизированного управления водопользованием.

Список использованных источников

1 Ольгаренко, И. В. Программное обеспечение процесса планирования водопользования на оросительных системах / И. В. Ольгаренко, И. В. Селюков // Природообустройство. – 2011. – № 4. – С. 38–40.

2 Меденников, В. И. Веб-интеграционные технологии развития информатизации сельского хозяйства / В. И. Меденников // Рыночные интеграции в агропродовольственном секторе: тенденции, проблемы, государственное регулирование: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., XV Никоновские чтения. – М., 2010. – № 15. – С. 25–28.

3 Бегимов, И. Автоматизация каналов Ферганской долины. Итоги работ по проекту [Электронный ресурс] / И. Бегимов. – Режим доступа: <http://sic.icwc-aral.uz>, 2018.

4 Гасликова, И. Р. Информационные технологии в России / И. Р. Гасликова, Л. М. Гохберг. – М.: ЦИСН, 2002. – 187 с.

5 Юрченко, И. Ф. Методологические основы создания информационной системы управления водопользованием на орошении / И. Ф. Юрченко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2017. – № 1. – С. 13–17.

6 Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России / под ред. Л. В. Кирейчевой. – М.: ВНИИ агрохимии, 2017. – 296 с.

7 Юрченко, И. Ф. Информационные системы управления водохозяйственным мелиоративным комплексом / И. Ф. Юрченко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 1. – С. 12–15.

8 Юрченко, И. Ф. Система поддержки принятия решений по водораспределению на базе веб-технологий / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2014. – № 2(14). – С. 87–97. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec260-field6.pdf.

9 Юрченко, И. Ф. Совершенствование оперативного управления водораспределением на межхозяйственных оросительных системах / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2014. – Вып. 53. – С. 166–170.

10 Юрченко, И. Ф. Методология создания информационной технологии опера-

тивного управления водораспределением на межхозяйственных оросительных системах / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Природообустройство. – 2013. – № 4. – С. 10–14.

11 Юрченко, И. Ф. Автоматизированное управление водораспределением на межхозяйственных оросительных системах / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 2. – С. 178–184.

12 Yurchenko, I. F. Automatization of water distribution control for irrigation / I. F. Yurchenko // International Journal of Advanced and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 4, iss. 2. – P. 72–77.

13 Юрченко, И. Ф. Водосберегающая технология планирования технической эксплуатации мелиоративных систем / И. Ф. Юрченко // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 5. – С. 76–88.

14 Юрченко, И. Ф. Эффективность организационно-правовых форм использования мелиорируемых земель / И. Ф. Юрченко, А. К. Носов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 6. – С. 10–12.

15 Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами / под ред. Л. В. Кирейчевой. – М.: ВНИИА, 2010. – 240 с.

16 Юрченко, И. Ф. Эксплуатационный мониторинг мелиоративных систем для поддержки управленческих решений / И. Ф. Юрченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 4. – С. 48–51.

17 Юрченко, И. Ф. Научные информационные технологии в мелиоративной деятельности / И. Ф. Юрченко // Управление экономическими системами: электронный научный журнал [Электронный ресурс]. – 2005. – № 3. – С. 9–13. – Режим доступа: <http://uecs.ru/uecs-03-32005/item/22-2011-03-19-07-05-15>.

18 Волосухин, В. А. Программно-технический комплекс для проведения мониторинга и определения остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 57–68.

19 Бандурин, М. А. Применение систем управления базами данных при эксплуатационном мониторинге водопроводящих сооружений / М. А. Бандурин // Современные научные технологии. – 2016. – № 12, ч. 1. – С. 24–28.

20 Пат. 2458204 Российская Федерация, МПК⁶ E 02 В 13/00. Устройство для проведения эксплуатационного мониторинга водопроводящих сооружений / Волосухин В. А., Бандурин М. А.; заявитель и патентообладатель Ин-т безопасности гидротехн. сооружений. – № 2010111995; заявл. 29.03.10; опубл. 10.08.12, Бюл. № 30. – 8 с.

УДК 631.6

А. С. Капустян

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СОСТОЯНИЕ МЕЛИОРАТИВНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Целью исследований являлось изучение состояния мелиоративной инфраструктуры на водных объектах. Успешное выполнение государственной программы развития сельского хозяйства на 2013–2020 гг. неразрывно связано с оценкой технического состояния объектов мелиоративного комплекса. В ходе реализации государственного мониторинга водных объектов и ведения государственного водного реестра были собраны сведения о мелиоративных сооружениях на водных объектах. На балансе у во-

дохозяйственных организаций департамента мелиорации Минсельхоза России, по данным за 2017 г., находится 1689 гидромелиоративных систем, 14327 гидротехнических сооружений, 3666 каналов пропускной способностью свыше $1 \text{ м}^3/\text{с}$ и 849 отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Износ мелиоративного фонда в группе от 51 до 100 % составляет 75–85 %.

Ключевые слова: мелиоративная инфраструктура, водные объекты, класс опасности, гидромелиоративные системы, гидротехнические сооружения, каналы, отдельно расположенные гидротехнические сооружения.

A. S. Kapustyan

Russian Scientific Research Institute of Land Reclamation Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

THE STATE OF RECLAMATION INFRASTRUCTURE ON WATER OBJECTS

The purpose of the research was to study the state of the reclamation infrastructure on water bodies. Successful implementation of the State Program for the development of agriculture for 2013–2020 is inextricably linked with the assessment of technical condition of the land reclamation complex facilities. In the course of implementation of the state monitoring of water bodies and the maintenance of the state water registry, information on land-reclamation structures on water bodies was collected. According to the data for 2017, the balance of water management organizations of the Department of Land Reclamation of the Ministry of Agriculture of Russia contains 1.689 hydro-reclamation systems, 14.327 hydraulic structures, 3.666 canals with a capacity of over $1 \text{ m}^3 \text{ per s}$ and 849 separately located hydraulic structures. Depreciation of the reclamation fund in the group from 51 to 100 % is 75–85 %.

Key words: reclamation infrastructure, water bodies, hazard class, hydro-reclamation systems, hydraulic structures, canals, separately located hydraulic structures.

Одно из направлений государственной программы развития сельского хозяйства на 2013–2020 гг. – развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения путем реконструкции и технического перевооружения 88 объектов мелиоративного комплекса государственной собственности [1].

Успешное выполнение мелиоративного направления программы неразрывно связано с оценкой технического состояния водохозяйственных систем и сооружений, включающих в себя мелиоративные системы, гидротехнические сооружения (ГТС) и каналы различного назначения [2].

В ходе реализации государственного мониторинга водных объектов (ГМВО) и ведения государственного водного реестра (ГВР) были собраны сведения о государственных гидромелиоративных системах (ГМС), каналах пропускной способностью свыше $1 \text{ м}^3/\text{с}$ и отдельно расположенных ГТС.

В соответствии с полученными данными в 2017 г. на балансе у федеральных бюджетных учреждений департамента мелиорации Минсельхоза России находилось 1689 ГМС, 5666 каналов пропускной способностью свыше $1 \text{ м}^3/\text{с}$ и 849 отдельно расположенных ГТС.

Государственные ГМС представлены 690 оросительными, 928 осушительными и 65 системами комплексного назначения. Распределение ГМС по типам приведено в таблице 1. Из данных видно, что наибольшее их количество относится к осушительным (928) и оросительным (690) системам.

ГМС включают в свой состав 15176 ГТС (включая отдельно расположенные ГТС), которые распределены по назначению следующим образом: сельское хозяйство – 11975, энергетика – 4, водоснабжение – 1605, защита от негативного воздействия вод – 1094, комплексное – 498.

Таблица 1 – Распределение гидромелиоративных (водохозяйственных) систем по типам

Тип ГМС	Количество ГМС
Оросительная	690
Осушительная	928
Комплексного назначения	65
Водохранилища	4
Прочие	2
Всего	1689

Все ГТС распределены по типам (таблица 2) в соответствии с утвержденной формой [3].

Таблица 2 – Типы ГТС

Тип ГТС	Количество ГТС
Плотины водохранилищ	318
Дамбы водозащитные	310
Перегораживающие сооружения	639
Шлюзы-регуляторы	649
Вододелители	27
Открытые водосбросы	231
Шахтные и трубчатые поверхностные водосбросы	7
Траншейные водосбросы	2
Сифонные водосбросы	4
Водоспуски, донные водовыпуски	2725
Поверхностные водозаборы	322
Глубинные водозаборы	582
Водоводы, пульпопроводы и золошлакопроводы	552
Акведуки	81
Туннели	19
Лотки	64
Каналы и дрены	6429
Дюкеры	176
Берегоукрепительные и дноукрепительные сооружения	66
Струенаправляющие и отклоняющие дамбы	6
Насосные станции	967
Рыбопропускные сооружения	8
Отстойники	12
Нет сведений	131
Всего	14327

Как видно из данных таблицы 2, основными типами ГТС являются: водоспуски, донные водовыпуски (2725), каналы и дрены (6429) и насосные станции (967).

В зависимости от уровня их опасности ГТС распределены по классам (таблица 3) в соответствии с классификацией ГТС [4].

Анализ данных таблицы 3 показывает, что основное количество ГТС (13203) относится к IV классу (ГТС низкой опасности). Из них на оросительных системах находится 7193, на осушительных системах – 5466, системах комплексного назначения – 544 сооружения.

Количество ГТС чрезвычайно высокой опасности равно шести, что составляет 0,04 % от общего числа сооружений.

Таблица 3 – Распределение ГТС по классам опасности

Класс ГТС	Количество ГТС		
	Оросительные системы	Осушительные системы	Системы комплексного назначения
I класс. ГТС чрезвычайно высокой опасности	6	0	0
II класс. ГТС высокой опасности	20	3	17
III класс. ГТС средней опасности	79	21	5
IV класс. ГТС низкой опасности	7193	5466	544
Не определялся	493	297	0
Нет данных	96	41	0
Проектной документацией не определен	3	43	0

Все ГТС распределены по уровню безопасности следующим образом [5]:

- нормальный уровень безопасности – 1639;
- пониженный уровень безопасности – 2034;
- неудовлетворительный уровень безопасности – 577;
- опасный уровень безопасности – 0;
- не подлежащий декларированию – 10022;
- нет декларации безопасности – 55.

Техническое состояние ГТС оценивалось по степени износа мелиоративных объектов. Все ГТС в зависимости от износа разделены на следующие группы: износ от 0 до 25 %, износ от 26 до 50 %, износ от 51 до 75 %, износ от 76 до 100 % (таблица 4).

Таблица 4 – Оценка технического состояния ГТС

Износ сооружения	Количество ГТС		
	Оросительные системы	Осушительные системы	Системы комплексного назначения (и другие)
0–25 %	255	464	5
26–50 %	860	953	82
51–75 %	2176	1664	167
76–100 %	4595	2790	312
Нет сведений	4	0	0
Всего	7890	5871	566
Итого	14327		

Как видно из представленных в таблице 4 данных, основная часть ГТС (11701) относится к категории с износом от 51 до 100 %.

На балансе у водохозяйственных организаций находится 3666 каналов пропускной способностью свыше 1 м³/с (таблица 5).

Таблица 5 – Распределение каналов по федеральным округам

Российской Федерации в зависимости от износа сооружений

Федеральный округ	Количество каналов в зависимости от износа сооружений					
	всего	0–25 %	26–50 %	51–75 %	76–100 %	нет сведений
1	2	3	4	5	6	7
Центральный ФО	221	42	25	118	36	0
Северо-Западный ФО	1478	95	234	443	706	0
Южный ФО	559	15	40	168	336	0
Северо-Кавказский ФО	714	9	17	79	607	2
Приволжский ФО	311	19	31	134	127	0

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Уральский ФО	39	2	4	10	23	0
Сибирский ФО	106	3	6	11	86	0
Дальневосточный ФО	238	37	49	84	68	0
Всего по России	3666	222	406	1047	1989	2

Распределение каналов по федеральным округам России показало, что наибольшее их количество находится в Северо-Западном (1478), Северо-Кавказском (714) и Южном (559) федеральных округах.

В целом по Российской Федерации основная часть каналов (3036) имеет износ от 51 до 100 %. Максимальный износ каналов отмечается в Северо-Кавказском федеральном округе (94 %).

Общее количество отдельно расположенных ГТС согласно сведениям ГВР составляет 849, из них 143 зарегистрированы в Российском регистре ГТС, а 706 не подлежат регистрации или на них она не проводилась. Основное назначение отдельно расположенных ГТС заключается в использовании их в сельском хозяйстве (78 %), защите от негативного воздействия вод (11,3 %) и водоснабжении (7,7 %).

В соответствии с критериями классификации ГТС по их опасности [1] все отдельно расположенные ГТС дифференцированы по четырем классам (таблица 6). Из данных таблицы 6 видно, что основная часть ГТС (705) относится к классу ГТС с низкой опасностью.

Таблица 6 – Класс опасности отдельно расположенных ГТС

Класс ГТС	Количество ГТС
I класс. ГТС чрезвычайно высокой опасности	0
II класс. ГТС высокой опасности	3
III класс. ГТС средней опасности	84
IV класс. ГТС низкой опасности	705
Не определялся	57
Всего	849

Анализ уровня безопасности отдельно расположенных ГТС (таблица 7), выполненный в соответствии с Приказом Ростехнадзора от 12.08.2015 № 312, показал, что основная часть ГТС не подлежит декларированию (607) или не имеет декларации безопасности (99).

Таблица 7 – Уровень безопасности отдельно расположенных ГТС

Уровень безопасности отдельно расположенных ГТС	Количество ГТС
Нормальный уровень	68
Пониженный уровень	72
Неудовлетворительный уровень	2
Опасный уровень	1
Не подлежит декларированию	607
Декларация безопасности сооружения отсутствует	99
Всего	849

Таким образом, выполненный анализ состояния мелиоративной инфраструктуры на водных объектах Российской Федерации показал следующее:

- в соответствии с данными ГВР в 2017 г. на балансе у водохозяйственных организаций департамента мелиорации Минсельхоза России находилось 1689 ГМС, 14327 ГТС, 3666 каналов пропускной способностью свыше 1 м³/с и 849 отдельно расположенных ГТС;

- основная часть мелиоративного фонда водохозяйственных организаций имеет

износ 51–100 %, в т. ч. на оросительных системах – 85,8 %, осушительных системах – 75,8 %, каналах пропускной способностью свыше 1 м³/с – 82,8 % от общего числа сооружений.

Список использованных источников

1 О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы: Постановление Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

2 Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

3 Об утверждении состава, формы представления сведений о гидротехническом сооружении, необходимых для формирования и ведения Российского регистра гидротехнических сооружений, и правил ее заполнения: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 апреля 2016 г. № 159 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

4 О классификации гидротехнических сооружений: Постановление Правительства Российской Федерации от 2 ноября 2013 г. № 986 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

5 Об утверждении Административного регламента Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по предоставлению государственной услуги по утверждению деклараций безопасности поднадзорных гидротехнических сооружений, находящихся в эксплуатации: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 августа 2015 г. № 312 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

УДК 626.86:626.82

А. Л. Кожанов

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМПОНОВКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

Цель исследования – разработка модели компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия. Объект исследования – процесс компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия. В процессе исследований на основе методологии IDEF0 в зависимости от природных условий, климата мелиорируемого массива, его гидрогеологии, почв, а также геоморфологических условий, наличия стока с мелиорируемого массива, структуры посевных площадей, наличия источника пресной воды и его расположения относительно мелиорируемого массива, применения машинного водоподъема с помощью насосных станций, способа подачи воды и иных разнообразных факторов разработана модель компоновки функциональных модулей конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия.

Ключевые слова: осушение, увлажнение, орошение, осушительно-увлажнительная система, осушительно-оросительная система, модель, функциональный модуль, конструктивное решение.

A. L. Kozhanov

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

MODELING OF THE PROCESS OF FUNCTIONAL MODULES ARRANGEMENT OF THE DOUBLE ACTION DRAINAGE SYSTEM

The purpose of the study is a model development of functional modules of double action drainage system arrangement. The object of research is the process of arrangement of functional modules of a double action drainage system. A model of arrangement of functional modules of the constructive solution of drainage system has been developed in the process of research based on the IDEF0 methodology depending on natural conditions, climate of the reclaimed massif, its hydrogeology, soils, as well as geomorphological conditions, availability of runoff from the reclaimed massif, structure of sown areas, availability of fresh water source and its location relative to the reclaimed site, application of pump irrigation with the help of pumping stations, water supply method and other various factors.

Key words: drainage, moistening, irrigation, drainage and wetting system, drainage and irrigation system, model, functional module, constructive solution.

Введение. В настоящее время все более актуальным становится вопрос о ресурсосбережении и повышении энергоэффективности в сельском хозяйстве, в т. ч. и в мелиоративном комплексе, снижении непроизводительных потерь воды на мелиоративных системах. Также большое значение приобретает вовлечение в сельхозоборот осушаемых массивов для выращивания кормов, овощей и другой сельскохозяйственной продукции в целях обеспечения продовольственной безопасности страны [1, 2]. Данные задачи решаются за счет применения осушительных систем двустороннего действия, обеспечивающих осушение корнеобитаемого слоя почвы во влажные и увлажнение в засушливые периоды накопленным дренажным стоком. Известные работы по компоновке подобных систем не в полной мере отражают данный процесс для различных условий, поэтому устранение данного дефицита путем разработки модели компоновки системы двустороннего действия является актуальным [3–5].

Материалы и методы. Источниками научного исследования являлись известные разработки по расчету элементов осушительной и оросительной частей системы двустороннего действия, водоприемников, водоисточников, поливной техники таких ученых, как П. Г. Арумов, А. К. Бирюкова, С. М. Васильев, П. А. Волковский, В. Ф. Карловский, А. В. Климентова, П. И. Коваленко, Б. С. Маслов, В. И. Ольгаренко, П. И. Пыленок, В. С. Станкевич, Е. Н. Тишова, В. Я. Черненко, Л. С. Шкабаров, В. Н. Щедрин и др. В ходе разработки модели компоновки конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия использовали методологию функционального моделирования IDEF0, которая применяется при формировании функциональных моделей, отражающих структуру и функции системы, а также потоки информации и материальные объекты, объединяющие данные функции.

Результаты и обсуждения. Компоновка функциональных модулей конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия зависит от природных условий, климата мелиорируемого массива, его гидрогеологии, почв, а также геоморфологических условий, наличия стока с мелиорируемого массива, структуры посевных площадей, наличия источника пресной воды и его расположения относительно мелиорируемого массива, применения машинного водоподъема с помощью насосных станций, способа подачи воды и иных разнообразных факторов.

Выбор блоков элементов осушительной системы двустороннего действия (осушительно-увлажнительной, осушительно-оросительной) и ее конструктивного решения представляет собой процесс, состоящий из шести этапов: выбор объекта мелиорирования; оценка объема и качества дренажного стока; определение наличия водных ресурсов; выбор способа осушения; установление способа увлажнения (орошения) и компоновка конструктивного решения системы. Данная модель неполноценно рассматривает процесс компоновки всех функциональных модулей системы, в связи с этим произведена

декомпозиция данной модели для блока «Компоновка конструктивного решения системы» в целях более полного описания выбора конструктивного решения (прототипа) и компоновки всех функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия. Осушительная система включает в себя следующие функциональные модули: регулирующую, проводящую и оградительную (ограждающую) сети осушительной части системы, водоприемник, оградительную, проводящую и регулирующую сети увлажнительной части системы, водоисточник и гидротехнические сооружения.

Модель компоновки представлена 12 блоками (рисунок 1):

- 1 Подбор структуры посевных площадей.
- 2 Компоновка элементов регулирующей осушительной сети.
- 3 Компоновка оградительной сети на осушительной части системы.
- 4 Компоновка элементов проводящей осушительной сети.
- 5 Компоновка водоприемника (водоприемника-водоисточника).
- 6 Компоновка водозаборного узла.
- 7 Компоновка проводящей распределительной сети.
- 8 Компоновка оградительной сети на увлажнительной части системы.
- 9 Компоновка регулирующей увлажнительной сети.
- 10 Компоновка поливной техники, устройств и агрегатов.
- 11 Узвязка осушительной и увлажнительной (оросительной) сети.
- 12 Технико-экономическое и энергетическое обоснование выбора конструктивного решения.

Входными данными для первого этапа являются наличие необходимых производственных ресурсов, уровень сельскохозяйственного производства и его специализация. Ограничительной информацией выступает биологическая продуктивность осушаемых земель при оптимальном водном режиме. Предписывающей информацией выступает гидрометеорологическая потребность в осушении и увлажнении (орошении) рассматриваемого массива мелиорирования, устанавливаемая по рассчитанному дефициту водного баланса, а также объем и качество дренажного стока, оросительная способность водного объекта, площади осушаемого и увлажняемого (орошаемого) массивов. Выходом данного блока являются требования сельскохозяйственных культур, технология, режим увлажнения (орошения), также может быть определен вид орошения (регулярное, лиманное, циклическое), нормы осушения.

На втором этапе (блок 2) встает необходимость компоновки элементов регулирующей осушительной сети, ограниченная применением норм и правил проектирования, используемых системами поддержки принятия решений, способом осушения, конструктивным решением осушительной части системы, составом элементов осушительной части системы: открытые собиратели (каналы), искусственные ложбины, закрытые собиратели (закрытые каналы или дрены), открытые осушители, дрены (закрытые осушители), ловчие каналы, нагорные каналы, дамбы и др. На выходе из рассматриваемого блока имеем конструкцию и параметры дрен (диаметр, глубину заложения, длину, расстояние между ними) либо параметры открытых осушителей, ловчих и нагорных каналов, дамб и др. Расчет параметров элементов на данном этапе производится по известным зависимостям, изложенным в нормативных документах, справочниках и т. д.

Третий этап (блок 3) заключается в компоновке оградительной сети осушительной части системы (нагорные, ловчие, нагорно-ловчие каналы и дамбы), ограничивающим фактором является способ осушения, предписываемыми – выходные данные вышестоящих блоков. Входные данные представлены выходной информацией о компоновке регулирующей сети. Выходными материальными результатами на данном этапе выступают конструкции и параметры элементов оградительной сети осушительной части системы. Расчет оградительной сети на данном этапе производится по известным зависимостям, изложенным в нормативных документах, справочниках и т. д.

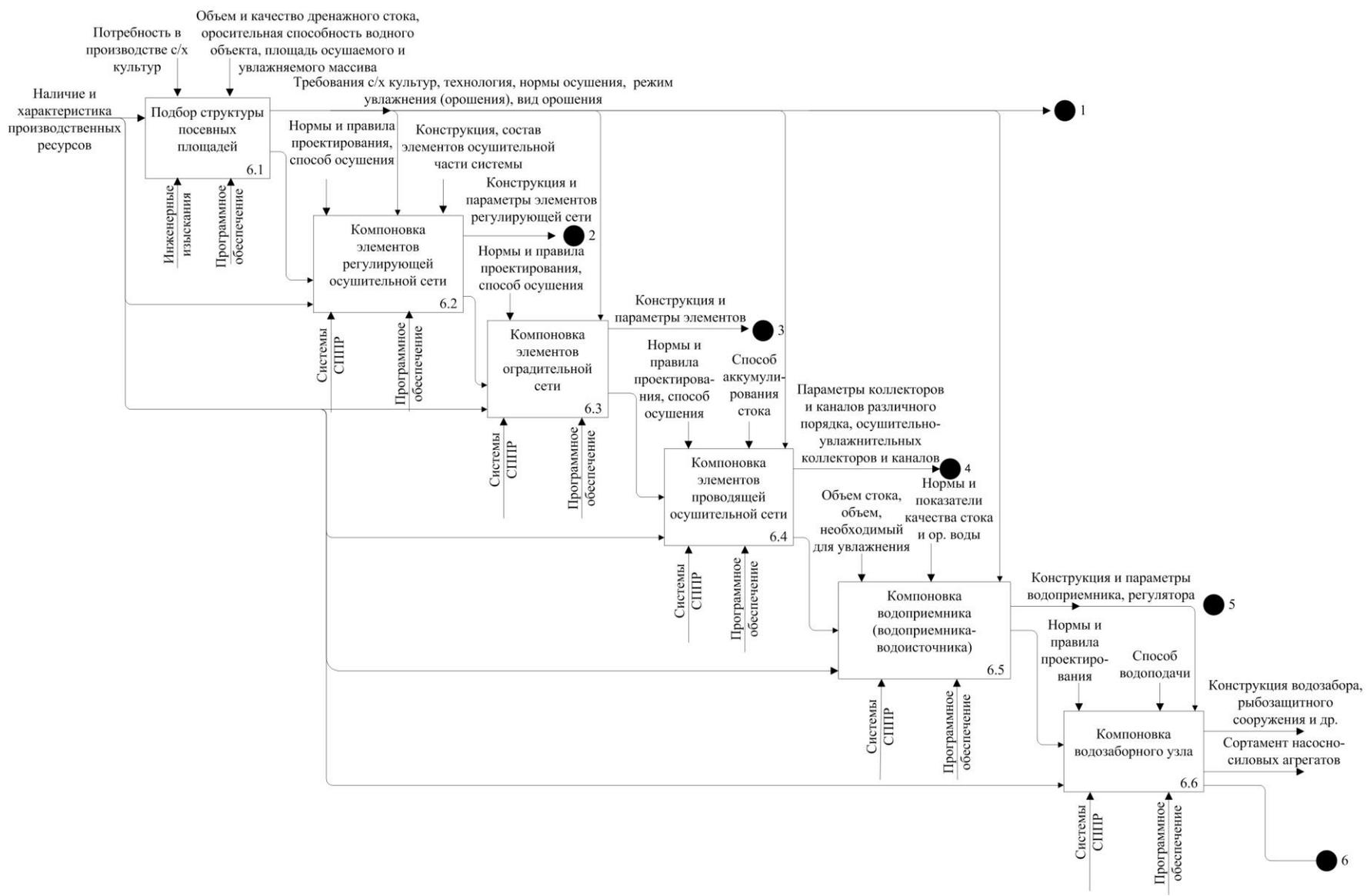


Рисунок 1 – Модель компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия, лист 1

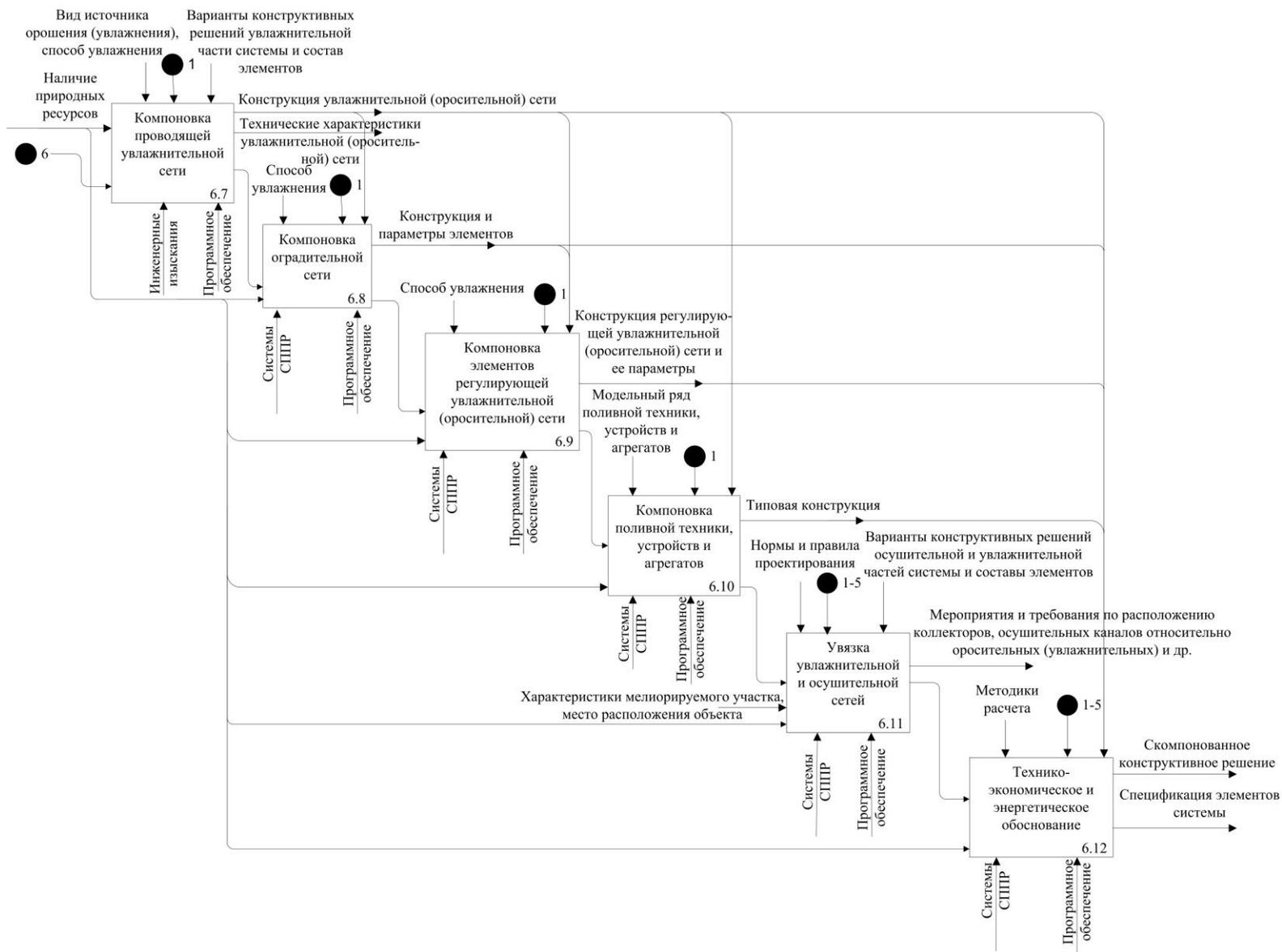


Рисунок 1 – Модель компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия, лист 2

Четвертый этап (блок 4) заключается в компоновке элементов проводящей осушительной сети, ограничивающий фактор представлен способом осушения, но также учитывается способ аккумуляции дренажного стока, предписывающие факторы – выходные результаты вышестоящих блоков. Входные данные представлены выходной информацией о компоновке элементов регулирующей и оградительной сетей, а также наличием природных ресурсов. Выходными материальными результатами данного блока будут параметры осушительных коллекторов и открытых осушительных каналов различного порядка (диаметры, длины коллекторов, формы поперечных сечений каналов, уклоны, глубины, скорости течения и др.), а также параметры осушительно-увлажнительных коллекторов и каналов, используемых в зависимости от способа аккумуляции дренажного стока (например, каналы-накопители) и наличия элементов оградительной сети. Расчет параметров данных элементов на этом этапе производится по известным зависимостям, изложенным в нормативных документах, справочниках и т. д.

На пятом этапе выполняется компоновка водоприемника (водоприемника-водоисточника), ограниченная применением норм и правил проектирования, используемых системами поддержки принятия решений, объемом дренажного стока и объемом, необходимым для увлажнения заданного массива, нормами и показателями качества воды, конструктивным решением осушительной и увлажнительной части системы и составом элементов осушительной части, согласно второму блоку и увлажнительной (оросительной) части системы для различных способов увлажнения (подпочвенное, внутрпочвенное, дождевание, капельное и т. д.). На выходе из рассматриваемого блока имеем конструкцию, параметры водоприемника, конструкцию шлюза-регулятора либо водоприемника-водоисточника в зависимости от принятого типа способа аккумуляции, степени замкнутости водооборота, полноты повторного использования дренажных вод, вида используемого дренажного стока (с использованием разбавленных, очищенных или натуральных дренажных вод). Расчет водоприемника (водоприемника-водоисточника) на этом этапе производится по известным зависимостям, изложенным в нормативных документах, справочниках и т. д.

На шестом этапе поднимается вопрос компоновки водозаборного узла, ограниченный применением норм и правил проектирования капитальных объектов, используемых системами поддержки принятия решений, способом водоподдачи оросительной воды (самотечный, машинный, комбинированный), номенклатурой применяемого оборудования и агрегатов, а также выходными результатами вышестоящих блоков, объемом стока и полнотой его использования, возможной площадью орошаемого массива водами стока, степенью замкнутости водооборота и способом аккумуляции дренажного стока, площадью осушаемого и орошаемого массивов, лимитом водного ресурса, вариантами конструктивных решений увлажнительной части системы (открытая, закрытая, комбинированная) и составом элементов. На выходе из рассматриваемого блока имеем конструкцию и сортамент элементов водозабора, рыбозащитных сооружений, насосно-силовых агрегатов и т. д. (либо, например, только конструкцию шлюзов-регуляторов при выбранном подпочвенном способе увлажнения, без дополнительного забора воды из источника орошения). Расчет водозаборного узла на данном этапе производится по известным зависимостям, изложенным в нормативных документах, справочниках и т. д.

На седьмом этапе «Компоновка проводящей распределительной сети» ограничивающими факторами являются вид источника орошения (увлажнения), способ увлажнения, выраженные вариантами конструктивных решений увлажнительной части системы (открытая, закрытая, комбинированная) и составом элементов, предписываемыми – выходные результаты вышестоящих блоков. Входные данные представлены выходной информацией о компоновке водозаборного узла, а также наличием производственных и природных ресурсов. Выходным материальным результатом в данном случае будет являться конструкция оросительной сети, ранжированная по типу (открытая,

закрытая, комбинированная), а также по принципу водооборота (неводооборотная, водооборотная, полуводооборотная). Описательной информацией о материальном объекте на выходе будут служить технические характеристики оросительной сети и тип оросительной сети по степени капитальности (стационарная, полустационарная, передвижная). Расчет проводящей распределительной сети на этом этапе производится по известным зависимостям, изложенным в нормативных документах, справочниках и т. д.

На восьмом этапе выполняется компоновка оградительной сети увлажнительной части системы (в состав могут входить дамбы, валики, лиманы для удержания воды при увлажнении в пределах поливных участков). Ограничивающим фактором является способ увлажнения. Предписывающей информацией являются выходные результаты вышестоящих блоков. Входные данные представлены выходной информацией о компоновке проводящей распределительной сети. Выходными данными являются конструкция и параметры элементов оградительной сети увлажнительной части системы. Расчет параметров элементов на данном этапе производится по известным зависимостям, изложенным в нормативных документах, справочниках и т. д.

На девятом этапе выполняется компоновка регулирующей увлажнительной сети, состоящей из временных оросителей, поливных каналов, трубопроводов, подпочвенных увлажнителей, капельниц. Ограничивающим фактором является способ увлажнения. Предписывающей информацией являются выходные результаты вышестоящих блоков. Входные данные представлены выходной информацией блоков компоновки проводящей распределительной и оградительной сетей. Выходными данными являются типовая конструкция регулирующей сети и ее параметры. Расчет регулирующей увлажнительной сети на данном этапе производится по известным зависимостям, изложенным в нормативных документах, справочниках и т. д.

На десятом этапе выполняется компоновка поливной техники, устройств и агрегатов с учетом материальных и информационных результатов предыдущих блоков модели, а также модельного ряда поливной техники, устройств или агрегатов. На выходе данного блока имеем типовую (унифицированную) конструкцию поливной техники.

На одиннадцатом этапе «Увязка осушительной и увлажнительной (оросительной) сетей» ограничивающими факторами являются нормы и правила проектирования, варианты конструктивных решений осушительной и увлажнительной частей системы и составы элементов этих частей системы, выходные результаты вышестоящих блоков данной модели (такие как применяемая техника полива, типы и параметры проводящих и регулирующих сетей и др.). Входные данные представлены выходной информацией о компоновке элементов всей системы, а также характеристикой мелиорируемого участка (рельеф, расположение участка мелиорирования, расположение водоисточника и др.). Выходными материальными результатами в данном блоке будут являться мероприятия и требования к расположению коллекторов, осушительных каналов относительно оросительных каналов в зависимости от принятых способов осушения, увлажнения и поливной техники, а также другие мероприятия.

Функция двенадцатого блока заключается в технико-экономическом и энергетическом обосновании элементов и результатов предыдущих этапов с учетом имеющихся нормативных документов по трудозатратам, технико-эксплуатационным расценкам и другим показателям. Выходом будет являться скомпонованное конструктивное решение осушительной системы двустороннего действия для заданных условий, а также спецификация элементов системы.

Выводы. Разработанная модель компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия позволяет потребителю с учетом заданных условий, а также существующих и разрабатываемых новых конструктивных решений осушительных систем двустороннего действия провести их компоновку, основываясь на условиях применения различных способов осушения и увлажнения (орошения),

а также согласования в плане элементов осушительной части системы с увлажнительной.

Представленная модель компоновки позволяет обеспечить поэтапное проведение процесса организации и построения унифицированного прототипа конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия для использования проектными организациями при проектировании и реконструкции действующих мелиоративных систем.

Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Концептуальное обоснование разработки стратегии научно-технического обеспечения развития мелиорации земель в России / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 4(24). – С. 1–21. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec441-field6.pdf.

2 Кожанов, А. Л. Анализ конструкций мелиоративных систем двустороннего действия и основные пути совершенствования / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 91–98.

3 Найденов, С. В. Обзор водооборотных систем на основе гидромелиоративного рециклинга / С. В. Найденов, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 95–111. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec548-field6.pdf.

4 Моделирование использования энергетического потенциала водных ресурсов деривационной оросительной системы / С. М. Васильев, В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов, Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 112–130. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec549-field6.pdf.

5 Кожанов, А. Л. Приоритетные направления совершенствования осушительных систем двустороннего действия / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Современные тенденции развития науки и производства: сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2018. – Т. 2. – С. 108–111.

УДК 628.543

В. Н. Щедрин, В. П. Горобей, В. И. Ляшевский

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Целью исследований являлась интенсификация очистки сточных вод в пневматических флотационных машинах колонного типа за счет модернизации конструкции основных узлов: камер и аэрационных блоков. В предложенной конструкции флотомашин исходная сточная вода обрабатывается в три этапа: при эрлифтной загрузке (до 20 %), в камере основной флотации (50–70 %) и в камере контрольной флотации (10–30 %). Для насыщения камерного продукта воздухом, генерации мелкодисперсных пузырьков применено устройство с пневмогидравлическими аэраторами, рабочей средой которых является сжатый воздух. Описан принцип его работы. Указаны основные параметры, влияющие на эффективность процесса очистки воды. Создана установка, включающая модель предложенной конструкции пневматической флотационной машины колонного типа. На экспериментальной установке исследован процесс очистки сточной воды автотранспортного предприятия. Описана схема перехода от лабораторной к промышленной флотационной установке. Разработана конструкторская документация на опытно-промышленный образец машины с автоматическим регулированием уровня столба пены.

Ключевые слова: колонная флотация, модель, технология, реагентный режим, канал, эрлифт, эжекция, пена, модернизация, пневмогидравлическая аэрация, интенсификация, успокоительная решетка.

V. N. Shchedrin, V. P. Gorobey, V. I. Lyashevskiy

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk,
Russian Federation

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE WASTEWATER FLOTATION TREATMENT PROCESS

The aim of the research was to intensify the wastewater treatment in pneumatic flotation machines of the column type by modernizing the design of the main units: chambers and aeration units. In the proposed flotation machine design the initial wastewater is treated in three stages: with airlift loading (up to 20 %), in the main flotation chamber (50–70 %) and in the control flotation chamber (10–30 %). A device with pneumohydraulic aerators, the working medium of which is compressed air, was used to saturate the chamber product with air, to generate fine bubbles. The principle of its work is described. The main parameters affecting the efficiency of the water purification process are indicated. The installation including a model of the proposed design of the column type pneumatic flotation machine is created. The treatment process of the wastewaters from motor transport enterprise was investigated at the experimental installation. The scheme of transition from the laboratory flotation installation to the industrial one is described. Design documentation for an experimental-industrial model of a machine with automatic regulation of the level of a foam column has been developed.

Keywords: column flotation, model, technology, reagent scheme, canal, airlift, ejection, foam, modernization, pneumatic hydraulic aeration, intensification, protective grating.

Введение. Приоритетным направлением водохозяйственной деятельности должно быть сокращение загрязнения и там, где возможно, восстановление и достижение высокого экологического качества водных экосистем [1]. Концепция успешного решения большинства экологических проблем предполагает повсеместное внедрение во всех сферах народного хозяйства малоотходных и безотходных технологий [2].

Содержание синтетических детергентов, которые направляются в естественные водоемы, регламентируется санитарными и рыбохозяйственными нормами. Исследования, посвященные очистке сточных вод от нефтепродуктов, указывают на весьма незначительное удаление при отстаивании и плохую биохимическую окисляемость некоторых из них. Флотационные методы применяют для очистки сточных вод, содержащих масла и жиры, например со скотобоен, с предприятий пищевой промышленности, а также с фабрик-кухонь и гастрономических предприятий, сточных вод, содержащих масла, например нефтеперерабатывающих заводов, авторемонтных мастерских и автомоек, сточных вод, содержащих волокно и хлопья, например с объектов бумажной промышленности. В водоочистке применяются методики отделения, основанные на флотации и подобных процессах, которые пришли из технологий подготовки руды и угля [3–5]. Преимущество флотационной очистки в том, что скорость уплотнения при флотации в 10–15 раз, а концентрация твердой фазы осадка в 2 раза выше, чем при обычном гравитационном уплотнении [6–8]. Флотационные методы применяют как для гетерогенных, так и для однофазных систем. В первом случае для удаления нерастворенных частиц и коллоидов совместно с растворенными высокомолекулярными соединениями, во втором – дополнительно ионов. При заданных обычных параметрах флотации, как правило, достигается снижение концентрации ПАВ на 40–60 % в зависимости от интенсивности аэрации, столба пены и концентрации нерастворенных загрязнений. При интенсивной аэрации снижение концентрации ПАВ может достигать

80–90 % [3]. Эффективность очистки можно повысить и до 90–99 %, применяя предварительную обработку стоков коагулянтами и флокулянтами. Перед применением химически активных соединений проводят подбор реагентного режима и дозировки, а также определяют длительность флотационного процесса для минимизации расхода реагентов при максимальной степени очистки [4].

Разработка новых, более совершенных методов и приемов, технологических схем флотационной очистки сточных вод, в частности при повышении равномерности насыщения сточных вод воздухом, сокращении энергозатрат, повышении эксплуатационной надежности узла аэрации за счет совершенствования конструкций пневматических флотационных машин, является актуальной задачей.

Материал и методы: анализ эффективности применяемых способов аэрации в различных конструкциях флотационных машин для повышения степени очистки промышленных сточных вод, математическое и физическое моделирование узлов машин и технологического процесса, эмпирические исследования.

Результаты и обсуждение. Исследовав обоснованные параметры основных конструкций флотационных установок для очистки сточных вод [9–11], установили, что эжекторные флотационные машины обладают более высокими флотационными показателями по сравнению с другими типами машин, что обеспечивает значительную интенсификацию процесса флотации [12]. Наиболее часто применяется напорная флотация для очистки сточных вод от нефти, нефтепродуктов, жиров, масел, поверхностно-активных и волокнистых веществ. При эрлифтной флотации затраты энергии в 2–4 раза меньше, чем при напорной, но конструкция установок требует значительного перепада высотных отметок между питательным резервуаром со сточной водой и аэратором, а также между аэратором и камерой, что сужает область применения этого метода [3]. Обоснованы характеристики противоточных колонных машин и их преимущества перед механическими той же производительности [13].

Традиционно пневматические флотоустановки применяют при очистке сточных вод, которые содержат растворенные примеси, агрессивные по отношению к механизмам (насосам, импеллерам и др.), имеющим движущиеся части. Измельчение пузырьков воздуха достигается путем впуска воздуха во флотационную камеру через сопла, которые располагаются на воздухораспределительных трубках, закрепляемых в нижней части флотационной камеры на расстоянии 0,25–0,30 м друг от друга. Диаметр отверстий сопел 1,0–1,2 мм, рабочее давление перед ними 0,3–0,5 МПа, скорость выхода струи из сопел 100–200 м·с⁻¹. Объем флотатора определяется [14] по формуле:

$$W_{\phi} = \frac{Qt_{\phi}}{60(1 - k_{\text{аэр}})},$$

где t_{ϕ} – время флотации, равное 15–20 мин;

$k_{\text{аэр}}$ – коэффициент аэрации, равный 0,2–0,3.

Требуемый расход воздуха зависит от интенсивности аэрации, ориентировочно равной 15–20 м³/(м²·ч). Необходимое число сопел находится [12] из выражения:

$$n_c = \frac{Q \cdot b}{f_c \cdot v},$$

где f_c – площадь отверстия одного сопла, м²;

v – скорость выхода воздушной струи, м·с⁻¹.

Оптимальное время флотации в промышленной машине определяется по времени флотации $t_{\text{л}}$ в лабораторной камере периодического действия [11]:

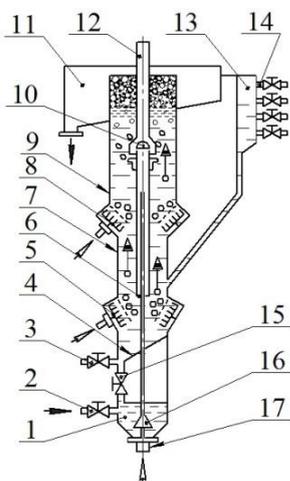
$$t = k_{\text{п}} \cdot t_{\text{л}},$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент перехода.

Коэффициент перехода зависит от различных факторов, связанных со свойствами разделяемого материала, особенностями технологии флотации, конструкции машины и др. Для его определения используют экспериментальные и аналитические методы. Для расчета промышленной флотации в работе предлагается методика, согласно которой время пребывания разделяемой жидкости в первой камере принимается по лабораторной кинетической кривой, когда достигается 50 % выход флотируемого материала. Вместимость камеры определяется через найденное время и входной поток. Данная методика позволяет избежать выбора камеры недостаточной вместимости и повысить точность расчета общего числа камер. Если точная величина $k_{\text{п}}$ неизвестна, то проектировщики принимают ее от 2 до 4, при этом предпочитается большее значение. Это относится и к пребыванию исходной жидкости в камере.

После того, как пневматические флотационные машины колонного типа показали свои преимущества, в особенности при обогащении тонкодисперсного минерального сырья, для повышения их эффективности был предложен ряд колонных машин, в которых камерный продукт аэрируется водовоздушной или пульповоздушной смесью, получаемой вне флотационной камеры эжектированием воздуха потоком воды с пенообразователем под давлением 170–330 кПа. Недостатком данных устройств является высокий расход сжатого воздуха на аэрацию камерного продукта, а также необходимость установки дополнительных конструктивных элементов для повышения равномерности распределения аэрации по сечению колонны, например перфорированных плит, концентрических, радиальных и кольцевых барьеров.

Для исследования эффективности очистки сточных вод автотранспортного предприятия АТП 14327 (г. Симферополь) была создана малогабаритная экспериментальная установка, включающая напорный гидроциклон и модернизированную модель пневматической флотационной машины колонного типа. В установке была использована доработанная конструкция флотационной машины (рисунок 1) по техническим решениям патентов 20115731, 2038864 [15, 16].



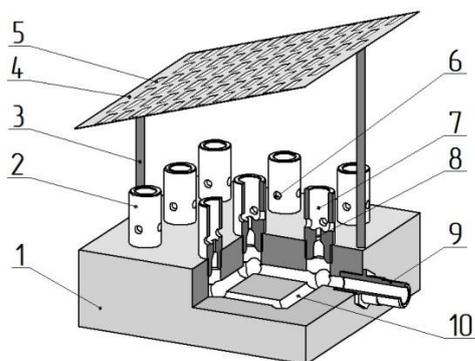
- 1 – камера загрузки питания; 2, 3, 14 – краны; 4 – дно камеры дофлотации; 5, 8 – аэраторы; 6 – эрлифт; 7 – камера дофлотации; 9 – камера основной флотации; 10 – отбойник; 11 – желоб; 12 – труба отвода избыточного воздуха; 13 – устройство регулирования уровня; 16 – раструб; 17 – штуцер подачи воздуха

Рисунок 1 – Схема пневматической флотационной машины

Флотомашинка включает по высоте верхнюю камеру 9 основной флотации сечением 8 см и высотой 80 см и нижнюю 7 дофлотации и еще ниже – загрузки питания 1. По оси аппарата расположена телескопическая труба 6 с раструбом 16 в загрузочном приспособлении 1 (предназначена для эрлифтной загрузки исходного материала). Напротив раструба 16 размещено приспособление 17 для ввода транспортного воздуха. В верхней камере 9 под верхней кромкой телескопической трубы, у внутренней стенки корпуса кольцеобразно размещены аэраторы 8. Аэраторы установлены под распределителем ввода питания 10. Нижняя камера 7 по сечению снабжена аэрационным устройством 5 выше загрузочного приспособления. В качестве аэраторов применено устройство для аэрации по техническому решению авторского свидетельства 1748878 [17].

Машина снабжена аэраторами, корпуса которых изготовлены из бронзы, с воздушными соплами диаметром 1,0–1,2 мм, диаметром каналов 4 мм, диаметром камеры смешивания 8 мм и дополнительной успокоительной решеткой, которая имеет отверстия 5×20 мм.

В машине применено вышеназванное устройство для аэрации камерного продукта при флотации, фрагмент которого показан на рисунке 2. Оно состоит из коллектора 1, на котором установлены аэраторы 2, на кронштейне 3 к коллектору прикреплена успокоительная решетка 4 со щелями 5. Корпус аэратора имеет каналы 6, по которым вода поступает к соплу 8. Через штуцер 9 воздух поступает в воздухопроводные каналы 10.



- 1 – коллектор; 2 – корпус аэратора;
3 – кронштейн; 4 – успокоительная решетка;
5 – щели решетки; 6 – каналы аэратора;
7 – смесительная камера; 8 – сопло; 9 – штуцер;
10 – воздухопроводные каналы

Рисунок 2 – Схема фрагмента устройства узла аэрации

При работе устройства аэрации сжатый воздух, подаваемый через штуцер 9 коллектора, по воздухопроводным каналам 10 поступает в аэратор 2 под давлением 350–400 кПа, на выходе из рабочего сопла 8 в камеру смешивания 7 увлекает через каналы 6 аэратора 2 очищаемую воду и смешивается с ней, создаваемый водовоздушный факел направляется на успокоительную решетку 4 и, равномерно распределяясь по сечению камеры, насыщает очищаемую воду воздушными пузырьками. Вода поступает в зону разрежения камеры смешивания 7 аэратора без принудительного воздействия. Аэраторы 2 размещены на расстоянии 0,27 м друг от друга [14, 17].

Устройство для аэрации 8 (рисунок 1) расположено в нижней части камеры 9 основной флотации, дополнительное устройство расположено вдоль поперечного сечения в нижней части камеры дофлотации 7, эрлифт 6 расположен по оси машины, трубка 12 для отвода избыточного воздуха расположена над верхней кромкой эрлифта, а приемник 4 камерного продукта соединен 15 с камерой загрузки питания 1. Увеличение поперечного сечения у оснований камер основной флотации 9 и дофлотации 7 обеспечивает повышенную концентрацию воздушных пузырьков в пристеночных областях. Механическое регулирование уровня сточной воды в колонне позволяет задавать рабочий столб пены высотой 5, 10, 30 и 50 см.

Пневматическая флотационная машина колонного типа (рисунок 1) работает следующим образом. Обработанная реагентами или без дополнительной обработки очищаемая вода подается через загрузочный патрубков 2 под раструб 16 эрлифтной трубы 6, откуда поступающим снизу воздухом через штуцер с обратным клапаном 17 транспортируется в верхнюю камеру 9 колонны. В эрлифтной трубе 6, устроенной телескопически, происходит образование водовоздушной смеси и частичное насыщение сточной воды воздухом (активация). Ею же и регулируется глубина ввода исходного питания. Выброшенная из эрлифта 6 водовоздушная смесь с помощью конусного распределителя 10 направляется равномерно по сечению камеры 3 в виде восходящих потоков. В таком «взвешенном» состоянии предварительно аэрированная сточная вода взаимодействует с воздушными пузырьками, генерируемыми пневматическими аэраторами 8, которые расположены кольцеобразно у внутренней стенки камеры 9. Образовавшиеся флотационные комплексы с пеной поступают в кольцевой пенный желоб 11 и удаляются в виде концентрата, а гидрофильные и менее гидрофобные частицы опускаются в нижнюю камеру 7 на дополнительную очистку. Здесь они дополнительно взаи-

модействуют с пузырьками воздуха, генерируемыми аэраторами 5. Гидрофобный материал, попавший в зону дофлотации, образует флотационные комплексы и удаляется с пеной в концентрат, а камерный продукт разгружается через патрубок 3 или через кран 15 направляется в камеру загрузки питания 1 на повторный цикл очистки.

В результате испытаний установки при очистке промышленных сточных вод в открытом цикле в промышленных условиях автотранспортного предприятия извлечение нефтепродуктов составило 96 %, собранный наработанный флотоконцентрат был направлен как горючий материал для непосредственного сжигания в котельную, которая работает на жидком топливе, подающемся с воздухом под давлением.

Конструктивные особенности предлагаемой машины способствуют интенсификации условий флотации в верхней и нижней камерах. Значительное поперечное сечение верхней камеры по сравнению с эрлифтной трубой загрузки позволяет снизить до минимума центробежную скорость водовоздушного факела и достигнуть «взвешенного» состояния очищаемой воды при ее аэрации снизу. Этому же способствует наличие конусного распределителя. Благодаря тому, что нижняя камера имеет меньший диаметр, чем верхняя, оптимальные условия флотации сохраняются. Перечисленные особенности предложенной конструкции пневматической флотационной машины обеспечивают повышение эффективности флотации гидрофобного материала, что повышает удельную производительность машины.

Установка с экспериментальной флотационной машиной работает в замкнутом и открытом циклах, в ручном режиме поддержки столба пены и моделирует производственный процесс [11], разработана конструкторская документация на опытно-промышленный образец пневматической флотационной машины колонного типа «ВИРА» с автоматическим поддержанием уровня очищаемой воды в камере [18].

Выводы. Повышение эффективности очистки сточных вод флотацией в технологическом цикле в предлагаемой конструкции машины осуществляется за счет аэрации камерного продукта в три этапа (в трех зонах). Первичная аэрация (кондиционирование) на 15–20 % от общего потребного воздуха происходит при эрлифтной загрузке питания. Основная флотация (50–70 %) осуществляется в верхней камере машины при аэрации осветляемой воды пневмогидравлическими аэраторами. Дополнительная аэрация гидрофобных включений вод осуществляется в нижней камере и позволяет доочистить (10–30 %) выпавшие из верхней камеры менее гидрофобные компоненты.

При использовании предложенных конструктивных технических решений, оригинальность которых защищена авторским свидетельством и тремя патентами на изобретения, повышается интенсивность флотационной очистки промышленных сточных вод, содержащих горюче-смазочные материалы и другие нефтепродукты, при снижении расхода реагентов, капитальных затрат, затрат энергии и повышении технологических показателей качества.

Список использованных источников

- 1 Безднина, С. Я. Экологические основы водопользования / С. Я. Безднина. – М.: ВНИИА, 2005. – 224 с.
- 2 Семененко, С. Я. Орошение животноводческими сточными водами (с основами проектирования) / С. Я. Семененко. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. – 176 с.
- 3 Мацнев, А. И. Очистка сточных вод флотацией / А. И. Мацнев. – Киев: Будивельник, 1976. – 132 с.
- 4 Ксенофонов, Б. С. Флотационная обработка сточных вод, отходов и почвы / Б. С. Ксенофонов. – М.: Новые технологии, 2010. – 272 с.
- 5 Очистка промышленных сточных вод / под общ. ред. Ф. В. Кармазинова: [пер. с нем.]. – СПб.: Новый журнал, 2012. – 373 с.
- 6 Очистка промышленных сточных вод / А. М. Когановский, Л. А. Кульский, Е. В. Сотникова, В. Л. Шмарук. – Киев: Техника, 1974. – 257 с.

7 Гаврилов, М. И. Перспективные методы обработки осадков сточных вод (уплотнение, кондиционирование, механическое обезвоживание) / М. И. Гаврилов, Н. Л. Круглова, Л. Н. Монгайт. – М.: Центр. ин-т науч. информ. по стр-ву и архитектуре Госстроя СССР, 1975. – 52 с.

8 Очистка сточных вод масло-жировой промышленности: обзор. информ. / В. С. Мичигин [и др.]. – М.: ЦНИИЕЭИ, 1979. – 24 с. – (Сер. 6. Масло-жировая промышленность).

9 Жуков, А. И. Методы очистки сточных вод: справ. пособие / А. И. Жуков, И. Л. Могайт, И. Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1978. – 204 с.

10 Руководство по проектированию и расчету флотационных установок для очистки сточных вод / И. Н. Мясников [и др.]; ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1978. – 32 с.

11 Дебердеев, И. Х. Современные направления в конструировании флотационных машин: обзор / И. Х. Дебердеев, Ю. Б. Рубинштейн, В. К. Романов; ЦНИИУголь. – М., 1985. – 61 с.

12 Бедрань, Н. Г. К расчету азратора-эжектора флотационной машины / Н. Г. Бедрань, А. А. Ефименко, И. Н. Григорьев // Конструкции отечественных и зарубежных флотационных машин. – М.: Госгорхимпроект, 1970. – С. 73–79.

13 Пенная сепарация и колонная флотация / Ю. Б. Рубинштейн, В. И. Мелик-Гайказян, Н. В. Матвеев, С. Б. Леонов. – М.: Недра, 1989. – 304 с.

14 Очистка производственных сточных вод: учеб. пособие / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.

15 Пат. 20115731 Российская Федерация, С1 503 D 1/24. Пневматическая флотационная машина / Горобей В. П.; заявитель и патентообладатель В. П. Горобей. – № 4947360/03; заявл. 08.05.91; опубл. 15.07.94, Бюл. № 13.

16 Пат. 2038864 Российская Федерация, В 03 D 1/24. Пневматическая флотационная машина / Горобей В. П., Щербаков М. И.; заявитель и патентообладатель В. П. Горобей. – № 5038981/03; заявл. 21.04.92; опубл. 09.07.95, Бюл. № 19.

17 А. с. 1748878 СССР, В 03 D 1/24, 1/14. Устройство для аэрации пульпы при флотации / В. П. Горобей. – № 4799179/03; заявл. 05.03.90; опубл. 23.07.92, Бюл. № 27. – 4 с.

18 Пат. 2043168 Российская Федерация, МПК⁹⁵ С1 503 D 1/24. Пневматическая флотационная машина «ВИРА» / Горобей В. П.; заявитель Укр. гос. ин-т минер. ресурсов; патентообладатель В. П. Горобей. – № 5045897/03; заявл. 02.06.92; опубл. 10.09.95, Бюл. № 25.

УДК 631.674.6:621.643.03

А. С. Штанько, В. Н. Шкура

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

О НОМЕНКЛАТУРЕ ТРУБОПРОВОДОВ КАПЕЛЬНОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Целью исследования является разработка номенклатуры трубопроводов оросительной сети систем капельного орошения растений. Капельная оросительная сеть представляет собой совокупность взаимообусловленных, непосредственно физически взаимосвязанных или косвенно гидравлически взаимодействующих водоводов различных размеров и функционального предназначения. Достаточно сложная иерархическая связь разнофункциональных трубопроводов и их разнообразие предопределяет необходимость их структуризации с использованием обозначающих трубопроводы буквенно-цифровых символов. Предложенная система таких номенклатурных обозначений (спецификации) упрощает понимание, разработку и описание трубопроводных оросительных сетей капельных систем орошения.

Ключевые слова: капельное орошение, капельные системы, оросительная сеть, капельные водоводы, трубопроводы капельной сети, распределитель, ороситель.

A. S. Shtanko, V. N. Shkura

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ON THE NOMENCLATURE OF DRIP IRRIGATION NETWORK PIPELINES

The aim of the study is to develop a nomenclature of pipelines for the irrigation network of drip irrigation systems. A drip irrigation network is a set of interdependent water conduits of various sizes and functional purposes interconnected physically directly or hydraulically indirectly. A rather complex hierarchical connection of the diversified pipelines and their variety predetermine the need for their structuring using alphanumeric symbols that designate the pipelines. The proposed system of such nomenclature designations (specifications) simplifies the understanding, development and description of pipeline irrigation networks of drip irrigation systems.

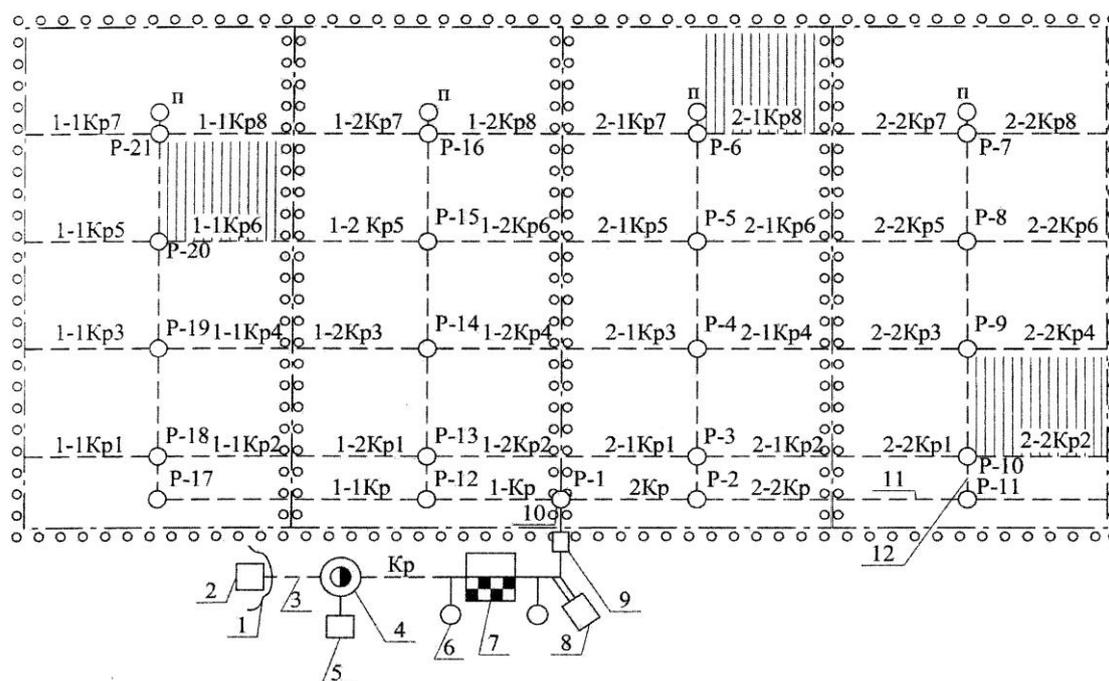
Key words: drip irrigation, drip systems, irrigation network, drip water conduits, drip line pipelines, distributor, sprinkler.

Введение. Оросительные сети капельных систем орошения в наиболее общем случае включают: магистральный трубопровод (водовод), систему питающихся из него поливной водой распределительных трубопроводов (распределителей) различного иерархического уровня (1, 2 и 3-го порядка), систему подвешиваемых к распределителям низшего порядка (физически и гидравлически связанных с распределителями) оросительных трубопроводов (оросителей) и систему поливных трубопроводов, питающихся поливной водой (раствором) из оросителей и подающих ее в капельницы. В реальных условиях компоновочно-конструктивные решения капельных оросительных сетей отличаются значительным разнообразием сочетаний, иерархического построения и размеров составляющих их трубопроводов различного функционального назначения. Для описания иерархически сложных систем водоводов гидромелиораторы использовали различные, в разной степени удачные и неудачные системы их номенклатуризации [1, 2]. Несмотря на наличие таких систем обозначений, как проектировщики, так и эксплуатационники испытывали определенные затруднения с обозначением и нумерацией водоводов, составляющих оросительные сети, что привело к необходимости разработки единой системы их обозначения с применением буквенно-цифровых символов.

Один из примеров применения существующей системы номенклатурных обозначений трубопроводов капельной оросительной сети проиллюстрирован рисунком 1 [3]. Оросительная сеть на рисунке 1 представлена магистральным трубопроводом Кр, системой распределительных трубопроводов: 1Кр и 2Кр – распределителями первого порядка, 1-1Кр – распределительными трубопроводами второго порядка, 1-1Кр1 – распределителями третьего порядка и системой поливных трубопроводов 1-1Кр1.1.

Приведенные в книге, посвященной исследованию капельного орошения (2011 г.) [3], обозначения трубопроводов капельной оросительной системы приняты по аналогии с каналами открытой оросительной сети и характеризуются весьма сложной системой иерархического построения буквенно-цифровых символов, что часто приводит к ошибкам, неточностям и недоразумениям в написании, прочтении и понимании номенклатуры водоводов оросительной сети. К сожалению, ряда неточностей и неопределенностей при номенклатуризации оросительной сети не избежал и автор цитируемой публикации. Примерами тому являются: написание водоводов 1-Кр вместо 1Кр; отсутствие на схеме водовода 1-2Кр при наличии трубопроводов с символами 1-2Кр1, 1-2Кр2 и далее до 1-2Кр8; при отсутствии на схеме трубопровода 2-1Кр имеются водо-

воды 2-1Кр1, 2-1Кр2 и далее до 2-1Кр8; из приведенного в публикации рисунка не ясна схема питания водоводов 2-1Кр6, 1-2Кр6 и др.



1 – природный водный объект; 2 – аванкамера насосной станции; 3 – всасывающий трубопровод; 4 – насосная станция; 5 – пульт управления; 6 – измерительные и контролирующие приборы; 7 – фильтры очистки воды; 8 – агрохимический узел; 9 – регулятор давления; 10 – узел вододеления; 11, 12 – трубопроводы оросительной сети

Рисунок 1 – Схема капельной оросительной системы по исследованию 2011 г. [3]

Принятая ранее и использованная в курсе лекций (2011 г.) [1] система номенклатурных обозначений базируется на одном буквенном символе – Кр (канальный распределитель первого (высшего) иерархического уровня), что затрудняет выделение в сети оросительных и поливных трубопроводов. Перегруженность структуры обозначений цифровыми символами, записываемыми как перед буквенным символом, так и после него, затрудняет прочтение названий водоводов и отнесение их к определенному виду функциональных трубопроводов. Указанное обстоятельство предопределило актуальность и необходимость разработки новой, более простой и отвечающей требованиям капельных оросительных систем схемы номенклатуризации трубопроводов оросительной сети.

Материалы и методы. В качестве исходного материала рассмотрены проекты систем капельного орошения сельскохозяйственных угодий с различными компоновочно-конструктивными решениями оросительной сети, разработанные специалистами Южводпроекта в 2010–2016 гг. В качестве базового подхода приняты принципы и технологии составления номенклатуры отдельных одновидовых деталей, в своей совокупности формирующих сложные компоновочно-конструктивные решения системы.

Результаты и обсуждение. Оросительная сеть капельных систем характеризуется определенной иерархической структурой физически и гидравлически связанных и взаимосвязанных трубопроводов различного функционального назначения и (или) порядка. Указанное обстоятельство и значительное количество составляющих оросительную сеть трубопроводов определяет необходимость их номенклатуризации (разработки номенклатуры водоводов). Рекомендуемая номенклатура различных трубопроводов капельных оросительных сетей предусматривает использование разработанной нижеприведенной системы их символов (буквенно-цифровых обозначений).

1 Магистральный трубопровод (водовод) оросительных сетей капельных систем орошения сельхозугодий рекомендуется обозначать буквенным символом Мт.

2 Распределительные трубопроводы («распределители») капельных оросительных сетей предлагается обозначать символом Рт. Распределители высшего иерархического уровня обозначают символами Рт1, Рт2, ..., Рт n (в зависимости от расположения их отводов по направлению течения воды в магистральном трубопроводе). При этом используются названия: первый распределитель первого порядка – Рт1, а второй и n -й распределители первого порядка обозначаются как Рт2 и Рт n соответственно.

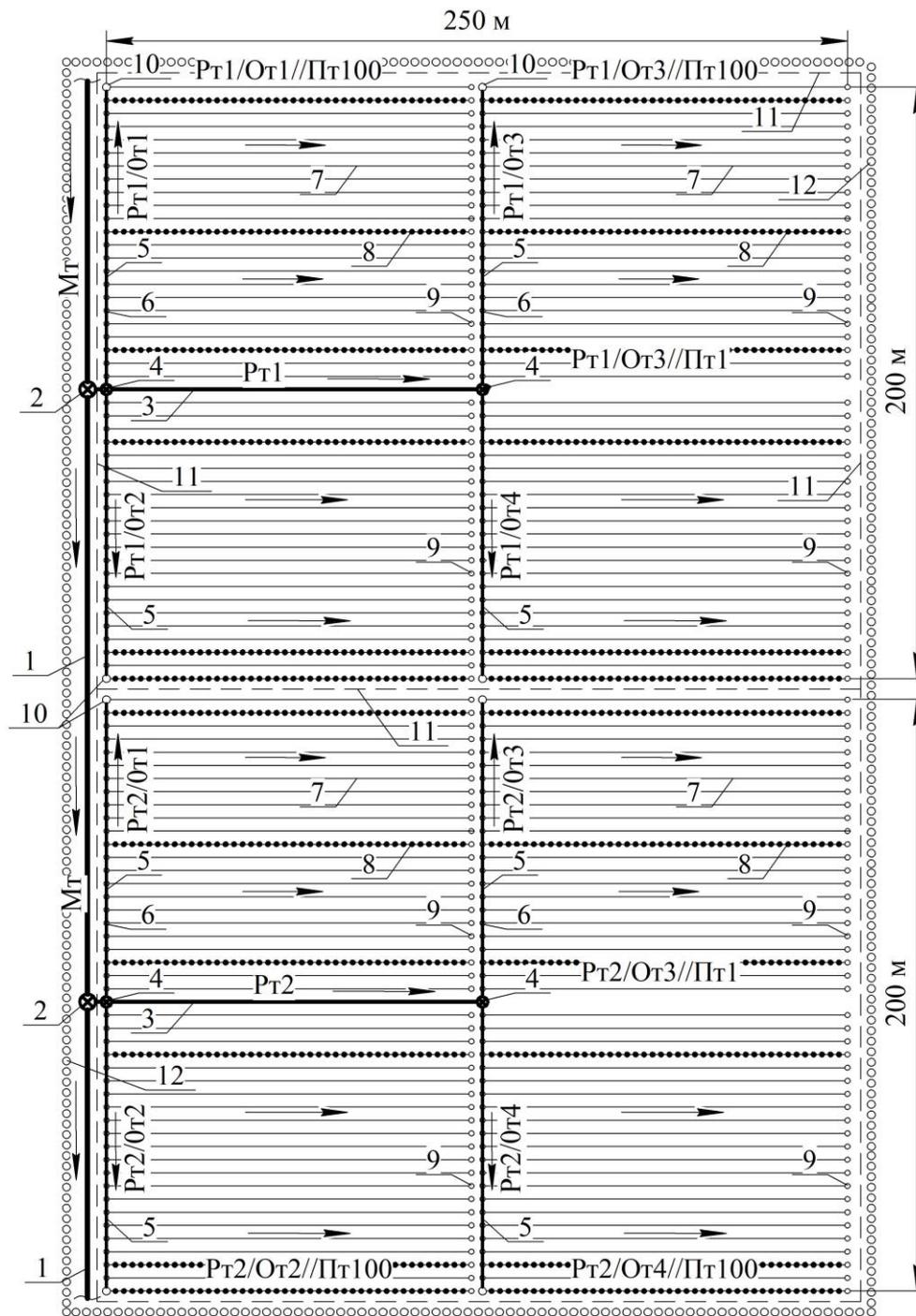
В особо иерархически сложных оросительных сетях систем капельного орошения могут использоваться распределительные трубопроводы (распределители) второго порядка (второго иерархического уровня), питающиеся поливной водой (раствором) из распределителей первого иерархического уровня. Для номенклатурного обозначения таких распределительных трубопроводов рекомендуется использовать буквенно-цифровые символы в виде Рт1.1, Рт1.2, ..., Рт1. n или Рт2.1, Рт2.2, ..., Рт2. n . Наличие в символе двух последовательно записанных цифровых обозначений определяет распределитель второго порядка. При этом буквенно-цифровой символ Рт1.1 означает «первый распределитель второго порядка, питающийся водой из первого распределителя первого порядка», а обозначение Рт2.2 расшифровывается как «второй распределитель второго порядка, питающийся поливной водой из второго распределителя первого порядка». Нумерация распределительных трубопроводов второго порядка ведется от головы распределителя первого порядка по направлению течения воды в нем.

3 Распределители первого порядка, а в более сложных схемах капельных оросительных сетей распределители второго порядка подают воду в физически и гидравлически связанные с ними оросительные трубопроводы – оросители («капельные оросители») или питают их поливной водой. Оросительные трубопроводы – оросители (питающие водой поливные водоводы или капельные линии) рекомендуется обозначать буквенно-цифровыми символами От1, От2, ..., От n , где цифровое обозначение соответствует порядковому номеру оросителя, непосредственно питающегося из одного и того же распределителя (первого или второго порядка). Полное номенклатурное обозначение оросительного трубопровода включает всю совокупность символов питающих водой ороситель (предшествующих оросителю распределителей) водопротягивающих трубопроводов. При этом в номенклатурном (спецификационном) обозначении символику регулирующей части сети рекомендуется отделить от начинающейся с оросителя поливной сети косой линией. С учетом отмеченных выше позиций номенклатурные буквенно-цифровые обозначения оросителей примут вид: Рт1/От1, Рт1/От2, ..., Рт1/От n в поливной сети с питанием оросителя из первого распределителя первого порядка или Рт2/От1, Рт2/От2, ..., Рт2/От n с подачей воды из второго распределителя первого порядка; Рт1.1/От1, Рт1.1/От2, ..., Рт1.1/От n или Рт1.2/От1, Рт1.2/От2, ..., Рт1.2/От n при питании оросителей От1, От2 и От n из распределителей второго порядка Рт1.1 и Рт1.2.

4 Оросители питают водой капельные поливные трубопроводы, номенклатурные обозначения которых рекомендуется записывать в виде символов Пт1, Пт2, ..., Пт n . В пределах капельной поливной сети их обозначения записываются в увязке с оросительными трубопроводами в виде: От1//Пт1, От1//Пт2, ..., От1//Пт n или От2//Пт1, От2//Пт2, ..., От2//Пт n для поливных водоводов, питающихся водой из первого и второго оросителей соответственно. При этом полные номенклатурные обозначения поливных трубопроводов (Пт1, Пт2, Пт n) во взаимосвязи их с цепочкой подводящих к ним воду оросителей и распределителей имеют вид: Рт1.1/От1//Пт1, Рт1.1/От1//Пт2, ..., Рт1.1/От1//Пт n или Рт1.2/От1//Пт1, Рт1.2/От1//Пт2, ..., Рт1.2/От2//Пт n . Пример использования предложенной системы номенклатуризации трубопроводов капельной оросительной сети приведен на рисунке 2.

Использование рекомендуемых буквенно-цифровых символов позволяет обо-

значить все виды водоводов капельной оросительной сети (от магистрального трубопровода Мт, распределительных трубопроводов различных порядков Рт до оросительных трубопроводов От и поливных трубопроводов Пт по всей трассе подачи поливной воды к капельным микроводовыпускам, т. е. по всей капельной оросительной системе в целом). Система символических обозначений водоводов упрощает и упорядочивает составление и использование номенклатуры трубопроводов оросительной сети.



1 – магистральный водовод (МТ); 2 – водовыделы из магистрального трубопровода в распределители; 3 – распределители (Рт1, Рт2); 4 – водовыделы из распределителей в оросители; 5 – оросители; 6 – водовыделы из оросителей в капельные линии; 7 – поливные трубопроводы; 8 – капельницы; 9 – заглушки оросителей; 10 – заглушки капельных линий; 11 – дороги; 12 – лесополосы

Рисунок 2 – Схема оросительной сети капельно орошаемого участка

Проиллюстрированная рисунком 2 капельная оросительная сеть орошаемого участка разработана с применением модульного подхода к землеустройству сельскохозяйственного монокультурного угодья и включает восемь однотипных и одноразмерных поливных модулей площадью по 1,25 га каждый, объединенных в два оросительных модуля по 5 га каждый. Каждый поливной и оросительный модули системы оборудованы одинаковыми (однотипными) по составу и размерам водоводами различного функционального назначения, обеспечивающими капельный полив растений.

Оросительная сеть капельно орошаемого участка площадью нетто 10 га включает магистральный водовод Мт, который питает поливной водой (раствором) два распределительных трубопровода Рт1 и Рт2, обеспечивающих орошение сельскохозяйственных угодий на двух оросительных модулях с площадью нетто по 5 га каждый. К распределителю Рт1 подвешено четыре оросительных трубопровода (Рт1/От1, Рт1/От2, Рт1/От3, Рт1/От4), а к распределителю Рт2 подключены оросители Рт2/От1, Рт2/От2, Рт2/От3 и Рт2/От4, обеспечивающие подачу поливной воды (раствора) на поливные модули. Каждый ороситель питает поливной водой (поливным раствором) по 100 поливных трубопроводов (поливных линий в виде капельных лент) со встроенными в них с определенным шагом капельницами. Номенклатурное обозначение поливных трубопроводов: Рт1/От1//Пт1, ..., Рт1/От1//Пт100 или Рт2/От4//Пт1, ..., Рт2/От4//Пт100.

Выводы

1 Предложена достаточно простая и легко читаемая система номенклатуризации трубопроводов капельной оросительной сети, базирующаяся на использовании буквенно-цифровых символов в равном их соотношении.

2 Предложенная система номенклатурных обозначений трубопроводов оросительной сети для систем капельного орошения сельскохозяйственных угодий в лучшую сторону отличается от ранее использовавшейся и рекомендуется к широкому использованию в реальной практике проектирования и эксплуатации капельных оросительных систем.

Список использованных источников

1 Мелиорация земель: курс лекций / Г. А. Сенчуков [и др.]; под ред. Г. А. Сенчукова. – Новочеркасск: НГМА, 2011. – 211 с.

2 Практикум по мелиорации земель: учеб. пособие / А. А. Кисиль [и др.]; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: НГМА, 2013. – 115 с.

3 Ясониди, О. Е. Капельное орошение / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

УДК 627.512

Г. А. Сенчуков, Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева, А. А. Кузьмичев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА НА РЕКЕ КАЧЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ

В статье представлены результаты расчета внутригодового распределения стока р. Качи (Республика Крым) по шести методам для средневлажного года, среднего и среднесухого. Сопоставлены и проанализированы результаты по 22 оцениваемым показателям. Выделены методы, которые показали наибольшую сходимость фактической величины годового стока с расчетной, в долях помесечного распределения.

Ключевые слова: метод, объем стока, лимитирующий период, внутригодовое распределение, водосбор.

G. A. Senchukov, T. S. Ponomarenko, A. V. Breeva, A. A. Kuz'michev

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

PREDICTION OF INTRA-ANNUAL RUNOFF DISTRIBUTION ON THE KACHA RIVER WITH VARIOUS CALCULATION METHODS

The results of the calculation of the intra-annual runoff distribution of the river Kacha (Republic of Crimea) by six methods for the medium-humid, the medium and the medium dry years are presented. The results of 22 estimated indicators are compared and analyzed. The methods that have shown the greatest convergence of the actual value of the annual flow with the calculated one, in fractions of monthly distribution are identified.

Keywords: method, runoff volume, limiting period, intra-annual distribution, catchment.

Введение. Всего в Крыму насчитывается 1657 рек и балок (временных водотоков). Общая их длина почти 6000 км. Полноценных рек в Крыму 150.

Реки Крыма имеют смешанное питание с преобладанием дождевого. В годовом цикле рек можно выделить два периода: первый – зимний – с ноября по апрель, когда реки отличаются наибольшей водоносностью и паводки проходят в виде непрерывной серии один за другим, и второй – летне-осенний – с мая по октябрь, когда реки маловодны, причем большая часть их пересыхает, а паводки кратковременны и нерегулярны.

В целом для крымских рек характерен паводочный режим, причем паводки приурочены главным образом к зимне-весеннему периоду, когда проходит до 80–85 % годового стока. Летние паводки редки и чаще всего наблюдаются в июне – июле; иногда при особенно мощных ливнях они по своей высоте превосходят зимние и весенние подъемы воды. Пересыханию подвержены нижние и средние участки рек, берущие начало в горах и выходящие на равнину. В верховьях при обильном родниковом питании большинство рек горной части Крыма сохраняет сток в течение всего года.

Так как бассейны рек развиты в Крыму неравномерно, их можно классифицировать по месту их расположения: реки северных и северо-западных склонов Крымских гор и реки южного берега Крыма.

Реки северо-западных склонов Крымских гор обладают интересной природной особенностью. Все они текут практически параллельно друг другу. Также у них очень схожи потоки. Так, до половины они все текут как типичные потоки гор, а вот в местах, где прорываются известняковые породы предгорий, они образуют ущелья, которые очень сходны с каньонами [1].

Одной из таких рек является третья по длине (64 км) и четвертая по водности (1,69 м³/с) р. Кача. Площадь водосборного бассейна составляет 573 км². Исток р. Качи расположен на Главной гряде, у подножия вершины Крыма Роман-Кош на северном склоне Бабуган-яйлы на высоте около 600 м. Кача впадает в Черное море на западном берегу Крымского полуострова. Река имеет 15 притоков. Все притоки впадают в Качу в верхнем ее течении (за исключением р. Чурук-Су).

Среднемноголетний расход воды Качи у с. Суворово – 1,24 м³/с, что составляет 39 млн м³ в год. Такой значительный объем речного стока позволил построить на Каче два водохранилища: Загорское объемом 27,8 млн м³ и Бахчисарайское объемом 6,89 млн м³. Загорское водохранилище построено в 1980 г. и служит источником водоснабжения для Большой Ялты [1].

Материалы и методы. Для проведения исследований из гидрометеослужбы были получены ряды данных наблюдений помесячных расходов на гидропосту (гп) Баштановка за 30-летний период.

ГП Баштановка расположен в среднем течении р. Качи, в 1,2 км выше головного сооружения Бахчисарайского водохранилища. Прилегающая местность горная. В районе населенного пункта Баштановка река течет между возвышенностями второй гряды Крымских гор. Выше поста производится забор воды с помощью одного водозаборного канала и трех насосных станций.

Расчеты долей внутригодового распределения выполнены по шести методам.

Метод первый (М-1) – конкретного года. Суть данного метода заключается в следующем: по рассчитанному объему годового стока с заданной вероятностью превышения из числа лет многолетнего ряда выбирается год, у которого фактическая величина годового стока совпадает (близка) с расчетной. Объемы стока по месяцам выбранного года будут характеризовать внутригодовое распределение стока. Метод вызывает интерес, поскольку за расчетный принимается фактический год. Однако можно предположить, что вероятность наступления такого года с таким распределением стока по месяцам может быть невысокой.

Метод второй (М-2) – годовых группировок. Из числа лет многолетнего ряда выбираются и группируются годы, у которых фактическая величина годового стока совпадает (близка) с расчетной. Доли помесечного распределения определяются путем вычисления среднемноголетних месячных значений по результатам группировки годовых величин. Данный метод позволяет усреднить значения долей предыдущего метода, тем самым увеличить вероятность именно такого помесечного распределения стока.

Метод третий (М-3) – равнообеспеченных месячных величин. В начале расчета выполнено ранжирование многолетних рядов месячных объемов стока в порядке убывания. Для каждого члена ряда установлены эмпирические обеспеченности. По заданной обеспеченности годового стока определены количественные значения объемов стока каждого месяца, которые были использованы для расчета долей стоков по месяцам от объема годового стока.

Метод четвертый (М-4) – группировки. По заданной вероятности превышения годового стока выявлены группы лет, у которых объемы стока близки к расчетной величине годового стока. Количество таких лет в сумме составляло 3–5. Вычислялись среднеарифметические значения стока по месяцам для этих групп, которые позволили установить доли месячных объемов стока от суммарного за год с заданной вероятностью превышения.

Метод пятый (М-5) – компоновки. Алгоритм решения задачи по распределению стока внутри года приведен в нормативных документах (СП 33-101-2003 [2]) и учебной литературе [3]. На основе анализа многолетних рядов месячных расходов воды (данные гидрометеорологической службы) в году был выделен лимитирующий период (V–X), внутри которого выделен лимитирующий сезон (VI–VIII). По годам эти даты оставались неизменными. Для отмеченных лимитирующих периода и сезона были составлены ряды многолетних значений и путем статистической обработки установлены объемы стока с заданной вероятностью превышения годового стока, т. е. год, лимитирующий период и лимитирующий сезон приняты равнообеспеченными. Объемы стока по месяцам, не вошедшим в отмеченные периоды, определены по остаточному принципу с учетом среднемноголетних долей.

Метод шестой (М-6) – реального года. Так же, как и в предыдущем методе, выделены лимитирующий период и лимитирующий сезон. Установлены объемы стока для периода и сезона. Из многолетнего ряда наблюдений выбирается год, объемы стока которого за лимитирующий период и сезон близки к расчетным. По распределению стока за выбранные годы установлены доли месячных значений от суммарного годового стока.

Результаты и обсуждения. Расчеты были выполнены для средневлажного года (25 %), среднего года (50 %) и среднесухого года (75 %). Для каждого года был выполнен анализ по 22 показателям (таблица 1).

Таблица 1 – Количественные показатели расчетных методов

Показатель	Количественное значение при различных методах расчета																	
	М-1	М-2	М-3	М-4	М-5	М-6	М-1	М-2	М-3	М-4	М-5	М-6	М-1	М-2	М-3	М-4	М-5	М-6
	Средневлажный год, $P = 25\%$						Средний год, $P = 50\%$						Среднесухой год, $P = 75\%$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Объем годового стока фактический, млн м ³	52,54	52,54	52,54	52,54	52,54	52,54	38,67	38,67	38,67	38,67	38,67	38,67	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4
Объем стока за лимитирующий период (V–X), млн м ³	8,35	12,59	17,36	16,43	16,87	17,93	14,14	9,88	11,28	11,42	11,28	11,33	9,78	12,78	12,81	10	6,83	9,99
Объем стока за лимитирующий период в % от объема годового стока	15,88	23,97	33,04	31,27	32,11	34,12	36,56	25,55	29,16	29,53	29,17	29,31	34,45	45,01	45,1	35,21	24,06	35,19
Объем стока за лимитирующий сезон (VI–VIII), млн м ³	3,85	5,79	7,29	7,22	8,83	8,21	6,54	4,03	4,32	4,27	5,01	5,82	1,54	6,28	2,06	2,46	2,15	2,81
Объем стока за лимитирующий сезон в % от объема годового стока	7,33	11,02	13,88	13,75	16,81	15,63	16,92	10,42	11,17	11,04	12,96	15,06	5,42	22,1	7,24	8,65	7,58	9,88
Объем стока за лимитирующий сезон в % от лимитирующего периода	46,13	45,97	42	43,96	52,34	45,8	46,29	40,8	38,29	37,38	44,45	51,36	15,74	49,09	16,05	24,56	31,48	28,08
Объем стока за нелимитирующий период (I–IV, XI, XII), млн м ³	44,2	39,95	35,18	36,11	35,67	34,62	24,53	28,79	27,39	27,25	27,39	27,34	18,62	15,62	15,59	18,4	21,57	18,41
Объем стока за нелимитирующий период в % от объема годового стока	84,12	76,03	66,96	68,73	67,89	65,88	63,44	74,45	70,84	70,47	70,83	70,69	65,55	54,99	54,9	64,79	75,94	64,81
Объем стока за зимний период (I, II, XII), млн м ³	27,17	18,61	16,28	16,71	16,49	10,09	10,03	13,44	12,67	12,58	12,67	8,63	11,09	7,77	7,42	8,87	9,97	10,88

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Объем стока за зимний период в % от годового стока	51,71	35,42	30,98	31,81	31,39	19,2	25,93	34,75	32,77	32,52	32,75	22,32	39,05	27,35	26,14	31,23	35,11	38,32
Объем стока за весенний период (III–V), млн м ³	17,56	21,6	25,21	24,67	21,75	21,49	17,9	19,22	19,42	19,57	16,77	21,89	14,97	12,35	17,73	15,73	13,01	13,84
Объем стока за весенний период в % от годового стока	33,42	41,12	47,99	46,94	41,4	40,9	46,28	49,7	50,22	50,61	43,38	56,61	52,7	43,48	62,41	55,39	45,82	48,71
Объем стока за летний период (VI–VIII), млн м ³	3,85	5,79	7,29	7,22	8,83	8,21	6,54	4,03	4,32	4,27	5,01	5,82	1,54	6,28	2,06	2,46	2,15	2,81
Объем стока за летний период в % от годового стока	7,33	11,02	13,88	13,75	16,81	15,63	16,92	10,42	11,17	11,04	12,96	15,06	5,42	22,1	7,24	8,65	7,58	9,88
Объем стока за осенний период (IX–XI), млн м ³	3,96	6,54	3,76	3,94	5,46	12,76	4,2	1,98	2,26	2,25	4,22	2,32	0,8	2,01	1,2	1,34	3,26	0,88
Объем стока за осенний период в % от годового стока	7,54	12,44	7,15	7,5	10,4	24,28	10,87	5,12	5,84	5,83	10,9	6,01	2,83	7,07	4,21	4,73	11,49	3,09
Максимальный месячный объем, млн м ³	11,77	10	9	8,97	8,09	8,89	6,27	7,67	7,34	7,11	6,21	10,48	8,04	5,79	10,21	6,87	4,89	6,68
Минимальный месячный объем, млн м ³	0,38	1,16	0,79	0,79	0,8	1,51	0,41	0,23	0,44	0,43	0,62	0,4	0,04	0,24	0,24	0,3	0,34	0,25
Максимальный месячный сток, м ³ /с	4,87	3,73	3,47	3,46	3,12	3,42	2,34	2,86	2,83	2,74	2,4	4,04	3	2,16	3,81	2,57	1,89	2,49
Минимальный месячный сток, м ³ /с	0,15	0,45	0,31	0,3	0,31	0,56	0,16	0,09	0,17	0,17	0,31	0,15	0,02	0,09	0,09	0,11	0,13	0,1

Как видно из представленных данных, при использовании всех расчетных методов при различных обеспеченностях наблюдаются небольшие различия в ряде показателей. Наиболее близкие значения по всем показателям имеют методы М-3, М-4, М-5. М-6 также показал довольно близкие значения с вышеуказанными, но ряд показателей, таких как объем стока за зимний период, объем стока за осенний период, минимальный месячный сток и минимальный месячный объем, имеют значительные отличия. М-2 тоже показал довольно близкие значения в показателях, но, в отличие от М-6, количество этих показателей гораздо меньше. М-1 вызвал наибольшие сомнения, так как совпадения по всем оцениваемым показателям оказались минимальны по сравнению с другими расчетными методами. Данные выводы подтверждает форма графиков, представленных на рисунке 1.

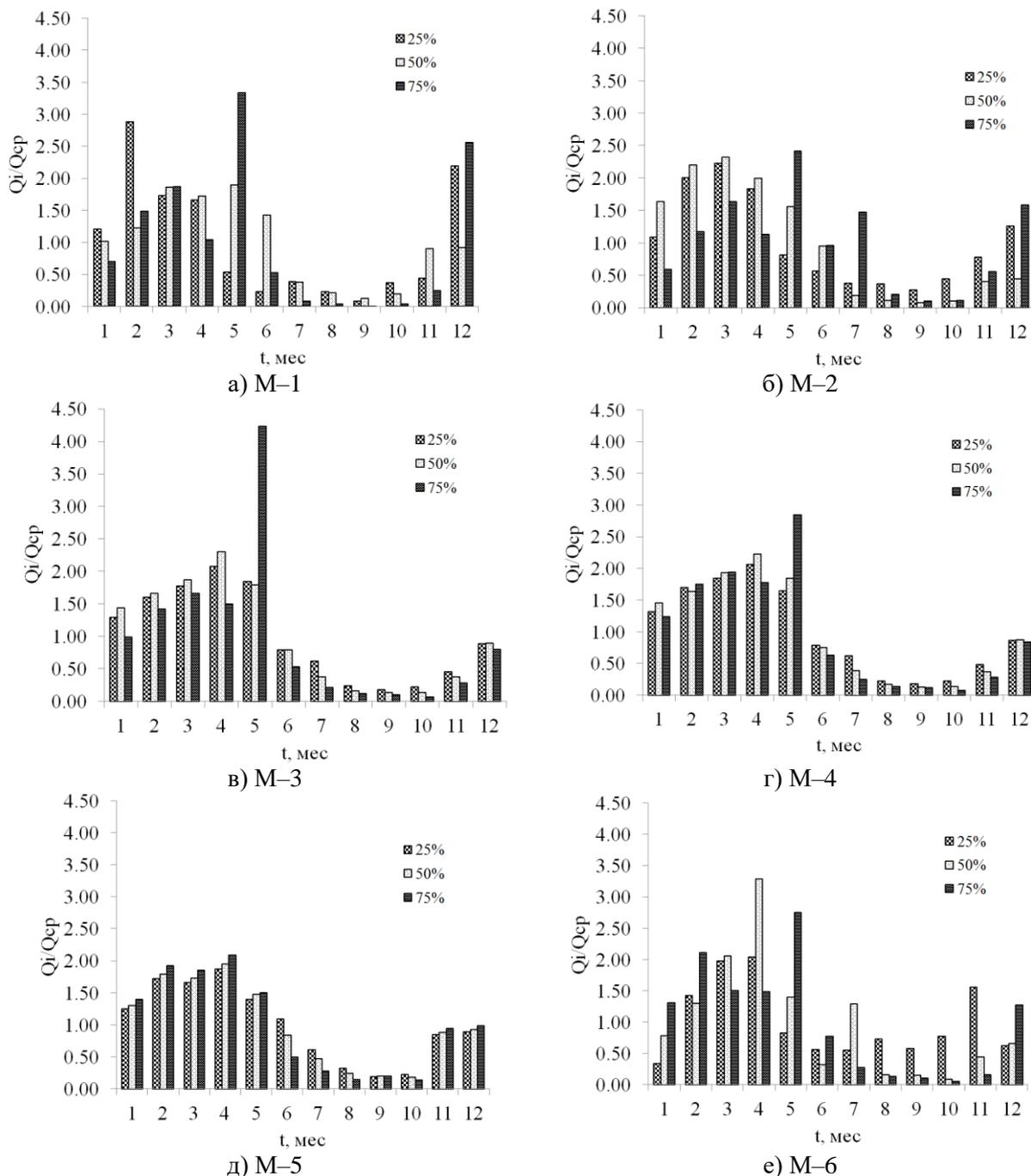


Рисунок 1 – Графики внутригодового распределения (гидрографы) стока при использовании различных расчетных методов при обеспеченности стока 25, 50, 75 %

При установлении внутригодового стока по сезонам особый интерес представляет исследование корреляционной связи между ними и годовым стоком. Коэффициент корреляции между объемами весеннего и годового стока составил 0,8. Уравнения регрессии:

$$W_{гг} = 0,34W_{вв} + 36,34,$$

$$W_{вв} = 1,87W_{гг} - 61,55,$$

где $W_{гг}$ – объем годового стока;

$W_{вв}$ – объем весеннего стока.

Выводы

1 Анализ результатов исследований свидетельствует о существенной синхронности в распределении внутригодового стока р. Качи при использовании рассмотренных методов. Наибольшую сходимость результатов исследований при сравнении гидрографов стока имеют методы, предусматривающие компоновку и группировку (М–2, М–3, М–4, М–5).

2 Поскольку речь идет о прогнозных решениях, ни один из методов нельзя признать универсальным. Однако в нормативных документах для решения практических задач рекомендуется метод компоновки (в нашем случае М–5). Предположим, что это придает некоторую универсальность при сравнении результатов для различных водных объектов.

3 Установлено, что между объемами стока за весенний и годовой периоды существует корреляционная связь, коэффициент корреляции равен 0,8. Приведенные уравнения разности позволяют прогнозировать по объему весеннего стока годовой и наоборот.

Список использованных источников

1 Река Кача [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newcrimea.com.ua/krim-chydesniy-ugolok/vodnyie-bogatstva-kryima/reki-kryima/>, 2018.

2 Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003: утв. Госстроем России 26.12.03. – М.: Госстрой России, 2004. – 85 с.

3 Железняков, Г. В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г. В. Железняков, Т. А. Неговская, Е. Е. Овчаров; под ред. Г. В. Железнякова. – М.: Колос, 1984. – 205 с.

УДК 631.58:631.347

А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СПОСОБ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Цель исследований – определить направления совершенствования элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур, которые способствовали бы ресурсосбережению и повышению плодородия почв аридной зоны юга России, и разработать устройство и метод, которые позволят соблюдать основные принципы прецизионного земледелия, автоматически осуществлять технологический процесс прецизионного орошения и внесения химмелиорантов, пестицидов, органических и минеральных удобрений в долговременном режиме работы дождевальной машины.

Ключевые слова: технологии возделывания, сельскохозяйственные культуры, совершенствование, прецизионное земледелие, орошение, устройство.

A. N. Babichev, V. A. Monastyrskiy, V. Ig. Olgarenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

METHOD OF IMPROVING THE ELEMENTS OF AGRICULTURAL CROPS CULTIVATION TECHNOLOGY

The purpose of the research is to determine the directions for improving the crop cultivation technology elements that would contribute to resource conservation and soil fertility in the arid zone of southern Russia and to develop the equipment and method that will allow to follow the basic principles of precision farming, automatically carry out the technological process of precision irrigation and introduction of chemical ameliorants, pesticides, organic and mineral fertilizers in the long-term operation of the sprinkler.

Key words: cultivation technologies, agricultural crops, improvement, precision farming, irrigation, equipment.

Введение. При выборе направления совершенствования элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях, которые способствовали бы ресурсосбережению и повышению плодородия почв аридной зоны юга России, был использован функционально-стоимостной анализ. В результате выполнен поиск путей снижения затрат при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях орошения и обосновано направление проведения исследований [1].

Блок-схема структуры значимости элементов в структуре затрат на технологии возделывания сельскохозяйственных культур приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Значимость элементов в структуре затрат на технологию возделывания сельскохозяйственных культур

Как видно из приведенных на рисунке 1 данных, в структуре затрат на технологию возделывания сельскохозяйственных культур наибольшие показатели отмечены в системе удобрений, орошении и уходных работах. Поэтому эти направления и выбраны для совершенствования элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях.

Результаты и обсуждение. В настоящее время как в России, так и за рубежом широко распространяется точное земледелие, которое позволяет дифференцировать нормы внесения поливной воды, удобрений и пестицидов в зависимости от потребности сельскохозяйственных культур. Точное земледелие непосредственно связано с дистанционным зондированием.

Основа точного земледелия – постоянный мониторинг содержания питательных веществ, водно-физических свойств почвы, степени поражения растений болезнями и вредителями и засорения посевов на каждом микросегменте поля.

Разрабатываемая технология прецизионного земледелия предусматривает проведение поливов, внесение минеральных и органических удобрений и обработку почвы пестицидами при учете каждого участка поля, чего при применении стандартных технологий добиться невозможно. Большое значение в последнее время в системах точного земледелия приобретает возможность дифференцировать нормы полива сельскохозяйственных культур, так как дефицит поливной влаги обуславливает прямое снижение урожайности, а ее избыток – деградацию почвы и интенсификацию эрозии.

Производители дождевальных машин стремятся к созданию и внедрению в сельскохозяйственное производство разработок, допускающих дифференциацию по-

ливной нормы в режиме постоянного времени, что в свою очередь даст возможность удовлетворить потребность культур во влаге на каждом микроучастке поля, обеспечит снижение поливных и оросительных норм при одновременном сохранении плодородия почв.

Развитию теории и практики точного земледелия послужила потребность в увеличении эффективности сельскохозяйственного производства путем учета вариабельности характеристик почвы и растений в пределах каждого сегмента возделываемого поля.

Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов на орошаемых землях предусматривает широкое применение геоинформационных систем и данных, полученных с помощью дистанционного зондирования Земли. Такие системы рассматриваются как инструментальный, необходимый для точечного применения удобрений и пестицидов непосредственно на каждом участке орошаемого поля.

Преимущество данной системы состоит в том, что она позволяет землепользователям вести сельскохозяйственное производство на принципах экологического баланса, ориентирована на экономию ресурсов, дает возможность получать необходимую урожайность вместе с обеспечением защиты окружающей среды от лишних антропогенных нагрузок и загрязнений.

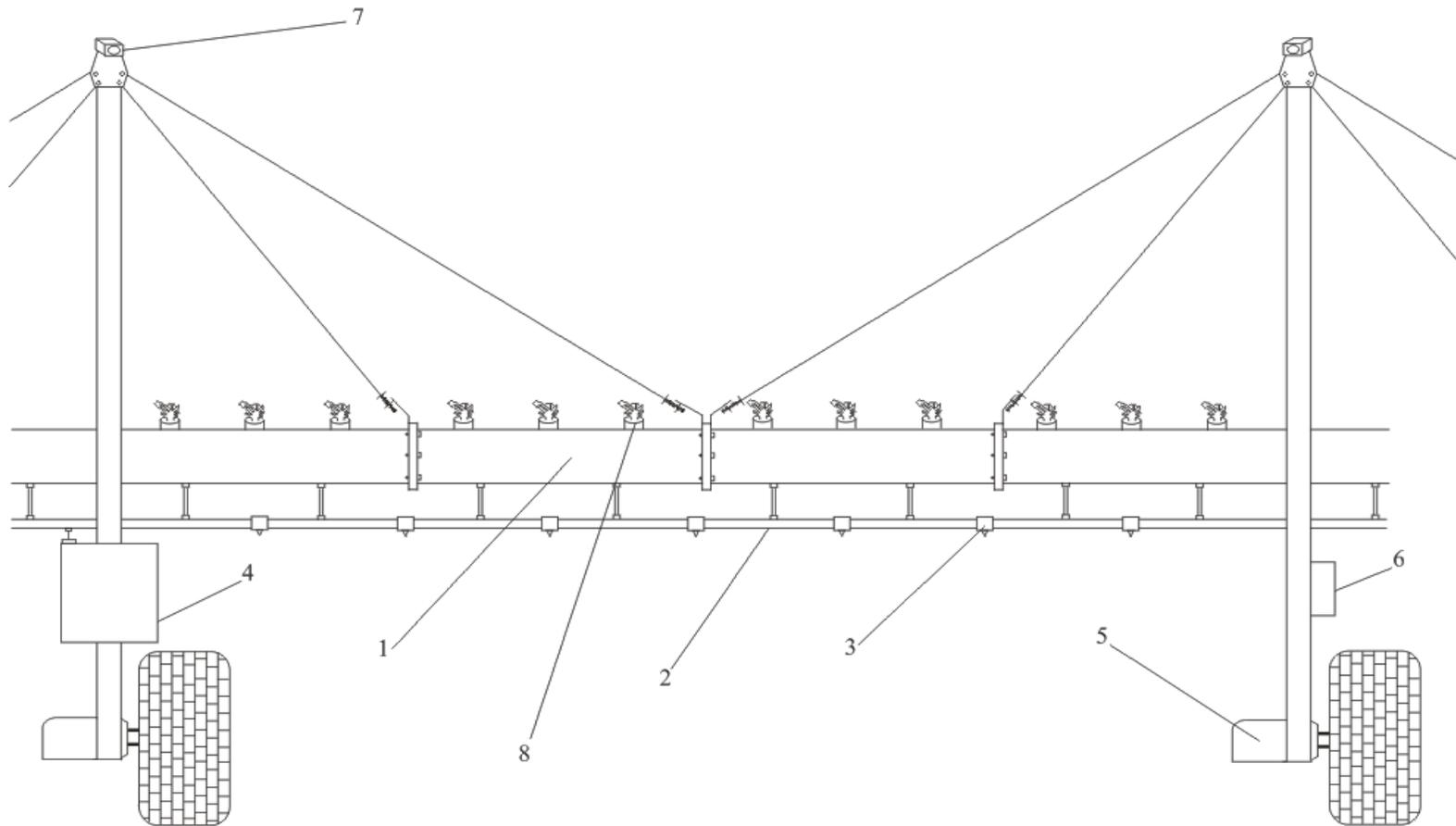
Для системы использования удобрений и пестицидов на фоне орошения, базирующейся на учете характеристик каждого микросегмента возделываемого поля, необходимы актуальные показатели динамики урожайности, состава питательных элементов, типа и влажности почвы вместе с информацией о популяции вредителей и болезней, состоянии засоренности поля и точная их привязка к конкретному участку поля.

Осуществление технологии прецизионного орошения стало возможным с развитием космической аппаратуры, малой и беспилотной авиации и технологий дистанционного зондирования. Использование этих современных средств мониторинга позволяет получать данные о наличии в почве влаги, питательных веществ, определять количество сорняков в посевах сельскохозяйственных культур, а также позволяет осуществлять разбивку агроценоза на отдельные малые сегменты с различными характеристиками. В дальнейшем с использованием техники для прецизионного земледелия происходит выравнивание влажности почвы, содержания питательных веществ по сегментам поля и т. п., что обеспечивает получение более высокой урожайности при одновременной экономии водных и других ресурсов [2–7].

Применение методики дистанционного зондирования для полива с использованием космической гиперспектральной аппаратуры имеет существенные ограничения, такие как невозможность осуществлять контроль с необходимой периодичностью (из-за погодных условий получение информации возможно только в 40–50 % случаев). В связи с этим необходима разработка и адаптация наземной гиперспектральной аппаратуры для определения влажности почвы и растений, наличия питательных веществ, сорной растительности, наличия болезней и вредителей в течение вегетационного периода сельскохозяйственных культур с целью корректировки технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Предлагаемую аппаратуру возможно использовать в составе дождевальной машины [8, 9].

Данные, полученные с наземной гиперспектральной камеры в составе дождевальной машины, будут полезны как для задач сельского хозяйства, экологии, так и для задач дистанционного зондирования Земли.

Кроме этого, совершенствование современного сельскохозяйственного производства невозможно без применения методов и средств, используемых в прецизионном орошении и точном земледелии. Исходя из вышесказанного, нами предложен метод совершенствования оросительных мелиораций, систем удобрений и борьбы с вредителями, болезнями и сорной растительностью и устройство для комплектации дождевальной машины, позволяющее дифференцированно вносить оросительную воду, удобрения и пестициды. Схема данного устройства приведена на рисунке 2.



1 – основной трубопровод; 2 – трубопровод для внесения удобрений; 3 – седелка с распылителем; 4 – емкость с удобрениями; 5 – мотор-редуктор; 6 – блок управления; 7 – гиперспектральные камеры; 8 – секторные дождеватели с электромагнитными клапанами-регуляторами

Рисунок 2 – Схема устройства широкозахватной дождевальной машины для дифференцированного внесения оросительной воды, удобрений и пестицидов

Принцип работы данного устройства заключается в следующем: данные, полученные с использованием гиперспектральных камер 7, о наличии в почве влаги и питательных веществ, поражения вредителями и болезнями передаются на блок управления 6, где происходит их обработка, определение в режиме online скорости движения дождевальной машины за счет мотор-редукторов 5, оросительных норм или доз внесения удобрений или пестицидов на каждый сегмент орошаемого участка и дается команда на секторные дождеватели с электромагнитными клапанами-регуляторами 8 на выдачу рассчитанной нормы полива из основного трубопровода 1 или распылители 3 на внесение расчетных доз удобрений или пестицидов, к которым посредством трубопровода для внесения удобрений и пестицидов 2 из емкости с удобрениями 4 поступают питательные вещества.

Выводы. Таким образом, представленная схема устройства широкозахватной дождевальной машины нового поколения позволит соблюдать основные принципы прецизионного земледелия, что даст возможность автоматически осуществлять технологический процесс прецизионного орошения и внесения химмелиорантов, пестицидов, органических и минеральных удобрений в долговременном режиме работы дождевальной машины.

Разработка наземной гиперспектральной аппаратуры в составе дождевальной машины является перспективной и востребованной в настоящее время и требует проведения дальнейших исследований по калибровке рассчитываемых вегетационных индексов в соответствии с результатами замеров влагосодержания в почве, изучения различных культур, их восприимчивости к поливу или засухе, фаз вегетации, учета влияния влажности атмосферы на спектр излучения солнца, учета азимута и высоты солнца над горизонтом, угла сканирования и высоты камеры в процессе измерения и многих других факторов, способных потенциально влиять на результаты измерения.

Список использованных источников

1 Санников, В. П. Функционально-стоимостной анализ в мелиорации / В. П. Санников, В. Т. Савченко, Н. И. Тупикин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2000. – 184 с.

2 Ольгаренко, В. И. Оценка эффективности использования отечественной дождевальной техники / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. Иг. Ольгаренко // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2015. – Т. 1. – С. 8–14.

3 Бабичев, А. Н. Оперативное управление режимом орошения при программировании урожайности сельскохозяйственных культур / А. Н. Бабичев, Г. Т. Балакай, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 83–96. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=491&id=498>.

4 Пат. 2631896 Российская Федерация, МПК⁶ А 01 G 25/09. Многоопорная дождевальная машина для прецизионного орошения / Щедрин В. Н., Васильев С. М., Чураев А. А., Снопич Ю. Ф., Куприянов А. А., Завалюев В. Э.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2016104019; заявл. 08.02.16; опубл. 28.09.17, Бюл. № 28. – 9 с.

5 Монастырский, В. А. Алгоритм планирования и программа расчета доз удобрений для точного земледелия / В. А. Монастырский, А. Н. Бабичев, В. И. Ольгаренко // Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Персиановский: ДонГАУ, 2018. – С. 48–52.

6 Васильев, С. М. Мониторинг орошаемого агроландшафта с учетом калибровки данных дистанционного зондирования в рамках геоинформационных технологий / С. М. Васильев, Л. А. Митяева // Политематический сетевой электронный научный

журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2017. – № 131. – С. 216–231. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/23.pdf>.

7 Ольгаренко, В. И. Научная концепция и алгоритм реализации элементов прецизионного земледелия в условиях оросительной сельскохозяйственной мелиорации / В. И. Ольгаренко, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 160–169. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec536-field6.pdf.

8 Наземная гиперспектральная аппаратура для измерения вегетативных индексов в задачах прецизионного орошения сельскохозяйственных культур / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, А. Н. Бабичев, Р. В. Скиданов, В. В. Подлипов, Ю. Н. Журавель // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 1–14. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec527-field6.pdf.

9 Перспективы использования наземной гиперспектральной аппаратуры для прецизионного орошения сельскохозяйственных культур / А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко, В. В. Подлипов // Геоинформационные технологии в сельском хозяйстве, природообустройстве и защите окружающей среды: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2017. – С. 14–18.

УДК 630*4

М. В. Власов, Г. Т. Балакай

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ТЕКУЩАЯ ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЙ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Целью исследований являлось прогнозирование будущего состояния защитных лесных насаждений в южных районах Ростовской области на основе изучения их текущего состояния. Проведен анализ снимков дистанционного зондирования защитных лесных насаждений, затем в полевых условиях обследовано более 35 объектов защитных лесных насаждений. Установлено, что порядка 50 % защитных лесных насаждений подлежат восстановлению и около 25 % реконструкции. В связи с этим необходима разработка единых нормативных документов по расчету стоимости восстановления защитных лесных насаждений, предназначенных для обеспечения защиты земель сельскохозяйственного назначения от негативного воздействия.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения, исследование состояния защитных лесных насаждений, прогнозирование состояния защитных лесных насаждений.

M. V. Vlasov, G. T. Balakai

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

CURRENT ASSESSMENT AND PREDICTION OF THE PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS STATE IN THE SOUTHERN AREAS OF ROSTOV REGION

The aim of the research was to predict the future state of protective forest plantations in the southern districts of Rostov Region based on the study of their current state. The analysis of remote sensing images of protective forest plantations was made, then more than 35 objects of protective forest plantations were investigated in the field. It was found that about 50 % of protective forest plantations are subject to restoration and about 25 % are subject to reconstruction. In this regard, the uniform regulatory documents development on the cost cal-

cultation of the restoring protective forest plantations designed to ensure the protection of agricultural land from the negative impact are necessary.

Key words: protective forest plantations, study of the protective forest plantations state, prediction of the protective forest plantations state.

В настоящее время в мелиоративной отрасли АПК России еще не разработаны и не утверждены в установленном порядке единые нормативные документы по расчету стоимости восстановления защитных лесных насаждений (ЗЛН), предназначенных для обеспечения защиты земель сельскохозяйственного назначения от негативного воздействия. В связи с этим на многих ЗЛН не проводились необходимые мероприятия по уходу, многие полезащитные насаждения подверглись повреждению пожарами при выжигании стерни, рубками древесины на частные нужды, захламлению коммунальными отходами и стволами деревьев, павшими от старости, снеголома и других причин. В целях сохранения и восстановления функций ЗЛН большинство из них и площади земель под ними переданы в собственность субъектов Российской Федерации.

Целью настоящей работы на основе проведенных полевых исследований состояния ЗЛН является оценка текущего состояния и прогнозирование состояния ЗЛН в южных районах Ростовской области.

Исследования и анализ состояний ЗЛН проводились в соответствии с положениями Приказа МПР от 16.09.2016 № 480 «Об утверждении порядка проведения лесопатологических обследований и формы актов лесопатологического обследования» [1] на сельхозугодьях ОАО «Аксайская Нива» Аксайского района Ростовской области в 2018 г. Для выбора объектов исследования сначала были проанализированы климат Ростовской области [2], а для выбора репрезентативных участков поврежденных ЗЛН – снимки дистанционного зондирования (рисунок 1), затем в полевых условиях было обследовано более 35 объектов ЗЛН. После полевого визуального осмотра этих участков из них было отобрано 10 делянок (выделов) ЗЛН, соответствующих требованиям исследований по возрасту, породному составу и способам повреждения (таблица 1). Выбранные делянки отмечены на рисунке 1 пикетами от ПК 1 до ПК 10.

Таблица 1 – Участки ЗЛН, на которых проводилось визуальное обследование

Возраст ЗЛН	Видовой состав (порода деревьев)	№ пикета на рисунке 1
1 Возраст деревьев	1.1.1 Робиния лжеакация	ПК 1
1.1 Возраст деревьев 25–30 лет	1.1.2 Вяз приземистый	ПК 2
1.2 Возраст деревьев 50–55 лет	1.2.1 Робиния лжеакация	ПК 3
	1.2.2 Вяз приземистый	ПК 4
1.3 Возраст деревьев более 55 лет	1.3.1 Робиния лжеакация	ПК 5
	1.3.2 Вяз приземистый	ПК 6
2 Повреждения от пожаров при выжигании стерни	2.1 Робиния лжеакация	ПК 7
	2.2 Вяз приземистый	ПК 8
3 Механические повреждения при строительстве дороги	3.1 Робиния лжеакация	ПК 9
	3.2 Вяз приземистый	ПК 10

Визуальные исследования состояния ЗЛН проводились на площади делянок 0,1 га (1000 м², средний размер 10 × 100 м) в трехкратной повторности. Отмечались следующие показатели: наличие таксационных характеристик ЗЛН, нарушенная и утраченная устойчивость насаждений, количество ослабленных деревьев, усыхание деревьев, очаги вредных организмов, загрязнение отходами и выбросами (промышленными и бытовыми).



Рисунок 1 – Выбор репрезентативных участков поврежденных 3ЛН для полевых исследований состояния и необходимости проведения восстановительных работ

Визуальное исследование изучаемых участков на пикетах позволило выявить влияние различных факторов на ЗЛН и произвести оценку по показателям нарушенной и утраченной устойчивости насаждений для выполнения своих функций по охране почвы от эрозии и дефляции. Полученные данные экспертной визуальной оценки, проведенной в соответствии с методикой лесопатологических обследований сотрудниками института в составе Г. Т. Балакая, Н. М. Макаровой, М. В. Власова, Е. В. Полуэктова, А. В. Шевченко, внесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Доли площадей ЗЛН с нарушенной и утраченной устойчивостью

Фактор влияния на состояние ЗЛН (фактор А)	Видовой состав (порода деревьев) (фактор Б)	Пикет	Площадь учетной делянки 1000 м ² (0,1 га)	
			Нарушенная устойчивость, в % от всей площади	Утраченная устойчивость, в % от всей площади
1 Возраст деревьев	1.1.1 Робиния лжеакация	ПК 1	–	–
1.1 Возраст деревьев 25–30 лет	1.1.2 Вяз приземистый	ПК 2	–	–
1.2 Возраст деревьев 50–55 лет	1.2.1 Робиния лжеакация	ПК 3	25	20
	1.2.2 Вяз приземистый	ПК 4	40	25
1.3 Возраст деревьев более 55 лет	1.3.1 Робиния лжеакация	ПК 5	80	50
	1.3.2 Вяз приземистый	ПК 6	90	72
2 Повреждения от пожаров при выжигании стерни	2.1 Робиния лжеакация	ПК 7	100	100
	2.2 Вяз приземистый	ПК 8	95	95
3 Механические повреждения при строительстве дороги	3.1 Робиния лжеакация	ПК 9	50	45
	3.2 Вяз приземистый	ПК 10	35	20

Данные таблицы 2 показывают, что наиболее устойчивы ЗЛН возрастом до 25–30 лет, как с основным составом пород деревьев робиния лжеакация, так и с вязом приземистым (ПК 1, ПК 2). Нарушенная и утраченная устойчивость в насаждениях отсутствует. Работы по восстановлению ЗЛН не требуются.

В возрасте 50–55 лет насаждения частично имеют нарушенную устойчивость (в большей степени у вяза (40 % на ПК 4), нежели у робинии лжеакация (25 % на ПК 3)), а утраченная устойчивость составляет соответственно 20 и 25 %. Работы по восстановлению ЗЛН заключаются в рубке ухода, в т. ч. поросли деревьев и кустарников за пределами границ ЗЛН.

У насаждений вяза и робинии лжеакация возрастом более 55 лет (64 года) в точке ПК 5 эти показатели выше, в т. ч. нарушенная устойчивость – 80 и 90 %, а также утраченная устойчивость – 50 и 72 % соответственно. Такие участки требуют полной реконструкции ЗЛН, в т. ч. выкорчевки старых деревьев и посадки новых насаждений.

Наибольший вред ЗЛН наносят пожары. Так, в точке ПК 7 рисунка 1 видны следы сгоревших насаждений робинии лжеакация, которые в 2016 г. были вспаханы, и земли переведены в пашню. В точке ПК 8 видны также оставшиеся деревья после пожаров, их устойчивость нарушена на 95 %. На таких участках требуется реконструкция: выкорчевка оставшихся деревьев и создание новых ЗЛН.

При механических повреждениях ЗЛН наблюдается как полное уничтожение деревьев (ПК 9) (площадью 700 м²), так и частичное (ПК 10). В обоих случаях требуется реконструкция ЗЛН.

На основании визуального обследования и в соответствии с методикой проведения лесопатологических обследований был подготовлен прогноз ожидаемых процессов для различных изучаемых вариантов (ПК 1, ..., ПК 10) (таблица 3).

Таблица 3 – Прогнозируемые процессы в обследованных ЗЛН

Фактор влияния на состояние ЗЛН (фактор А)	Видовой состав (порода деревьев) (фактор Б)	Пикет	Прогноз процесса		
			Ослабление лесных насаждений	Усыхание ЗЛН различной степени	Развитие очагов вредных организмов
1 Возраст деревьев	1.1.1 Робиния лжеакация	ПК 1	–	–	–
1.1 Возраст деревьев 25–30 лет	1.1.2 Вяз приземистый	ПК 2	–	–	–
1.2 Возраст деревьев 50–55 лет	1.2.1 Робиния лжеакация	ПК 3	+	+	–
	1.2.2 Вяз приземистый	ПК 4	+	+	–
1.3 Возраст деревьев более 55 лет	1.3.1 Робиния лжеакация	ПК 5	+	+	+
	1.3.2 Вяз приземистый	ПК 6	+	+	+
2 Повреждения от пожаров при выжигании стерни	2.1 Робиния лжеакация	ПК 7	+	+	+
	2.2 Вяз приземистый	ПК 8	+	+	+
3 Повреждения механические при строительстве дороги	3.1 Робиния лжеакация	ПК 9	+	+	+
	3.2 Вяз приземистый	ПК 10	+	+	+

Примечание – По визуальному наблюдению прогнозируется: «+» – положительный прогноз; «–» – отрицательный прогноз.

Из данных таблицы 3 видно, что находятся в хорошем состоянии ЗЛН с возрастом деревьев до 25–30 лет (ПК 1, ПК 2). В дальнейшем, с возрастом до 50–55 лет (ПК 3, ПК 4) наблюдаются процессы ослабления и усыхания отдельных деревьев, а после 55 лет (ПК 5, ПК 6) ослабленные и усохшие деревья становятся очагами развития вредных организмов, и такие ЗЛН требуют восстановления (реконструкции).

По прогнозу, ЗЛН, подвергшиеся пожарам (ПК 7, ПК 8) или механическим повреждениям (ПК 9, ПК 10), также требуют полного восстановления.

Выводы:

- визуальное обследование состояния ЗЛН позволяет выбрать репрезентативные участки с характерными повреждениями, которые можно охарактеризовать предварительно. При необходимости следует проводить инструментальные исследования для сравнения и уточнения данных, полученных при визуальном исследовании, и принятия соответствующих решений;

- наиболее устойчивы ЗЛН возрастом до 25–30 лет, как с основным составом пород деревьев робиния лжеакация, так и с вязом приземистым (ПК 1, ПК 2). Нарушенная и утраченная устойчивость в насаждениях отсутствует. На таких участках восстановление ЗЛН не требуется;

- насаждения в возрасте 50–55 лет имеют частично нарушенную устойчивость (в большей степени у вяза (40 % на ПК 4), нежели у робинии лжеакация (25 % на ПК 3)), а утраченная устойчивость несколько ниже у вяза, чем у робинии лжеакация (устойчивость утрачена соответственно на 20 и 25 %). Работы по восстановлению ЗЛН заключаются в рубках ухода, в т. ч. поросли деревьев и кустарников за пределами границ ЗЛН;

- у деревьев с возрастом 64 года в точке ПК 5 отмечена нарушенная устойчивость на 80 % у робинии лжеакация и на 90 % у вяза, а утраченная способность – 50 и 72 % соответственно. Такие участки требуют полной реконструкции ЗЛН, в т. ч. выкорчевки старых деревьев и посадки новых насаждений, т. е. полного восстановления ЗЛН;

- наибольший вред ЗЛН наносят пожары. На участке ПК 7 (рисунок 1) при пожарах пострадало большинство деревьев ЗЛН, так как горящая листовая подстилка об-

жигает корневую шейку деревьев и подсушивает луб, после чего деревья чаще всего усыхают. Так, с ожогами корневой шейки встречалось 59 % деревьев робинии лжеакации на ПК 7 и 68 % вяза на ПК 8. Такие участки требуют полной реконструкции ЗЛН, в т. ч. выкорчевки старых деревьев и посадки новых насаждений;

- при строительстве дорог также наблюдаются повреждения ЗЛН различной степени. Наблюдения показали, что на исследованных участках поврежденных деревьев было 86 % на ПК 10 и 100 % на ПК 9. На таких участках требуется выкорчевка оставшихся деревьев и восстановление ЗЛН;

- в результате обследования состояния ЗЛН установлено, что на юге Ростовской области порядка 50 % ЗЛН подлежат восстановлению и около 25 % реконструкции, поэтому необходимо разработать и утвердить в установленном порядке единые нормативные документы по расчету стоимости восстановления ЗЛН, предназначенных для обеспечения защиты земель сельскохозяйственного назначения от негативного воздействия.

Список использованных источников

1 Об утверждении порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования: Приказ Минприроды России от 16 сентября 2016 г. № 480: по состоянию на 22 августа 2017 г. // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

2 Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области / Ю. П. Хрусталева [и др.]. – Ростов н/Д.: Батайское кн. изд-во, 2002. – 184 с.

УДК 634.93

О. В. Рулева, Н. Н. Овечко

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация

ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ РАЙОНОВ ЗАВОЛЖЬЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В статье рассматривается почвенный покров, литологические и гидрологические условия Нижневолжского региона в степной, сухостепной и полупустынной климатических областях в зоне темно-каштановых, каштановых и светло-каштановых почв и их мелиоративное использование для устойчивого наращивания биопродуктивности сельхозкультур. Приводится сравнительный анализ соотношения процессов поступления органических остатков, гумификации и минерализации по типам почв. Дается характеристика предрасположенности различных зон: сухостепной, степной и полупустынной – к аккумуляции гипса, наличию легкорастворимых солей и проявлению солонцеватости для типов почв. Проявление солонцеватости внутри подзон определяется гранулометрическим составом и рельефом местности. Проведен анализ развития мелиорации в Волгоградском Заволжье (в Николаевском районе). Дается информация о динамике мелиоративного состояния земель регулярного орошения в Волгоградском Заволжье за 10-летний период начиная с 1995 г. и состоянии мелиоративных систем на современном этапе. Рассматриваются причины вторичного засоления на Кисловской и Заволжской оросительных системах, одной из которых является отсутствие биологического дренажа, вследствие этого – подъем минерализованных сульфатно- и хлоридно-натриевых грунтовых вод (3 г/л). Решение этих проблем связано с агролесомелиоративным обустройством территории, возвращением орошения с учетом допущенных ошибок.

Ключевые слова: агролесомелиоративные районы, оросительные системы, почвенный покров, литологические и гидрологические условия, лесные полосы, биопродуктивность сельскохозяйственных культур.

O. V. Ruleva, N. N. Ovechko

Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

SOIL-RECLAMATIVE PECULIARITIES OF RECLAMATIVE AFFORESTATION AREA OF VOLGA REGION AND WAYS OF IMPROVING THE BIOPRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL CROPS

The soil cover, lithological and hydrological conditions of the Lower Volga region in the steppe, dry steppe and semi-desert climatic areas in the zone of dark chestnut, chestnut and light chestnut soils and their reclamative use for sustainable growth of agricultural crops bioproductivity are discussed. A comparative analysis of the ratio of the processes of organic residues, humification and mineralization by soil types is given. The characteristic of the predisposition of various zones: dry steppe, steppe and semi-desert – to accumulation of gypsum, the presence of readily soluble salts and the manifestation of alkalinity for soil types is given. The manifestation of alkalinity within subzones is determined by the grain size distribution and terrain. The analysis of the land reclamation development of in the Volgograd TransVolga region (in the Nikolaevskiy district) was carried out. The information on the dynamics of the reclamation state of the land of regular irrigation in the Volgograd TransVolga region over a 10-year period beginning in 1995 and the state of the reclamation systems at the present stage is provided. The causes of secondary salinization in the Kislovskaya and Zavolzhsкая irrigation systems are considered, one of which is the absence of biological drainage, as a result of which the rise of saline sulphate and sodium chloride groundwater (3 g/l) is raised. The solution of these problems is connected with the agroforestry and reclamation of the territory, the return of irrigation, taking into account the mistakes made.

Key words: agroforestry reclamation areas, irrigation systems, soil cover, lithological and hydrological conditions, forest belts, biological production of agricultural crops.

Введение. В 90-х гг. XX в. в СССР в соответствии с Постановлением ЦК КПСС, Совмина СССР от 23.10.1984 № 1082 (с изменениями и дополнениями от 13.01.1989) «О долговременной программе мелиорации, повышении эффективности использования мелиорированных земель в целях устойчивого наращивания продовольственного фонда страны» были разработаны мероприятия по широкому развитию мелиорации земель в СССР. С целью ослабления воздействия на земледелие неблагоприятных природно-климатических условий государством была проделана большая работа по вводу в эксплуатацию орошаемых земель для увеличения производства сельскохозяйственной продукции. В конце 1990-х гг. мелиоративный комплекс Волгоградской области пришел в упадок и сократился с 352 до 31 тыс. га.

На 1 января 2016 г. в Волгоградской области находится 233,4 тыс. га орошаемых площадей, из них постоянно орошаются 178,8 тыс. га, причем лиманное орошение составляет 54,6 тыс. га. Мелиоративные системы региона относятся к федеральной, областной собственности, а часть из них принадлежит сельхозтоваропроизводителям.

Материал и методы. Объектами исследования Волгоградского Заволжья являются Кисловская и Заволжская оросительные системы Николаевского района, расположенные в северо-восточной части Волгоградской области. На орошаемых землях ранее создано около 350 га насаждений, которые в основном состоят из тополей (осоко́ря, гибрида тополя пирамидального и осоко́ря и др.), большая часть которых представлена законченными системами. На землях ООО «Лидер» имеется 70 га лесных насаждений,

включая посадки вдоль дорог, магистральных каналов, по границам орошаемых участков, возраст насаждений 20–40 лет [1].

Площадь сельхозугодий, обслуживаемая Заволжской оросительной системой, в 2013–2015 гг. составляла 12,907 тыс. га, фактически поливается всего 5,5 тыс. га. Площадь сельхозугодий, обслуживаемая Кисловской оросительной системой, в 2013–2015 гг. составила 7,5 тыс. га, фактически поливается не более 1 тыс. га. Кроме того, имеет место лиманное орошение на 6,1 тыс. га.

В соответствии с плановыми объемами программы развития мелиорации в 2015 г. в области велось строительство (реконструкция) мелиоративных систем и гидротехнических сооружений на площади 2,9 тыс. га (в т. ч. строительство – 1,3 тыс. га, реконструкция – 1,6 тыс. га), в Николаевском районе в ООО «Лидер» – на 134 га.

Результаты и обсуждение. Волгоградское Заволжье является благоприятным регионом для выращивания сельскохозяйственной продукции, но при наличии тепловых (сумма температур выше 10 °С составляет 3,0–3,4 тыс. °С) и световых ($\Phi AP = 17 \cdot 10^9$ кДж/га) ресурсов развитие сельхозпроизводства сдерживается недостаточным количеством выпадающих осадков, частой повторяемостью засух и суховеев. Годовая сумма осадков уменьшается с северо-запада на юго-восток от 400 до 250 мм и характеризуется большой изменчивостью по годам. Недостаток увлажнения можно восполнить орошением в комплексе с лесной мелиорацией.

Для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур на исследуемой территории необходимо знать особенности морфолитологического типа территории (рельефа), с которым взаимосвязан комплекс природных факторов (почвенный покров, литологические и гидрологические условия).

В степной и полупустынной биоклиматических областях суббореального пояса европейской части РФ расположен Нижневолжский регион. Почвы с повышенной гумусностью встречаются в степной и сухостепной областях региона исследований в зоне темно-каштановых и каштановых почв в пределах Сыртово-Заволжской провинции. Исследования также охватывают полупустынную область с зоной светло-каштановых почв в Прикаспийской провинции [2, 3].

Сухостепная зона тянется от Восточного Предкавказья до Алтая. Биомасса сухих степей меньше, чем в черноземной зоне, из-за более сухого климата и соответствует 100 ц/га. Основная ее часть приходится на корни (85 %). С опадом ежегодно поступает в почву около 160 кг/га азота и зольных элементов [4].

В зоне сухой степи встречаются как темно-каштановые, так и каштановые почвы, являющиеся подтипами типа каштановых почв. В каштановых почвах по сравнению с черноземами содержится меньше гумуса в связи с недостаточным увлажнением в зоне, что обуславливает уменьшение наземной биомассы, а это способствует сокращению мощности гумусового горизонта. Карбонатный горизонт у темно-каштановых почв располагается, как правило, ближе к поверхности, чем в черноземах, и обычно начинается с глубины 30–40 см, легкорастворимые соли выносятся из корнеобитаемого слоя. Горизонт аккумуляции гипса находится ниже карбонатного горизонта и в определенных условиях может отсутствовать. На глубине 150–200 см каштановые почвы, подстилаемые материнскими породами, часто содержат легкорастворимые соли, которые способствуют проявлению черт солонцеватости, обусловленных периодическим (сухие сезоны) капиллярным подтягиванием кверху щелочных почвенных растворов и биологическим оборотом основания. Наличие признаков солонцеватости для всего типа каштановых почв необязательно. Степень солонцеватости возрастает с севера на юг и наиболее четко выражена в светло-каштановых почвах полупустыни. Внутри подзоны на проявление солонцеватости влияет кроме гранулометрического состава почвы рельеф местности.

Сыртово-Заволжская провинция темно-каштановых и каштановых почв с повы-

шенной гумусностью проходит от Волги на западе до Уральских гор на востоке и охватывает часть Саратовской, Оренбургской и Волгоградской областей. К фациальным подтипам теплых промерзающих почв восточно-европейской группы относятся каштановые почвы провинции, которые промерзают до глубины 1–2 м и находятся в этом состоянии от 2 до 5 месяцев. Мощность гумусовых горизонтов в темно-каштановых почвах обычно не превышает 40 см, вскипание наблюдается с поверхности или в нижней части горизонта А, на глубине 40–60 см выделяются карбонаты, а гипс – на глубине 100–150 см. Содержание гумуса составляет 3,5–5,0 %. Мощность гумусового горизонта каштановых почв составляет около 30 см. Содержание карбонатов и гипса больше, и залегают они немного выше, чем в темно-каштановых почвах, содержание гумуса составляет 2,5–3,0 %.

Для структуры почвенного покрова характерна приуроченность к водоразделам более мощных, гумусированных, несолонцеватых и незасоленных почв и к склонам менее мощных, с пониженным содержанием гумуса, солонцеватых и глубинно солонцеватых почв.

Автоморфные ландшафты низменности представлены светло-каштановыми песчаными, супесчаными и легкосуглинистыми почвами и солонцами. В центральной части низменности, среди песчаных массивов, на обширных песчано-супесчаных равнинах широко распространены светло-каштановые почвы песчаного и супесчаного состава, образующие комплексы и сочетания с солонцовыми солонцами-солончаками и ровными солончаками.

Светло-каштановые почвы низменности, с одной стороны, являются исходно автоморфными, с другой – сформировались в ходе эволюции гидроморфных почв в связи с понижением уровня грунтовых вод и сохранили в профиле черты палеогидроморфизма [5, 6]. В основном светло-каштановые почвы находятся на повышенных элементах рельефа. Почвы с наличием суглинистого состава имеют хорошо дифференцированный профиль с мощным иллювиальным карбонатным горизонтом. Характерной особенностью песчаных и супесчаных почв является размытость профиля с осветленным гумусовым горизонтом и отсутствием карбонатного горизонта. Малогумусные почвы с содержанием гумуса 1–2 %, низкой емкостью поглощения 7–15 мг-экв/100 г солонцеваты и большей частью засолены. Тип засоления от сульфатного до сульфатно-хлоридного.

Рассматриваемые районы Заволжья располагаются частично на Хвалынской равнине и Приволжской песчаной гряде и имеют различную почвенную характеристику, причем некоторые из них были предрасположены к засолению. Здесь расположены Большая Волгоградская, Заволжская, Кисловская и Средне-Ахтубинская оросительные системы. Динамика мелиоративного состояния земель за 10-летний период для Заволжской и Кисловской оросительных систем представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика мелиоративного состояния земель регулярного орошения в Волгоградском Заволжье за период 1995–2005 гг. [7]

В га

Система	Год	Общая площадь	Мелиоративное состояние		
			Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетворительное
Кисловская	1995	11854	9282	1399	1173
	2000	11116	8707	1342	1067
	2005	10652	7917	1540	1195
Заволжская	1995	25318	19478	4416	1424
	2000	21695	16538	3984	1173
	2005	21695	16981	3475	1239

Хвалынская глинистая равнина характеризуется не очень благоприятными мелиоративными условиями для использования орошения, так как более 50 % от всей площади занимают среднепрофильно- (солончаковатые) и поверхностно-засоленные (солончаковые) солонцы. Она отличается бессточностью, засоленностью почвообразующих пород и почв с относительно близким залеганием на глубине 5–10, реже 10–15 м, минерализованных с содержанием солей 5–20 г/л грунтовых вод. Отсюда следует, что на всех оросительных системах, расположенных в пределах Хвалынской равнины, еще до орошения природно-засоленные почвы, в т. ч. солонцовые и засоленные, занимали значительные площади, что сказалось на засолении орошаемых земель впоследствии [8].

Мелиоративные условия на Приволжской гряде характеризуются значительно лучшими показателями. Здесь встречаются с поверхности переслаивающиеся супеси, пески и легкие суглинки. Она характеризуется пересеченным рельефом, хорошей естественной дренированностью, наличием глубоких сухих низин. Грунтовые воды преимущественно слабоминерализованные, до орошения залегали на глубине 10–20 м и более. В почвенном покрове преобладали каштановые почвы, наличие солонцов 10–25 и до 50 % на границе с Хвалынской равниной.

Ранее на рассматриваемых системах в орошение были вовлечены природно-засоленные, и в т. ч. солонцеватые, почвы. На Заволжской оросительной системе площади орошаемых земель с уровнем грунтовых вод менее 3 м составляли 10,8–14,8 %. К 1989 г. земли Кисловской оросительной системы оказались в наиболее неблагоприятном мелиоративном состоянии, площадь земель с уровнем грунтовых вод менее 3 м составляла 40,7 %, что привело к вторичному засолению, проявившемуся на 1 % от общей площади.

Причинами проявления вторичного засоления и подъема уровня грунтовых вод на рассматриваемых системах явились отсутствие дренажа, несовершенство оросительных систем, завышенные оросительные нормы, несистематическое проведение планировок и мелиоративных работ. На части земель Заволжской (9 %) и Кисловской (27,5 %) оросительных систем был построен дренаж, но, несмотря на это, на последней сложились наиболее неблагоприятные мелиоративные условия вследствие подъема минерализованных сульфатно- и хлоридно-натриевых грунтовых вод (3 г/л) [8]. Тем не менее отсутствие регулярного орошения сказывается на урожае культур, выращиваемых в Волгоградской области.

Заволжский район относится к зоне с повышенными скоростями ветра, чему способствуют открытые безлесные пространства. Наиболее вредоносными преобладающими ветрами Волгоградской области являются восточные, юго-восточные и южные направления. В среднем ветра со скоростью более 15 м/с в год бывают до 20–30 дней, а зимой в отдельные дни скорость ветра может достигать 35 м/с. В течение года пыльные бури бывают до 8 дней. В Постановлении СНК СССР и ЦК ВКП(б) от 26 октября 1938 г. «О мерах обеспечения устойчивого урожая в засушливых районах юго-востока СССР» было уделено внимание выращиванию леса, полезащитных и других защитных лесонасаждений в степи [9]. В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 (редакция от 06.09.2018) «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы» Минсельхозом России совместно с подведомственными профильными институтами разработана подпрограмма «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России», стратегической целью которой является повышение продуктивности и устойчивости сельскохозяйственного производства и плодородия почв средствами не только мелиорации, но и агролесомелиорации. Лесные полосы способствуют улучшению состояния территории и повышению биопродуктивности полей (таблица 2).

Таблица 2 – Средняя урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых землях с системой насаждений и без них в хозяйствах Николаевского района Волгоградской области

Сельскохозяйственная культура	Урожайность пашни, ц/га		Урожайность пашни, ц к. е./га	
	облесенной	необлесенной	облесенной	необлесенной
Озимая пшеница	24,9	20,1	28,9	23,3
Озимая рожь	31,0	22,5	33,8	24,5
Яровая пшеница	16,4	14,8	17,7	16,0
Ячмень	19,7	12,5	21,9	13,9
Кукуруза на зерно	35,8	33,9	45,5	43,1
Кукуруза на зеленую массу	28,9	25,3	4,6	4,0
Однолетние травы на сено	68,4	59,8	28,7	25,1
Многолетние травы	100,5	85,4	53,3	45,3
Картофель	93,8	25,0	28,1	7,5

Система лесных полос, созданная на землях хозяйств Николаевского района Волгоградской области, например в ООО «Лидер», оказывает положительное влияние на урожайность основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в этом районе. Анализ данных таблицы 2 показывает, что урожайность всех культур в облесенных агроценозах выше на 1,9–68,8 ц/га и 0,6–20,6 ц к. е./га.

Выводы. Потенциал земли может быть увеличен за счет орошения и использования систем лесных полос. Это прямой путь к увеличению биопродуктивности сельскохозяйственных культур. Анализ состояния почвенного покрова, литологических и гидрологических условий Волгоградского Заволжья показывает, что повышение биопродуктивности культур возможно при использовании лесных полос и разумного орошения. Оросительные системы в Волгоградской области эксплуатируются более 30 лет, степень их износа 50–90 %. Стоимость строительства новых орошаемых участков составляет порядка 200–250 тыс. руб./га. Поэтому модернизация мелиоративного комплекса для совершенствования оборудования и условий ведения орошаемого земледелия с целью развития потенциала орошаемых земель не может быть осуществлена силами сельскохозяйственных товаропроизводителей без государственной поддержки. Это может привести к сокращению количества орошаемых земель в регионе и уменьшению объемов производства сельскохозяйственных культур.

Список использованных источников

- 1 Рулева, О. В. Биопродуктивность орошаемых агролесоландшафтов: модели и прогнозы / О. В. Рулева, Н. Н. Овечко. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – 113 с.
- 2 Добровольский, Г. В. География почв / Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская. – М.: МГУ, 2004. – 460 с.
- 3 Ковда, В. А. Почвы Прикаспийской низменности (северо-западной части) / В. А. Ковда. – М. – Л.: АН СССР, 1950. – 256 с.
- 4 Родин, Л. В. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности / Л. В. Родин, Н. И. Базилевич. – М. – Л.: Наука, 1965. – 290 с.
- 5 Демкин, В. А. Особенности формирования карбонатного профиля почв сухостепной зоны юго-востока европейской части СССР / В. А. Демкин, И. В. Иванов // Почвоведение. – 1987. – № 1. – С. 35–43.
- 6 Почвы комплексной равнины Северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика. – М., 1964. – 267 с.

7 Производственно-технический отчет ВГМФ «Волгоградмелиоводхоз» за 2005. – Волгоград, 2006.

8 Панкова, Е. И. Мелиоративное состояние и вторичное засоление почв орошаемых земель Волгоградской области / Е. И. Панкова, А. Ф. Новикова // Почвоведение. – 2004. – № 6. – С. 731–744.

9 О мерах обеспечения устойчивого урожая в засушливых районах юго-востока СССР (Саратовская, Сталинградская, Куйбышевская, Оренбургская, Западно-Казахстанская, Актюбинская области, АССР Немцев Поволжья, северо-восточные районы Ворошиловградской области, северные и северо-восточные районы Ростовской области и юго-восточные районы Воронежской и Тамбовской областей): Постановление СНК СССР, ЦК ВКП(б) от 26 октября 1938 г. № 1169 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://consultant.ru>, 2018.

УДК 631.587:911.6

А. В. Шевченко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УСЛОВИЯ ИРРИГАЦИИ, И ОЦЕНКА ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

В настоящей статье рассматриваются природные факторы, определяющие условия ирригации в различных морфогенетических типах рельефа, и их роль в оценке перспективности территории для ирригационного освоения. Приводится оценка орошаемых и перспективных для орошения территорий, выполненная на основе анализа условий ирригации и особенностей ирригационных систем в различных морфогенетических типах рельефа.

Ключевые слова: ирригация, орфология, литология, гидрогеология, почва, равнина.

A. V. Shevchenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

FACTORS DETERMINING THE CONDITIONS OF IRRIGATION AND ESTIMATION OF THE IRRIGATED TERRITORIES IN THE NORTHERN CAUCASUS AND THE LOWER VOLGA REGION

The natural elements determining the irrigation conditions under different morphogenetic types of relief, and their role in assessing the potential of the area for irrigation development are considered. The assessment of irrigated and promising for irrigation areas based on the analysis of irrigation conditions and the characteristics of irrigation systems in various morphogenetic types of relief is made.

Key words: irrigation, relief, morphology, lithology, hydrogeology, soil, plain.

Введение. В связи с широким развитием ирригационного строительства на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье особую актуальность приобретают вопросы оценки территории с точки зрения пригодности ее для ирригационного освоения и классификации перспективных для орошения земель.

Обширная территория рассматриваемого района обладает чрезвычайно сложными и разнообразными природными условиями, определяющими большое разнообразие условий ирригации. Поэтому за объект исследования, как показывает опыт изучения природных условий для целей ирригации, целесообразно принимать морфогенетиче-

ские типы рельефа. Они составляют геоморфологическую основу географического ландшафта, представляя собой конкретные территории, однородные по происхождению, истории развития, морфологии и возрасту. В пределах таких территорий складываются определенные сочетания природных условий-факторов, которые особенно важны для выбора схемы орошения, мелиоративной оценки территории и прогноза различных процессов и явлений, которые могут возникнуть в результате орошения.

Этими факторами являются преобладающие уклоны поверхности, расчлененность, генезис и литология отложений, естественная увлажненность, обеспеченность источниками орошения, гидрогеологические, почвенно-мелиоративные условия.

Совокупное действие их в пределах конкретных территорий (типов рельефа) определяет в целом условия ирригации того или иного района, которые складываются из следующих характеристик: наличие источников орошения, условия водозабора и водоотдачи, размещение орошаемых земель, их сельскохозяйственное использование, применение определенных способов полива, необходимость проведения различных мелиоративных мероприятий и т. д.

Поэтому, зная закономерности проявления этих факторов в каждом из морфогенетических типов рельефа, можно в общих чертах представить себе условия ирригации подлежащих освоению территорий.

В этом отношении морфогенетические типы рельефа и являются ведущим фактором, основой типологического районирования орошаемых территорий [1].

Рассматриваемые морфогенетические типы рельефа по климатическим условиям находятся в области недостаточного увлажнения, т. е. нуждаются в ирригации. Однако, несмотря на потребность в орошении, оно существует далеко не на всей территории. При этом обнаруживается ярко выраженная приуроченность ирригационных систем к определенным типам рельефа, и прежде всего к аллювиальным равнинам.

Экскурс в историю развития ирригации свидетельствует о том, что аллювиальные равнины долин горных рек являются очагом развития ирригации на Северном Кавказе и основными районами орошаемого земледелия на всем протяжении истории ее развития [2]. В настоящее время аллювиальные равнины как горных, так и равнинных рек являются основным фондом орошаемых земель, где получили развитие собственно оросительные системы. Отсюда можно заключить, что в дальнейшем это наиболее перспективные для ирригации территории. Если перспективность для ирригации аллювиальных равнин не вызывает сомнения, то в отношении других типов рельефа это положение требует серьезных исследований.

Изучение существующих оросительных систем подтверждает, что особенности их определяются положением в том или ином морфологическом типе рельефа и зависят от определенного сочетания природных условий, сложившегося в нем.

Анализ природных факторов с точки зрения ирригации свидетельствует о том, что каждый из них по-своему влияет на условия орошения, играя определенную роль в сложном процессе взаимодействия ирригации с географической средой [3]. В оценке перспективности территории для ирригационного освоения это выражается следующим образом.

Так, по преобладающим уклонам поверхности из ирригационного освоения исключаются территории с уклонами более 0,05, максимум 0,1. Это горы и крутые склоны. Остальная территория в этом отношении обладает благоприятными условиями. Но тут выступает другой фактор – расчлененность и фонд непригодных земель пополняется за счет сильно и глубоко расчлененных территорий структурно- и эрозионно-денудационных равнин. По литологическим условиям к категории земель, непригодных для ирригации, относятся территории, для которых характерны обнажения твердых коренных пород (структурно-денудационные равнины), неудобные не только для ирригации, но и вообще для сельскохозяйственного использования [4].

Рассмотренные здесь факторы (морфологические и литологические) позволяют давать категорическую оценку: пригодна или непригодна для ирригации та или иная территория. Это объясняется тем, что они являются собственно геоморфологическими характеристиками, а рельеф как один из компонентов ландшафта наиболее стабилен, так как периоды его эволюции измеряются геологическими эпохами. Этого нельзя сказать о других элементах природного комплекса, они подвержены более резким изменениям. Поэтому при оценке территории на основе этих факторов можно лишь говорить о ее перспективности для орошения на данном этапе развития ирригации, учитывая при этом технический уровень и достижения современной практики проектирования.

Одним из таких факторов является обеспеченность территории источниками орошения. На данном этапе развития ирригации не обеспечены источниками орошения возвышенные равнины северной части территории (Среднерусская, Хоперско-Бузулукская, Приволжская, Донецкий кряж), а также междуречные низменные равнины: Азово-Кубанская и частично Прикаспийская. Поэтому в пределах этих территорий орошение будет базироваться преимущественно на местном стоке (мелкие орошаемые участки в долинах малых степных рек, лиманное орошение).

При оценке территории по гидрогеологическим и почвенно-мелиоративным условиям, по существу, нельзя точно сказать, перспективна она для ирригации в этом отношении или нет. Эти факторы определяют мелиоративную обстановку территории, вызывая необходимость проведения тех или иных мелиоративных мероприятий, а также обуславливают возможность возникновения неблагоприятных процессов и явлений в виде засоления и заболачивания, образования солончаков, изменения процессов почвообразования и т. д. [5].

В условиях обеспеченности водой территория с неблагоприятными почвенно-мелиоративными условиями в результате проведения комплекса мелиоративных мероприятий может быть пригодной для ирригационного освоения. А разумная эксплуатация систем, построенных с учетом всех природных факторов, позволяет избежать ухудшения мелиоративной обстановки и не допустить возникновения неблагоприятных условий и явлений.

В условиях же недостатка водных ресурсов территории с неблагоприятными почвенно-мелиоративными и гидрогеологическими условиями также относятся в данный период к неперспективным для ирригации [6]. Это террасированная и озерная равнины центральной и восточной частей Маньчжской равнины, равнины осушающегося морского дна, приморские участки дельт.

Таким образом, по совокупности рассмотренных факторов непригодными или неперспективными для ирригационного освоения территориями являются структурно- и эрозионно-денудационные равнины, эоловые, эрозионно- и цокольно-террасовые равнины, морская равнина, осложненная эоловыми процессами, эрозионно-эоловая грядовая равнина и др. [7].

Типы рельефа, в которых уже есть орошение или перспективные для ирригационного освоения, на основе анализа условий ирригации и особенностей ирригационных систем могут быть оценены [8]. В данной оценке, определяющей условия освоения территории и выбор систем, различаются элементы четырех порядков.

К орошаемым территориям первого порядка относятся предгорные и платформенные равнины, различающиеся характером источников орошения (горные и равнинные реки) и условиями водозаборов (самотечный и с механическим водоподъемом).

Территории второго порядка – низменные, возвышенные и наклонные равнины – характеризуются различными условиями водоподъема (для платформенных равнин) и водоподачи, условиями проведения магистральных каналов и оснащения их сложными гидротехническими сооружениями.

Орошаемые территории третьего порядка выделяются по условиям размещения

орошаемых земель (сплошное, выборочное) и назначению систем (оросительные, оросительно-обводнительные, обводнительно-оросительные системы). Так, оросительные системы располагаются на аллювиальных равнинах, в долинах крупных и малых горных и равнинных рек и на аллювиально-пролювиальных аккумулятивно-террасовых равнинах, на прибрежной морской террасовой равнине они приурочены к аллювиальным образованиям дельт и конусов выноса, осложняющих ее поверхность. На морских платформенных равнинах располагаются оросительно-обводнительные системы с подпитыванием лиманов, обводнительно-оросительные системы – на равнинах, характеризующихся мощным покровом лессовидных суглинков.

Территории четвертого порядка представляют собой типы орошаемых территорий, которые определяют различия в условиях освоения и конструкции ирригационных систем. Они основываются на морфогенетических типах рельефа. В пределах Северного Кавказа и Нижнего Поволжья выделяются следующие типы орошаемых территорий: пойменно-дельтовый равнинных рек, надпойменно-террасовый равнинных рек, долино-степной, манычский надпойменно-террасовый, дельтовый горных рек, надпойменно-террасовый равнинных участков горных рек, предгорно-наклонный, прибрежно-террасовый, горно-долинный, древнедельтовых равнин, морских грядовых равнин, пойменно-грядовых равнин, субэаральных и аккумулятивно-денудационных равнин.

Вывод. Вышеперечисленные природные факторы, определяющие условия ирригации в различных морфогенетических типах рельефа, необходимо учитывать при оценке перспективности территории для ирригационного освоения, выборе схемы орошения, прогнозе процессов и явлений, которые могут возникнуть в результате ирригации, и последующем проектировании мелиоративных систем. Проведенная оценка типов рельефа (перспективных с точки зрения ирригационного освоения) позволила выделить элементы четырех порядков, при этом каждому элементу определенного порядка соответствует свой тип рельефа и оросительной системы.

Список использованных источников

- 1 Щеглов, Д. И. Основы геоморфологии: учеб. пособие / Д. И. Щеглов, А. И. Громовик; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж: Издат. дом ВГУ, 2017. – 178 с.
- 2 Гулямов, Я. Г. История орошения с древнейших времен до наших дней / Я. Г. Гулямов. – Ташкент: Изд-во Акад. наук Узб. ССР, 1957. – 313 с.
- 3 Васильев, С. М. Ретроспективный анализ изменения почвенно-мелиоративных условий орошаемых почв юга Ростовской области / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 3(43). – С. 17–24.
- 4 Ежова, А. В. Литология: учебник / А. В. Ежова; Том. политехн. ун-т. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2009. – 336 с.
- 5 Алиев, Г. А. Горно-луговые почвы Большого Кавказа и их систематика / Г. А. Алиев // Труды совещания по вопросам генезиса, классификации, географии и мелиорации почв Закавказья. – Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1955. – 250 с.
- 6 Щедрин, В. Н. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Т. П. Андреева. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 307 с.
- 7 Вахонин, Н. К. Современное состояние и направления исследований по повышению эффективности мелиоративных систем и мелиорированных земель / Н. К. Вахонин // Мелиорация. – 2009. – № 1. – С. 5–25.
- 8 Мелиорация земель. Курс лекций / В. Н. Шкура [и др.]; под ред. Г. А. Сенчукова. – Новочеркасск, 1998. – Ч. 1. – 174 с.

УДК 626.81

Д. В. Мартынов, А. Н. Рыжаков, А. С. Капустян

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ВОДНОГО РЕЕСТРА И ОСУЩЕСТВЛЕНИИ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Целью данной работы являлось рассмотрение возможности внедрения геоинформационных технологий при ведении государственного водного реестра и осуществлении мониторинга водных объектов в настоящее время. Этому должен предшествовать глубокий комплексный анализ предполагаемого экономического и технологического эффекта от использования этих технологий. Несмотря на отсутствие финансовой поддержки, внедрение геоинформационной системы на данном этапе может быть осуществлено, так как это обусловлено уровнем развития цифровых технологий. Была рассмотрена возможность разработки пилотного проекта создания геоинформационной системы при ведении государственного водного реестра и осуществлении государственного мониторинга водных объектов на основе одного региона – Ростовской области. Успешное внедрение данного проекта позволит качественно и с необходимой эффективностью решать задачи процесса создания, функционирования и модернизации систем мониторинга в мелиоративном секторе.

Ключевые слова: государственный мониторинг водных объектов, государственный водный реестр, гидротехнические сооружения, геоинформационные технологии, база данных, геоинформационная система.

D. V. Martynov, A. N. Ryzhakov, A. S. Kapustyan

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

FEATURES OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION WHEN MAINTAINING THE STATE WATER REGISTER AND CARRYING OUT WATER OBJECTS MONITORING

The aim of this work was to consider the possibility of introducing geo-information technologies when maintaining the state water registry and monitoring water bodies at the present time. This should be preceded by a deep comprehensive analysis of the proposed economic and technological effect of the use of these technologies. Despite the lack of financial support, the implementation of a geographic information system at this stage can be done, since this is due to the level of digital technologies development. The possibility of developing a pilot project for creating a geoinformation system when maintaining the state water registry and carrying out state monitoring of water bodies on the basis of one region – Rostov region was considered. The successful implementation of this project will allow solving the tasks of the process of creation, functioning and modernization of monitoring systems in the reclamative sector with high quality and the necessary efficiency.

Key words: state monitoring of water bodies, state water register, hydrotechnical constructs, geoinformation technologies, database, geoinformation system.

Сбор и обработку отчетных данных государственного мониторинга водных объектов (ГМВО) и государственного водного реестра (ГВР), согласно постановлениям Правительства Российской Федерации от 10 апреля 2007 г. № 219 [1] и от 28 апреля 2007 г. № 253 [2], в рамках государственного задания с 2016 г. осуществляет ФГБНУ

«РосНИИПМ». Эксплуатирующие организации представляют сведения по формам и в порядке, которые определены приказами МПР от 6 февраля 2008 г. № 30 [3] и от 30 ноября 2007 г. № 316 [4].

Разработанная технология подготовки и представления сведений для внесения в ГВР и осуществления ГМВО [5, 6] формирует единый подход и существенно оптимизирует представление сведений о водных и мелиоративных объектах, но не позволяет визуализировать и анализировать пространственную информацию. Одним из способов решения данной проблемы является внедрение геоинформационных технологий. Геоинформационные технологии нашли применение в самых различных областях деятельности. С их помощью разрабатывают геоинформационные системы (ГИС), предназначенные для геомоделирования, управления пространственными векторными и растровыми данными, обработки спутниковых снимков, создания печатной картографической продукции и многого другого.

При реализации геоинформационных технологий возникают следующие проблемы:

- неоднородность имеющихся и предполагающих использование данных;
- отсутствие проработанной законодательно-правовой базы;
- организация совместной работы поставщиков и потребителей данных;
- недостаточное финансирование проектов.

Также необходимо заметить, что в печатных изданиях, материалах конференций и семинаров и в сети интернет описывается в основном инструментарий для создания ГИС и связанная с ним методология: описание функций программного обеспечения, характеристик специализированной техники и преимущества их перед конкурирующими продуктами. То есть при, казалось бы, повсеместном внедрении и использовании геоинформационных технологий в материалах, посвященных опыту создания ГИС, а также в выступлениях и обсуждениях специалистов, как правило, поднимаются только проблемы, связанные с созданием электронной карты и привязанных к ней данных, либо обрисовываются перспективы использования создаваемых ГИС, в то время как о конкретных результатах эксплуатации созданной ГИС сведений нет. Поэтому закономерными остаются вопросы:

- сколько необходимо вложить финансовых средств в создание ГИС;
- сколько средств можно сэкономить в результате эксплуатации ГИС;
- сколько средств необходимо в дальнейшем вложить в развитие и поддержание

ГИС.

То есть можно сделать вывод, что при создании геоинформационных проектов почти никогда не ставится задача эффективного использования создаваемой системы (исключением являются только силовые структуры и МЧС в силу специфики решаемых ими задач [7]).

Тем не менее подавляющее число аргументов в пользу ГИС остаются справедливыми: создание электронной картографической информации, создание объединенных баз данных, отображаемых на электронных картах и т. д. То есть использование геоинформационных технологий обеспечивает не только значительное снижение затрат на сбор данных, но и сокращение сроков принятия решений и повышение качества их анализа. Более того, создание ГИС как одного из компонентов управляющей системы организации позволяет оперативно и на основе целостного анализа данных принимать верные управленческие и инвестиционные решения. Таким образом, опыт показывает, что правильно созданная и эксплуатируемая система организации геопространственных данных (информации, которая идентифицирует географическое местоположение и свойства естественных или искусственно созданных объектов, а также их границ на карте) и управления ими необходима всем, кто собирает, анализирует и использует эти данные.

Внедрение геоинформационных технологий связано с долговременным отвлечением значительных финансовых, материальных и других ресурсов, а экономическая и функциональная отдача от этого наступает лишь в перспективе. Поэтому внедрению геоинформационных технологий (в соответствии с требованиями современных экономических отношений) должен предшествовать глубокий комплексный анализ, который должен раскрыть перспективу экономического и технологического эффекта от внедрения этих технологий.

В настоящее время, несмотря на отсутствие технико-экономической проработки данного направления, тем не менее существует техническая возможность внедрения геоинформационной технологии при ведении ГВР и осуществлении ГМВО. Это обусловлено в первую очередь уровнем развития цифровых технологий, обеспечивающих следующее [8]:

- появление бесплатных ГИС;
- поддержку разработки проектов открытых геоинформационных технологий;
- разработку стандартов взаимодействия данных и обмена ими между различными ГИС-платформами, картографическими сервисами и приложениями;
- создание мобильных ГИС;
- интеллектуализацию систем;
- включение новых модулей;
- разработку сценариев развития в ГИС.

Большинство открытого геоинформационного программного обеспечения распространяется полностью бесплатно. Примером может служить QGIS (Quantum GIS) – простая в использовании программа для быстрого просмотра геоданных для различных операционных систем, в т. ч. и для семейства Linux, что немаловажно в условиях развивающейся компании импортозамещения и запрета на использование в государственных учреждениях программного обеспечения семейства Microsoft Windows.

Таким образом, на данном этапе возможность и правомерность использования открытого программного обеспечения почти полностью снимает одну из главных проблем – недостаточное финансирование. То есть внедрение геоинформационных технологий возможно даже на современном этапе ведения сбора сведений ГВР и ГМВО.

Рассмотрим возможность создания пилотного проекта внедрения геоинформационных технологий при ведении ГВР и осуществлении ГМВО на основе одного региона – Ростовской области. Для создания такой геоинформационной базы данных (ГИБД) можно использовать реализуемую сейчас модель проведения мероприятий по сбору сведений ГВР и ГМВО, при которой специалисты РосНИИПМ собирают, обрабатывают и проверяют данные, поступающие от эксплуатирующих организаций.

К сожалению, имеющихся сведений ГВР и ГМВО (таблицы 1.1, 1.2, 2, 3 и формы 5.1–5.3 и 6.1–6.3) недостаточно, так как в них отсутствует ключевая для ГИБД информация – географическая привязка (рисунок 1).

В таблице 1.1 в графе «Местоположение» указан лишь административный район, в котором расположена оросительная система; в таблице 1.2 указан ряд административных районов и кадастровых номеров ГТС; в таблице 2 отсутствуют какие-либо координаты; в таблице 3 указан административный район, населенный пункт либо расстояние от населенного пункта и направление; в форме 5.1 – административный район и населенный пункт либо пикетаж; в формах 5.2 и 5.3 отсутствуют каких-либо координаты; в формах 6.1–6.3 – географические координаты либо административный район, населенный пункт или расстояние от населенного пункта и направление.

Специалисту, осуществляющему как сбор, так и внесение сведений в геоинформационную базу, данной информации недостаточно – локализовать расположение оросительной системы в пределах района или населенного пункта даже с помощью космоснимков территории и топографической карты очень сложно и трудоемко, и при этом

полученная в таком случае база не будет отвечать необходимым требованиям точности. Также недостаточным является наличие перечня кадастровых номеров участков (таблица 1), так как в большинстве случаев приведенные кадастровые участки не покрывают всей площади оросительной системы либо указывают лишь местоположение минимального количества отдельно стоящих сооружений, в основном насосных станций и административных зданий филиалов эксплуатирующих организаций (рисунок 2).

1	2	3	4	5	6	7		
1								
2			ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»					
3								
4			1.2. Состав государственных гидромелиоративных (водохозяйственных) систем					
5			на 1 января 2018 года					
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12			гидротехнические сооружения					
13	№ п/п	Код ГМС [1]	местоположение, координаты		наименование ГТС	код ГТС [5]	тип ГТС	на
14			ближайший населенный пункт [2]	кадастровый номер земельного участка под ГТС [3]				
15	А	Б	1	2	3	4	5	
16	1	38_1ор	Веселовский, Багаевский, Аксайский районы	61:06:0600012:617	Водозабор НС42, рыбозащитное сооружение	38_17	Насосные станции	Сель
17	2	38_1ор	Веселовский, Багаевский, Аксайский районы	61:02:0600016:3533	АзМК	38_46	Каналы и дрены	Сель
18	3	38_1ор	Веселовский, Багаевский, Аксайский районы	61:02:0600019	АС-Р-2	38_47	Каналы и дрены	Сель
19	4	38_1ор	Веселовский, Багаевский, Аксайский районы	61:02:0600021	АС-Р-3	38_48	Каналы и дрены	Сель
20	5	38_1ор	Веселовский, Багаевский, Аксайский районы	61:02:0000000	АС-МС-2	38_49	Каналы и дрены	Сель

Рисунок 1 – Фрагмент таблицы 1.2 со сведениями, характеризующими местоположение объекта

Таблица 1 – Данные о наличии кадастровых номеров в сведениях об оросительных системах

Источник сведений		Код системы	Наличие кадастровых номеров
Технико-эксплуатационная карта мелиоративной системы	Государственный водный реестр		
1	2	3	4
Азовская ОС	Азовская	1ор	4
Багаевская ОС	Багаевская	2ор	16
Садковская ОС	Садковская	3ор	1
Верхне-Сальская ОС	Верхне-Сальская	4ор	10
Донская ОС	Донская	5ор	12
Мартыновская ОС	Мартыновская	6ор	6
Манычская-1 ОС	Манычская-1	7ор	10
Манычская-2 ОС	Манычская-2	8ор	10
Нижне-Донская ОС	Нижне-Донская	9ор	25
Нижне-Манычская ОС	Нижне-Манычская	10ор	–
Константиновская ОС	Константиновская	11ор	1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Приморская ОС	Приморская	12ор	–
Пролетарская ОС	Пролетарская	14ор	11
Право-Егорлыкская ОС	Право-Егорлыкская	15ор	6
Хорошевская ОС	Хорошевская	16ор	–
Цимлянская ОС	Цимлянская	17ор	1
Миусская ОС	Миусская	18ор	23
Приазовская ОС	Приазовская	19ор	2
Чирская ОС	Чирская	20ор	7
Большовская ОС	Большовская	21ор	6
Троицкая-1 ОС	Троицкая-1	22ор	3
Троицкая-2 ОС	Троицкая-2	23ор	2
Краснополянская ОС	Краснополянская	24ор	1
Зубовская ОС	Зубовская	25ор	–
Летниковская ОС	Летниковская	26ор	–
Темерницкая ОС	Темерницкая	27ор	1
Зерноградская ОС	Зерноградская	29ос	1
ОС Нептун	Нептун	35ор	1
ОС Вяжа	Вяжа	37ор	–
Поднятая Целина	Поднятая Целина	38ор	–
БКНС Первомайской-1 ОС	–	39ор	–
БКНС Первомайской-2 ОС	–	40ор	–
Зерноградская ОС	Зерноградская	34ор	–
Аксайская ОС	Аксайская	31ос	1
Целинская ОС	–	33ос	1
Донской магистральный канал	Донской МК	28вх	12
Весёловская водохозяйственная система	Веселовская	32вх	1
–	Николаевская	30ор	

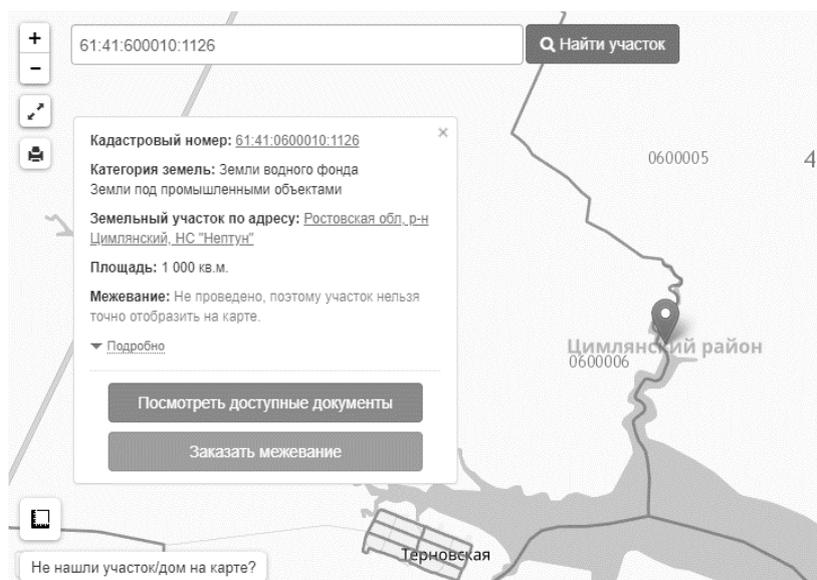


Рисунок 2 – Расположение кадастрового участка, номер которого указан в графе «Местоположение оросительной системы» для НС «Нептун» (режим доступа: <http://публичная-кадастровая-карта.рф>)

Также необходимо отметить, что согласно паспорту ФГБУ, размещенному на сайте департамента мелиорации Минсельхоза РФ, в подчинении Ростовмелиоводхоза [9] находится 37 мелиоративных систем, а в ГВР представлены сведения о 35 системах.

Поэтому для формирования корректной ГИБД понадобится дополнительная информационная поддержка от эксплуатирующей организации и ее районных филиалов. Для предоставления информации данного рода специалистам управлений даже не обязательно иметь квалификацию пользователя специализированного программного обеспечения (ГИС). Можно воспользоваться любым из открытых для пользования картографических интернет-сервисов и приложений (Google Планета Земля, Яндекс.Карты или SAS.Planet). Специалистам эксплуатирующих организаций необходимо будет только передать в ФГБНУ «РосНИИПМ» данные о пометках, линиях и полигонах, характеризующих мелиоративные объекты, в любом доступном формате (рисунок 3).



Рисунок 3 – Нанесение основных распределительных каналов оросительных систем Ростовской области

После сбора и внесения всей необходимой информации полученная в результате ГИБД должна быть передана заказчику и эксплуатирующей организации для использования. Для осуществления ГИБД необходимо дополнительно разработать методические указания и инструкции по ее использованию. Это может быть осуществлено в рамках научно-исследовательской работы.

В настоящее время сфера применения ГИС расширяется, что открывает широкие возможности для пользователей при обмене данными. Появляется возможность работы с использованием нескольких ГИС и внедрения информации одной из них в другую. И это позволяет качественно и с необходимой эффективностью решить задачи процессов создания, функционирования и модернизации систем мониторинга в мелиоративном секторе.

Список использованных источников

1 Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов: Постановление Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. № 219 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

2 О порядке ведения государственного водного реестра: Постановление Прави-

тельства РФ от 28 апреля 2007 г. № 253 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

3 Об утверждении форм и порядка представления сведений, полученных в результате наблюдений за водными объектами, заинтересованными федеральными органами исполнительной власти, собственниками водных объектов и водопользователями: Приказ МПР России от 6 февраля 2008 г. № 30 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

4 Об утверждении порядка представления и состава сведений, представляемых Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, для внесения в государственный водный реестр: Приказ МПР России от 30 ноября 2007 г. № 316 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

5 Капустян, А. С. Технология подготовки и представления сведений для внесения в государственный водный реестр и мониторинг водных объектов / А. С. Капустян // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 11–13.

6 Капустян, А. С. Современное состояние и перспективы представления сведений в государственный мониторинг водных объектов и водный реестр / А. С. Капустян // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 17–21.

7 Демочко, В. В. Можно ли сделать внедрение ГИС-технологий успешным? / В. В. Демочко // САПР и графика [Электронный ресурс]. – 2002. – № 1. – Режим доступа: <https:sapr.ru/article/6708>.

8 Этапы развития геоинформационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:studref.com/384530/informatika/etapy_razvitiya_geoinformatsionnyh_sistem, 2018.

9 Паспорт ФГБУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http:mcx-dm.ru/fgbu/95?report=passport&cur=93403>, 2018.

УДК 627.41

А. М. Кореновский, В. М. Филимонова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ БЕРЕГОЗАЩИТНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ НА РЕКЕ ЯГОДНОЙ РЯСЕ В ЧАПЛЫГИНСКОМ РАЙОНЕ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Целью исследования является анализ инженерно-геологических особенностей участка берегоукрепления на р. Ягодной Рясе в Чаплыгинском районе Липецкой области и выбор оптимальной конструкции берегозащитного гидротехнического сооружения. Сформулированы мероприятия по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений. Приведены возможные источники опасности на данном сооружении. Выполнен расчет устойчивости откосной части сооружения.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, авария, разрушение, берегоукрепление, река.

A. M. Korenovskiy, V. M. Filimonova

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

SELECTION OF OPTIMAL CONSTRUCTION OF THE PROTECTIVE HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION ON THE RIVER OF THE BERRY RYASE IN CHAPLYGINSKY REGION OF THE LIPETSK REGION

The aim of the study is to analyze the engineering and geological features of the protection area on the river Yagodnaya Ryasa in Chaplygin district Lipetsk region and

to choose the optimal design of the riparian hydraulic structure. Formulated The measures to ensure the safety of hydraulic structures were formulated. Possible hazards to this structure are given. The stability of the slope part of the structure has been calculated.

Key words: hydrotechnical structure, accident, destruction, bank protection, river.

Введение. Река Ягодная Ряса (правый приток р. Становой Рясы) протекает в центральной части г. Чаплыгина Липецкой области с северо-запада на юго-восток и впадает в р. Становую Рясу в юго-восточной части города. Берега р. Ягодной Рясы подвержены опасным геологическим процессам и неблагоприятным инженерно-геологическим явлениям, отмечается разрушение левобережного склона реки и морозная пучинистость грунтов в зоне сезонного промерзания.

Во время весенних паводков и ливневых дождей происходит размывание левого берега р. Ягодной Рясы, в результате чего береговая линия реки вплотную подошла к жилым домам по ул. Карла Маркса. Особенно интенсивно этот процесс протекает в период прохождения весенних половодий, когда замачивается нижняя часть берегового уступа, где грунты вследствие водонасыщения резко снижают несущую способность, он теряет устойчивость и происходит его оплывание и обрушение.

Грунты в зоне сезонного промерзания подвержены воздействию сил морозного пучения.

По степени морозной пучинистости в зоне сезонного промерзания грунты [1]:

- ИГЭ-1 – среднепучинистые;
- ИГЭ-2 – слабопучинистые.

При проведении настоящих инженерно-геологических исследований других опасных геологических процессов и неблагоприятных инженерно-геологических явлений не отмечено.

Материалы и методы. Инженерно-геологические условия участка берегоукрепления определялись анализом пространственной изменчивости литологии, показателей физико-механических свойств грунтов, гидрогеологической обстановкой, на основании полевых работ, лабораторных исследований и камеральных расчетов.

Результаты и обсуждение. В результате исследований на объекте выделено два слоя и три инженерно-геологических элемента:

- слой 1 – техногенный грунт (tQIV);
- слой 2 – почвенно-растительный слой (pdqiv);
- ИГЭ-1 – суглинок мягкопластичный (аЕ);
- ИГЭ-2 – пески мелкие, средней плотности, влажные (аЕ);
- ИГЭ-2а – пески мелкие, средней плотности, водонасыщенные (аЕ).

Техногенный (насыпной) грунт. Распространен ограниченно. Вскрыт скважинами № 1 и 2. Представлен разными по составу грунтами (суглинками, песками, перемешанными со строительным мусором и черноземом). По способу отсыпки классифицируется как свалка глинистых грунтов. Характеризуется неоднородным составом и сложением. Давность отсыпки более 5 лет, грунт слежавшийся. Основанием сооружения являться не будет. Вскрытая мощность насыпных грунтов 0,20–0,80 м.

ИГЭ-1 (суглинок мягкопластичный) вскрыт всеми пройденными скважинами. Суглинки коричневые и серовато-коричневые с прослойками песков. Грунт представлен суглинком тяжелым с числом пластичности $I_p = 14,0 \%$, песчаным (содержание песчаных частиц по массе составляет более 40 %). Консистенция грунта мягкопластичная ($IL = 0,69$ д. е.). Средняя плотность грунта составила $1,95 \text{ г/см}^3$, плотность грунта в сухом состоянии $1,61 \text{ г/см}^3$. Природная влажность 24,0 %, коэффициент пористости $e = 0,702$. Грунт непросадочный, коэффициент водонасыщения $S_r = 0,84$, среднепучинистый ($R_f = 0,64 \cdot 10^{-2}$), слабоводопроницаемый ($K_f = 0,005 \dots 0,30 \text{ м/сут}$). Степень коррозионной активности грунтов ИГЭ-1 по отношению к углеродистой и низколегированной стали – высокая, по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям

на портландцементе марки W4: по содержанию сульфатов – неагрессивная, по содержанию хлоридов – неагрессивная.

ИГЭ-2 (пески мелкие, средней плотности, влажные (аЕ)) вскрыты практически всеми разведочными скважинами. Пески коричневые и желтовато-коричневые, местами с прослойками 3–5 см суглинка. Грунт представлен песком мелким, содержание частиц $> 0,10$ мм составляет > 75 % по массе. Средняя плотность грунта составила $1,90$ г/см³, плотность грунта в сухом состоянии $1,65$ г/см³. Природная влажность 15,0 %, пески средней плотности, коэффициент пористости $e = 0,617$. Грунт влажный, коэффициент водонасыщения $Sr = 0,66$, слабопучинистый ($D = 1,5$), водопроницаемый ($Kф = 0,3...3,0$ м/сут). Степень коррозионной активности грунтов ИГЭ-2 по отношению к углеродистой и низколегированной стали – средняя, по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям на портландцементе марки W4: по содержанию сульфатов – неагрессивная, по содержанию хлоридов – неагрессивная.

Эксплуатирующей организацией (ОКУ «Гидротехнические комплексы») было принято решение об укреплении берега р. Ягодной Рясы.

На рассматриваемом береговом склоне было выделено два участка.

Первый участок, выше по течению, протяженностью 100 м (с ПК 0 по ПК 1 + 00), начинающийся от металлического пешеходного моста и имеющий береговой уступ высотой до 4 м до отметки 121,50 с заложением 1:1,5, переходящий в пойму с заложением 1:10. Крепление данного участка выполнено в один ярус.

Второй участок, ниже по течению первого участка, с ПК 1 + 00 по ПК 2 + 69, протяженностью 169 м, отличающийся от первого тем, что здесь уступ сформирован до отметок 126,00–128,00, высота уступа 8–10 м со средним заложением 1:1,5. Второй участок имеет древесную растительность и прилегающую застройку.

Для обоснования безопасности берегозащитного ГТС специалистами ФГБНУ «РосНИИПМ» была разработана модель для расчета устойчивости откосной части [2].

В качестве расчетного обоснования на рисунках 1–5 приведен расчет устойчивости откосной части сооружения для первого участка [3].

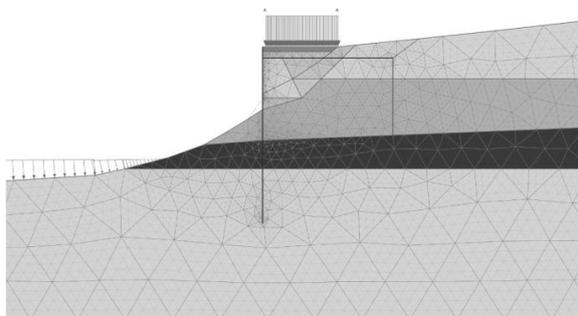


Рисунок 1 – Расчетная схема

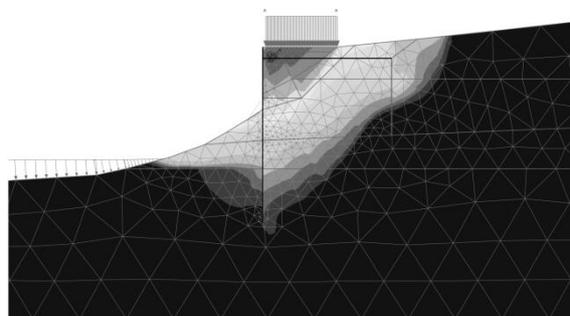
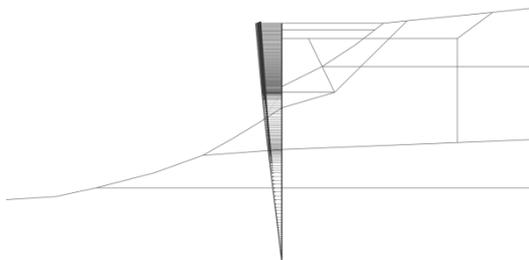


Рисунок 2 – Форма прогнозируемого обрушения



Примечание – Полные перемещения соответствуют величине 0,03962 м.

Рисунок 3 – Полные горизонтальные смещения в шпунтовой стенке

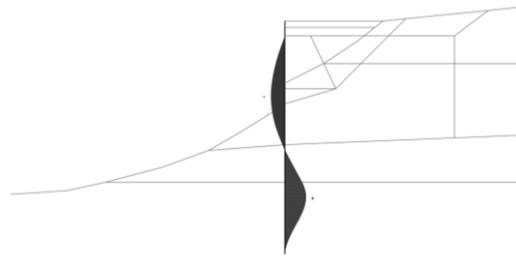


Рисунок 4 – Эпюра изгибающих моментов в шпунтовой стенке

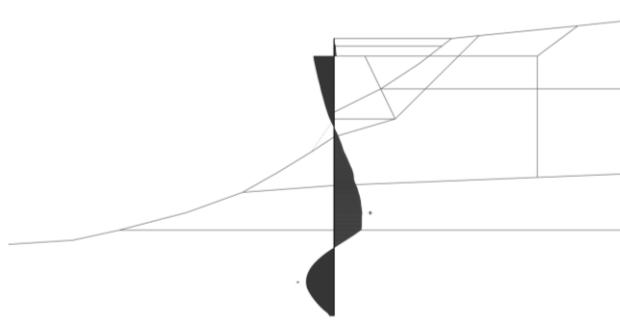


Рисунок 5 – Эпюра поперечных усилий в шпунтовой стенке

На рисунках 6–13 приведен расчет устойчивости откосной части сооружения для второго участка.

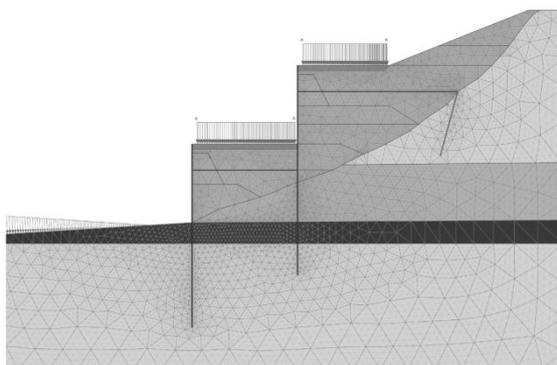


Рисунок 6 – Расчетная схема

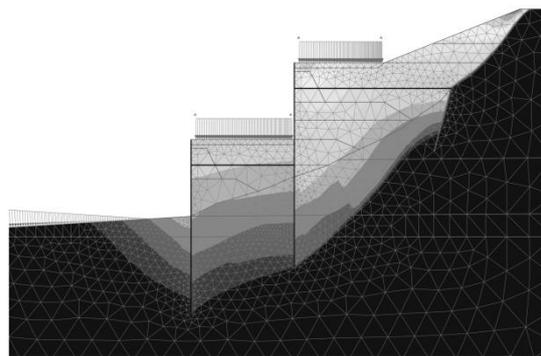
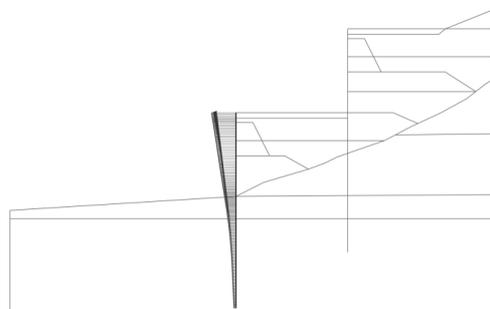
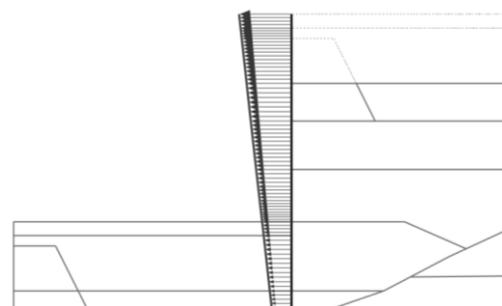


Рисунок 7 – Форма прогнозируемого обрушения



Примечание – Полные перемещения соответствуют величине 0,04360 м.

Рисунок 8 – Полные горизонтальные смещения в лицевой стенке



Примечание – Полные перемещения соответствуют величине 0,03771 м.

Рисунок 9 – Полные горизонтальные смещения в верхней стенке

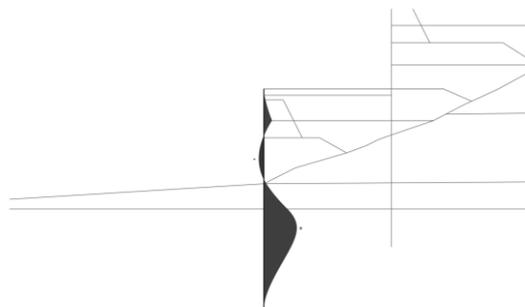


Рисунок 10 – Эпюра изгибающих моментов в лицевой стенке

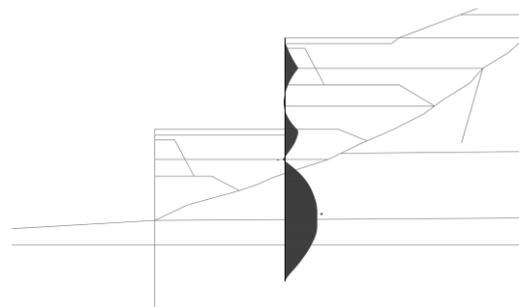


Рисунок 11 – Эпюра изгибающих моментов в верхней стенке

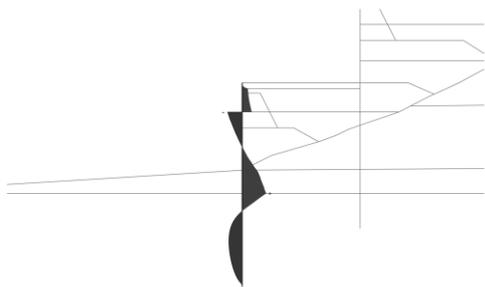


Рисунок 12 – Эпюра поперечных усилий в лицевой стенке

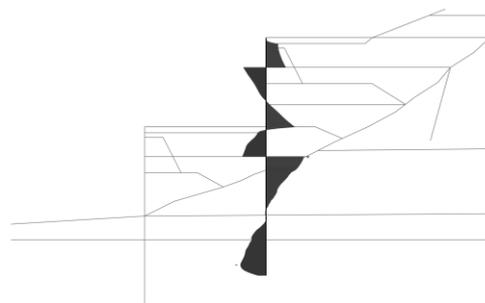


Рисунок 13 – Эпюра поперечных усилий в верхней стенке

Расчет показал, что требования устойчивости грунтовых массивов обеспечиваются принятыми проектными решениями.

Сечение на ПК 1 + 51,10 (конструкция в целом, общая устойчивость обеспечена).

По результатам моделирования, система из двух рядов подпорных стен, а также двух ярусов анкерных тяг соответствует требованиям надежности гидротехнического сооружения. Общая устойчивость конструкции обеспечена.

Проверка устойчивости откоса (Bishop): коэффициент запаса = 1,41 > 1,30.

Проверка устойчивости откоса (Шахунянц): коэффициент запаса = 1,25 = 1,25.

Проверка устойчивости откоса (Spencer): коэффициент запаса = 1,40 > 1,30.

Наиболее опасным в данном случае является сечение на ПК 1 + 51,10 (средний ярус):

- расчетная длина среднего яруса шпунта 8000 мм;
- длина тяги 9000 мм;
- длина анкерной сваи 2730 мм.

Жесткостные характеристики применяемого шпунта, а также геологическое строение грунтового массива, сложенного в значительной части из песков с нулевым сопротивлением сдвигу, приводят к необходимости закрепления подпорной стенки анкерными тягами с шагом 2,0 м [4, 5].

Данные решения позволяют выполнить условие обеспечения жесткости: расчетный прогиб 28,1 мм < 3000 : 50 = 60 мм.

Условие прочности будет обеспечено:

$$[M_{\text{расч.}}] = 13,13 \text{ кН}\cdot\text{м/пог. м} < [M_{\text{макс.}}] = 22,42 \text{ кН}\cdot\text{м/пог. м.}$$

После проведения расчета устойчивости откосной части сооружения и обобщения материалов полевых работ необходимо конструктивно выполнить ряд следующих мероприятий.

На первом участке:

- возвести шпунтовую стенку из композитных свай корытного профиля ПВХ-ШК-150 длиной 7,0 м с анкерным тросом (шагом 2 м). Низ свай принять на отметке 114,70 м. Опору анкерного троса выполнить из трубы стальной прямошовной, диаметром 219 × 4, L = 4 м. Для раскрепления со шпунтом построить распределительный пояс из швеллера стального. Произвести соединение анкерной опоры с распределительным поясом шпунта;

- по верху стенки установить шапочный брус размерами 400 × 400 мм из монолитного железобетона В25, F150, W6 со свободным сопряжением со шпунтом, поверх шапочного бруса установить металлическое ограждение с окраской;

- за подпорной стенкой установить дренажную призму из щебня;

- для пропуска дренажных вод через стенку высверлить отверстие под пластиковую трубу;

- за подпорной стенкой выполнить обратную засыпку песком средней крупности (привозным) с уплотнением;

- выполнить крепление горизонтальной поверхности площадки за подпорной стенкой;

- перед подпорной стенкой выполнить выкладку из камня.

На втором участке необходимо:

- возвести шпунтовую стенку первого яруса из композитных свай корытного профиля ПВХ-ШК-150 длиной 7,0 м с анкерным прутком (шагом 2 м). Стальным прутком диаметром 16 мм произвести объединение распределительных поясов шпунта первого и второго яруса. Для раскрепления со шпунтами установить распределительный пояс из швеллера стального. В качестве направляющей установить кондуктор из трубы стальной прямошовной и швеллера;

- между шпунтами для обеспечения жесткости установить дополнительные перемычки из шпунта ПВХ-ШК-150 длиной 7,0 м;

- возвести шпунтовую стенку второго яруса из композитных свай корытного профиля ПВХ-ШК-150 длиной 8,0 м с анкерным прутком (шагом 2 м). Анкерную опору анкерного прута выполнить из трубы стальной прямошовной. Для раскрепления со шпунтом установить распределительный пояс из швеллера стального;

- по верху стенки на первом и втором ярусе установить шапочный брус размерами 400 × 400 мм из монолитного железобетона В25, F150, W6 со свободным сопряжением со шпунтом;

- за подпорной установить дренажную призму из щебня в обойме из геотекстиля;

- для пропуска дренажных вод через стенку высверлить отверстие под пластиковую трубу;

- за подпорной стенкой выполнить обратную засыпку песком средней крупности (привозным) с уплотнением;

- крепление горизонтальной поверхности площадки непосредственно за подпорной стенкой произвести щебнем, которая будет переходить в шпунт второго яруса, и крепление горизонтальной поверхности площадки второго яруса непосредственно за подпорной стенкой также будет произведено щебнем. Затем необходимо выполнить посев трав по слою растительного грунта толщиной 15 см с устройством противозерозионной георешетки;

- перед подпорной выполнить выкладку камнем.

Выводы. Конструктивное выполнение предложенных мероприятий позволит повысить устойчивость откосной части сооружения, а также в будущем предотвратить размывание грунта.

Список использованных источников

1 Самарин, В. Ф. Влияние морозного пучения на вертикальные подпорные стенки / В. Ф. Самарин, О. Г. Козловский // Речной транспорт (XXI век). – 2009. – № 7(43). – С. 84–86.

2 Кореновский, А. М. Оценка безопасности гидротехнических сооружений водохранилища на р. Оёш Воробьевской оросительной системы Колыванского района Новосибирской области / А. М. Кореновский, А. А. Чураев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 4(68). – С. 49–53.

3 Берегоукрепление реки Ягодная Ряса Чаплыгинского района Липецкой области. Т. 3. Технологические и конструктивные решения линейного объекта: шифр 22-15-ТКР-03 / ООО «ЕвроГеоПроект». – Самара, 2015.

4 Анаев, А. Ш. Современные технологии берегоукрепления / А. Ш. Анаев // Инновационные технологии в природообустройстве: сб. науч. ст. – Нальчик, 2017. – С. 3–8.

5 Тамбиев, Р. Д. Оценка влияния берегоукрепительных работ на водный объект / Р. Д. Тамбиев // Молодежь, наука, творчество: сб. студенч. науч. ст. по материалам 81-й регион. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 429–430.

УДК 633.853.52:631.67

Г. Т. Балакай

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ВОДОСБЕРЕГАЮЩИЙ РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ СОИ НА ЮГЕ РОССИИ

Цель исследований – разработать карту-схему районирования территории Ростовской области по тепловлагообеспеченности и обосновать водосберегающие режимы орошения сои. Исследования показали, что критической фазой роста у сои в условиях Ростовской области является налив бобов. Более эффективно влага используется при поддержании влажности почвы до начала налива бобов не ниже 60 % НВ, а в дальнейшем до созревания не ниже 80 % НВ в слое 0,6 м, при этом коэффициент водопотребления наименьший (1223 м³/т), в то время как в варианте с поддержанием влажности почвы выше 80 % НВ в течение всей вегетации – 1311 м³/т. Соответственно, прибавка урожая в расчете на 1000 м³ оросительной воды была также самой высокой (929 кг против 802 кг). Применение водосберегающих режимов орошения позволяет уменьшить проектные оросительные нормы, например, в годы с 50 % обеспеченностью осадками для зоны с $K_u = 0,41 \dots 0,50$ с 2590 до 1950 м³/га, т. е. на 640 м³/га, или на 25 %.

Ключевые слова: соя, режим орошения, районирование, урожайность, прибавка урожая от орошения.

G. T. Balakai

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

WATER-SAVING IRRIGATION REGIME OF SOYBEANS IN THE SOUTH OF RUSSIA

The purpose of the research is to develop a map-scheme of territory zoning of Rostov Region in terms of heat and moisture availability and to justify water-saving soybean irrigation regimes. The studies have shown that the critical phase of soybeans growth in Rostov region is the beans ripening. Moisture is used more efficiently to maintain soil moisture before the start of the bean ripening at least by 60 % HB, and further to maturity not less than 80 % HB in the 0.6 m layer while the water consumption coefficient is the smallest (1223 m³ per t) while in the version with soil moisture content above 80 % HB throughout the vegetation period is 1311 m³ per t. Accordingly, the increase in yield per 1000 m³ of irrigation water was also the highest (929 kg vs 802 kg). The use of water-saving irrigation regimes makes it possible to reduce the project irrigation standards, for example, in years with 50 % rainfall for the zone with $K_u = 0.41 \dots 0.50$ from 2590 to 1950 m³ per ha, i. e. 640 m³ per ha or by 25 %.

Key words: soybean, irrigation regime, zoning, yield, crop yield by irrigation.

Посевные площади сои с каждым годом увеличиваются благодаря ее уникальным свойствам накапливать в семенах до 55 % белка и до 25 % масла. Основное ее назначение – получение пищевого растительного масла и высокобелковых шротов для изготовления комбикормов. В кормопроизводстве известно, что из-за несбалансированности кормов по белку, и особенно незаменимым аминокислотам, до 20–25 % кормов расходуется непроизводительно. Наличие же в семенах сои более 300 г белка на 1 кормовую единицу позволяет сбалансировать по белку и лизину 5–6 к. е. зерна кукурузы или 10 к. е. ячменя [1, 2]. Это объясняет, почему мировые посевные площади под соей постоянно увеличивались и составляли в 1955 г. 17 млн га, в 1975 г. – 46,5 млн га,

в 1995 г. – около 70 млн га, в 2005 г. достигли 93 млн га при средней урожайности 2,3 т/га и валовом сборе 217 млн т. В 2017 г. посевные площади в мире составили уже 128 млн га и валовой сбор 324 млн т. Основными производителями соевых бобов остаются США и Бразилия. В этих странах ежегодно валовое производство сои достигает по 100–110 млн т. Из европейских стран на первое место с валовым производством 3,8 млн т/год в 2016 г. вышла Украина.

В России также наблюдается рост производства сои. Этому способствовало принятие отраслевой программы «Развитие производства и переработки сои в Российской Федерации на 2015–2020 годы». Основная цель программы – импортозамещение пищевой и кормовой соевой продукции к 2020 г., включая сою и продукты ее переработки: шрот, рыбные корма, изоляты, концентраты, мука, молоко, заменитель цельного молока и др., в объеме 130 млрд руб./год. Стратегическая задача программы – покрытие потребности в сое, равной: всего 12 млн т/год, в т. ч. на кормовые цели – 9 млн т, на пищевые цели – 3 млн т.

В 2017 г. в России произведено 3,5 млн т, или от 29 % потребности (рисунок 1).



Рисунок 1 – Динамика производства сои в РФ, 2010–2017 гг.

Как показывают данные о производстве сои на рисунке 1, прирост произошел в основном из-за увеличения посевных площадей с 1206 тыс. га в 2010 г. до 2547 тыс. га в 2017 г. Урожайность остается низкой, достигнув лучших показателей 1486 кг/га в 2016 г. Поэтому перед наукой стоят задачи поиска новых, современных элементов технологии возделывания сои, способствующих повышению урожайности в 1,5–2,0 раза, чтобы достигнуть показателя средней урожайности сои в мире 2480 кг/га в 2016 г. В США в 2016 г. средняя урожайность достигла 2980 кг/га, но это произошло из-за посева генно-модифицированной сои.

Посев генно-модифицированной сои в России запрещен, поэтому необходимо изыскивать другие способы повышения урожайности культуры. На юге России, отличающейся аридным климатом с недостаточным количеством и неравномерным выпадением осадков, основным фактором, способным увеличить урожайность в 2–3 раза и более, является искусственное повышение влагообеспеченности сои за счет орошения [3].

В ФГБНУ «РосНИИППМ» вопросами возделывания сои в условиях орошения занимаются с 1973 г. [4]. Отработаны все вопросы технологии возделывания сои при орошении, включающие:

- подбор районированных сортов для различных агроклиматических зон;

- подбор предшественников;
- сортовую агротехнику (сроки и способы посева, нормы высева и пр.);
- рациональный режим орошения и способы полива;
- оптимальный пищевой режим почвы, предусматривающий применение минеральных и бактериальных удобрений;
- интегрированную систему защиты растений от болезней, вредителей и сорняков, применение стимуляторов роста;
- возделывание сои на зерно в промежуточных (поукосных и пожнивных) посевах;
- технологию уборки и доработки урожая.

Освоение данной технологии позволяет получать при орошении более 40 ц/га зерна в условиях орошения, а на богарных землях в средневлажный год 15–20 ц/га, во влажные годы – до 20–25 ц/га и более.

В связи с увеличивающимся дефицитом ресурсов, в т. ч. оросительной воды, большое внимание в исследованиях уделяется ресурсосберегающим технологиям возделывания, и особенно водосберегающим режимам орошения сои. Исследования показали, что водосбережение в расчете на единицу продукции возможно разными путями: посевом засухоустойчивых сортов, посевом скороспелых сортов, внедрением дифференцированных режимов орошения по фазам роста сои, применением способов обработки почвы, способствующих накоплению естественных осадков и др.

В ранее проведенных исследованиях с дифференцированным режимом орошения сои по периодам: всходы – начало цветения, начало цветения – начало налива бобов и начало налива бобов – созревание, было установлено, что соя, как и большинство растений, имеет критические периоды развития, которые приходятся обычно на фазу цветения. Однако благодаря тому, что соя цветет в течение 20–25 сут и более, снижение влажности почвы в варианте 5 до 60 % НВ в фазе начала налива бобов, но с увеличением порога увлажнения до 80 % НВ в слое почвы 0,6 м с фазы начала налива бобов, когда цветение сои продолжается еще 12–15 сут, способствует формированию достаточно высокого урожая 2,88 т/га против 3,14 т/га в варианте с поддержанием влажности почвы выше 80 % НВ в течение всего периода (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность зерна сои в зависимости от дифференцированного режима орошения, ОПХ РООМС, в среднем за 1993–1995 гг.

Вариант	Урожайность зерна, т/га	Отклонение урожайности от контроля $\pm \Delta$, %	Индекс недобора урожая, %	Коэффициент водопотребления, м ³ /т	Оросительная норма, м ³ /га	Прибавка урожая на 1000 м ³ оросительной воды, кг
1) Без орошения	1,07	0	66	1717	-	-
2) 60-60-80 % НВ	2,29	+113	27	1481	1720	709
3) 60-80-80 % НВ	2,95	+175	6	1312	2280	824
4) 80-80-80 % НВ (контроль)	3,14	+193	0	1311	2580	802
5) 80-60-80 % НВ	2,88	+169	9	1223	1947	929
6) 80-80-60 % НВ	1,88	+75	40	1594	1320	613
Средняя НСР ₀₉₅	0,27	-	-	-	-	-

Данные таблицы 1 показывают, что более эффективно влага использовалась в варианте 5, где коэффициент водопотребления был наименьшим (1223 м³/т), в то время как в варианте 4 с поддержанием влажности почвы выше 80 % НВ в течение всей вегетации он составил 1311 м³/т. В варианте 5 прибавка урожая в расчете на 1000 м³ оросительной воды была также самой высокой: 929 кг против 802 кг в варианте 4 и 613 кг в варианте 6. Это доказывает, что критической фазой роста у сои является налив

бобов и при недостатке влаги, как это происходит при режиме орошения в варианте 6, значительно увеличиваются показатели коэффициента водопотребления (с 1123 до 1594 м³/т) и прибавка урожая в расчете на 1000 м³ оросительной воды снижается до 613 кг против 929 кг в варианте 5.

При проектировании и прогнозе режима орошения сои большое значение имеет степень естественной влагообеспеченности территории, так как чем выше обеспеченность территории влагой, тем ниже должна быть величина оросительной нормы. Для этих целей была разработана карта-схема районирования территории Ростовской области по степени влагообеспеченности сои (рисунок 2).

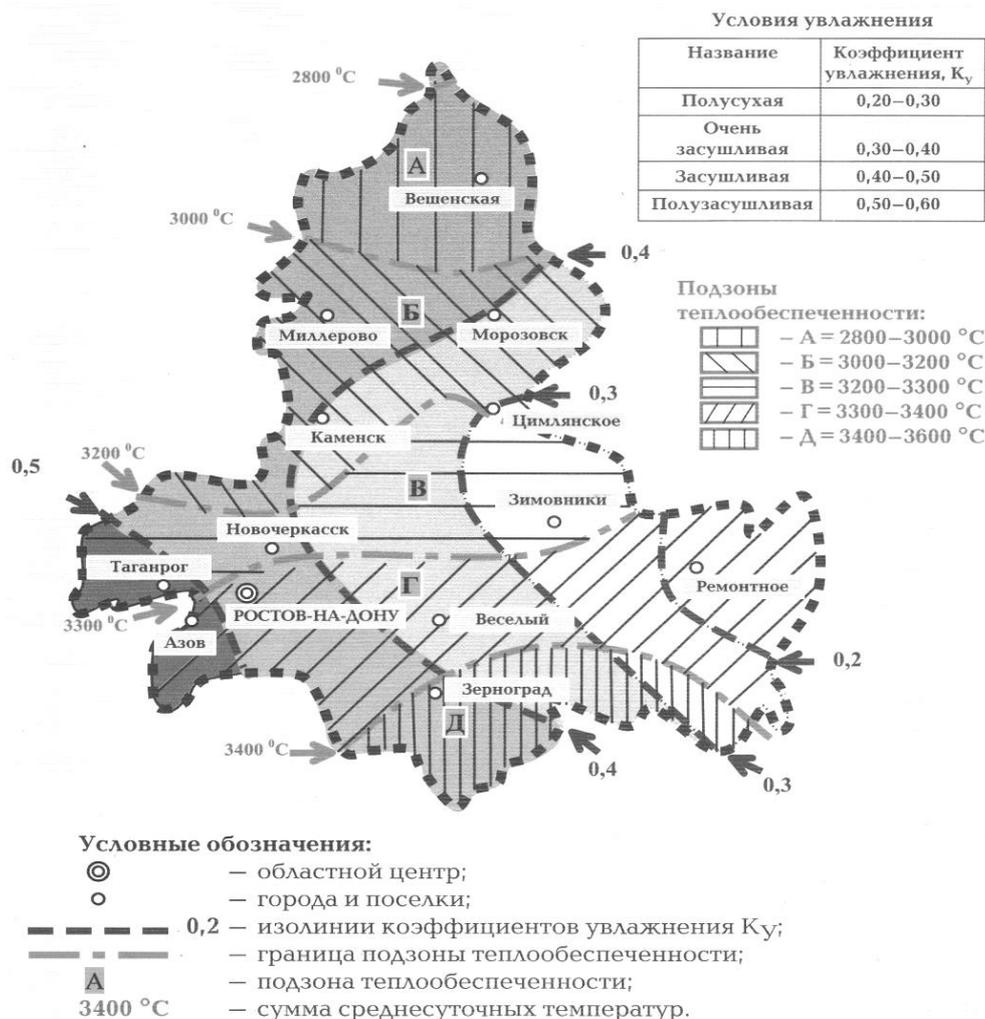


Рисунок 2 – Карта-схема агроклиматического районирования Ростовской области по тепловлагообеспеченности

Как видно из карты-схемы, территория Ростовской области на севере в подзоне А обеспечена тепловыми ресурсами (суммой среднесуточных температур выше 10 °С) в размере 2800–3000 °С, достаточными для возделывания ранних и среднеспелых сортов сои, а на юге ресурсы тепла в количестве 3400–3600 °С (подзона Д) достаточны для возделывания среднепоздних и поздних сортов сои.

Однако наряду с большим количеством тепловых ресурсов наблюдается большой дефицит увлажнения. Коэффициент природного увлажнения (K_u) изменяется от $K_u = 0,5$ на западе области до $K_u = 0,2$ на востоке. Условно можно принять, что обеспеченность естественными осадками в средний год составляет 50 % на западе области и только 20 % на востоке [5]. При этом оросительная норма сои изменяется в широких пределах в зависимости от обеспеченности года осадками и зоны увлажнения (таблица 2).

Таблица 2 – Проектные нормы водопотребности (оросительные нормы) сои для различных зон Ростовской области при различной обеспеченности осадками

Ку	Обеспеченность осадками, %				
	5	25	50	75	95
0,31–0,40	5940	4800	3380	1960	820
0,41–0,50	5290	4090	2590	1090	0

В м³/га

Данные таблицы 2 показывают, что при 50 % обеспеченности в зоне увлажнения с $K_u = 0,41 \dots 0,50$ проектная оросительная норма сои составляет 2590 м³/га, а в зоне с $K_u = 0,31 \dots 0,40$ увеличивается до 3380 м³/га. Эта закономерность сохраняется и для других культур. Применение водосберегающих режимов орошения позволит уменьшить оросительные нормы, например, в годы с 50 % обеспеченностью осадками для зоны $K_u = 0,41 \dots 0,50$ с 2590 до 1950 м³/га, т. е. на 640 м³/га, или 25 %, при недоборе урожая 9 %.

На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы:

- критической фазой роста у сои является налив бобов;
- более эффективно влага используется при поддержании влажности почвы в фазе начала цветения не ниже 60 % НВ, а с наступления фазы начала налива бобов влажность почвы в слое 0,6 м поддерживается не ниже 80 % НВ. При этом коэффициент водопотребления был наименьшим (1223 м³/т), в то время как в варианте с поддержанием влажности почвы выше 80 % НВ в течение всей вегетации составил 1311 м³/т, соответственно изменялась и прибавка урожая в расчете на 1000 м³ оросительной воды – 929 кг против 802 кг;
- применение водосберегающих режимов орошения позволяет уменьшить проектные оросительные нормы, например, в годы с 50 % обеспеченностью осадками для зоны $K_u = 0,41 \dots 0,50$ с 2590 до 1950 м³/га, т. е. на 640 м³/га, или 25 %.

Список использованных источников

- 1 Шевченко, П. Д. Кормопроизводство степной зоны России: монография / П. Д. Шевченко, Г. Т. Балакай. – Новочеркасск: ОНИКС+, 2007. – 421 с.
- 2 Балакай, Г. Т. Научные основы возделывания сои на орошаемых землях Северного Кавказа: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02 / Балакай Георгий Трифонович. – Новочеркасск, 2000. – 51 с.
- 3 Балакай, Г. Т. Поволжье – перспективная зона для возделывания сои / Г. Т. Балакай, Н. И. Балакай // Земледелие. – 2010. – № 3. – С. 16–18.
- 4 Балакай, Г. Т. Соя на орошаемых землях: монография / Г. Т. Балакай. – М.: Мелиоводинформ, 1999. – 198 с.
- 5 Нормы водопотребности и экологически безопасные режимы орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: рекомендации / А. В. Колганов [и др.]. – М.: Эдель-М, 2000. – 152 с.

УДК 631.672.4

А. А. Кузьмичев, Т. С. Пономаренко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНОГО СТОКА ДЛЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ОРОШЕНИЯ

В статье представлен методологический подход к использованию местных водных ресурсов для вовлечения в сельскохозяйственный оборот дополнительных площадей орошения. Рекомендации разработаны на основе исследований, проведенных для условий предгорной зоны Республики Крым. Для исследований применялись современные средства компьютерного цифрового имитационного моделирования и ГИС-инструментов.

Ключевые слова: местный сток, дополнительные площади орошения, геоинформационные системы, имитационное моделирование, Республика Крым.

A. A. Kuz'michev, T. S. Ponomarenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE PROBLEM OF THE LOCAL RUNOFF USE FOR INVOLVING ADDITIONAL IRRIGATION AREAS INTO AGRICULTURE

The methodological approach to the use of local water resources for the involvement of additional irrigation areas into agriculture is presented. The recommendations were developed on the basis of studies conducted for the conditions of the foothill zone of the Republic of Crimea. The modern means of computer digital simulation and GIS were used for research.

Keywords: local runoff, additional irrigated areas, geoinformational systems, simulation modeling, Republic of Crimea.

Одним из крупнейших потребителей водных ресурсов в России является агропромышленный комплекс, на долю которого приходится 24 % общего объема использованной воды. Сельское хозяйство является одним из основных водопользователей за счет такой емкой статьи, как орошение. Таким образом, экономически эффективное и социально ориентированное развитие АПК в значительной мере зависит от состояния и функционирования мелиоративно-водохозяйственного комплекса [1].

Перспективными для развития орошаемого земледелия являются южные районы европейской части Российской Федерации, в частности вступившая в состав России Автономная Республика Крым [2].

Орошаемое земледелие Республики Крым базируется на водных ресурсах Северо-Крымского канала. Перекрытие Украиной в 2014 г. внешнего водоисточника и усиление дефицита водных ресурсов в Крымском регионе привело к формированию ряда проблем, в т. ч. и в аграрном секторе [3].

В условиях недостаточного увлажнения и катастрофического недостатка водных ресурсов Минсельхозом России совместно с региональными властями принимаются меры по изменению структуры посевных площадей в пользу более засухоустойчивых культур. Орошаемое же земледелие уходит в районы, где возможно использование вод местного стока. Это определяет задачу разработки методологических подходов к использованию местного стока для вовлечения в сельскохозяйственный оборот дополнительных площадей орошения, на территориях, ранее не орошаемых.

Поиск перспективных участков орошения неразрывно связан с оценкой пространственно распределенных данных, таких как топографические и гидрологические условия. Оптимизировать выполнение подобных работ возможно на основе использования геоинформационных систем и систем водохозяйственного моделирования, которые позволяют решать весь спектр водохозяйственных задач путем создания имитационной модели на основе применения водобалансовых методов.

На рисунке 1 представлена блок-схема последовательности определения перспективных участков орошения.



Рисунок 1 – Блок-схема определения перспективных участков орошения

Количество и степень освоения ресурсов местного стока, доступных для целей орошения, предлагается оценивать на основе бассейново-ландшафтного подхода [4].

При этом для более полной оценки водных ресурсов исследования водохозяйственных балансов необходимо производить на уровне элементарных водосборов при различных условиях водности.

Для построения водосборных областей предварительно необходимо нанести элементы речной сети с определением их параметров и свойств.

В качестве инструментария автоматизированного определения контуров элементарных водосборов и определения их площади в нашей работе использовалась платформа для построения и использования геоинформационных систем ArcGIS с применением инструментов Spatial Analyst модуля ArcHydro.

Так, для условий предгорной зоны Республики Крым на водохозяйственном участке 21.01.00.002 были выделены водосборные области р. Альмы и определены их площади (рисунок 2).

Исходными данными послужил растр направления стока и местоположения замыкающих створов, назначаемых в устьях крупных притоков и балок.

Далее на картографическую основу наносятся территории, на которых невозможна организация орошения. К таким объектам относятся зоны особо охраняемых природных территорий, границы территорий городской застройки и зоны древесной и кустарниковой растительности, не предназначенные для сельскохозяйственного использования.

Одним из достоинств реализованного метода является возможность выполнения оценки перспективных участков орошения не только в разрезе водохозяйственных участков, но и в разрезе административного деления. Так, для условий Республики Крым границы особо охраняемых природных территорий были выделены для Севастопольского, Бахчисарайского и Симферопольского районов (рисунок 3).

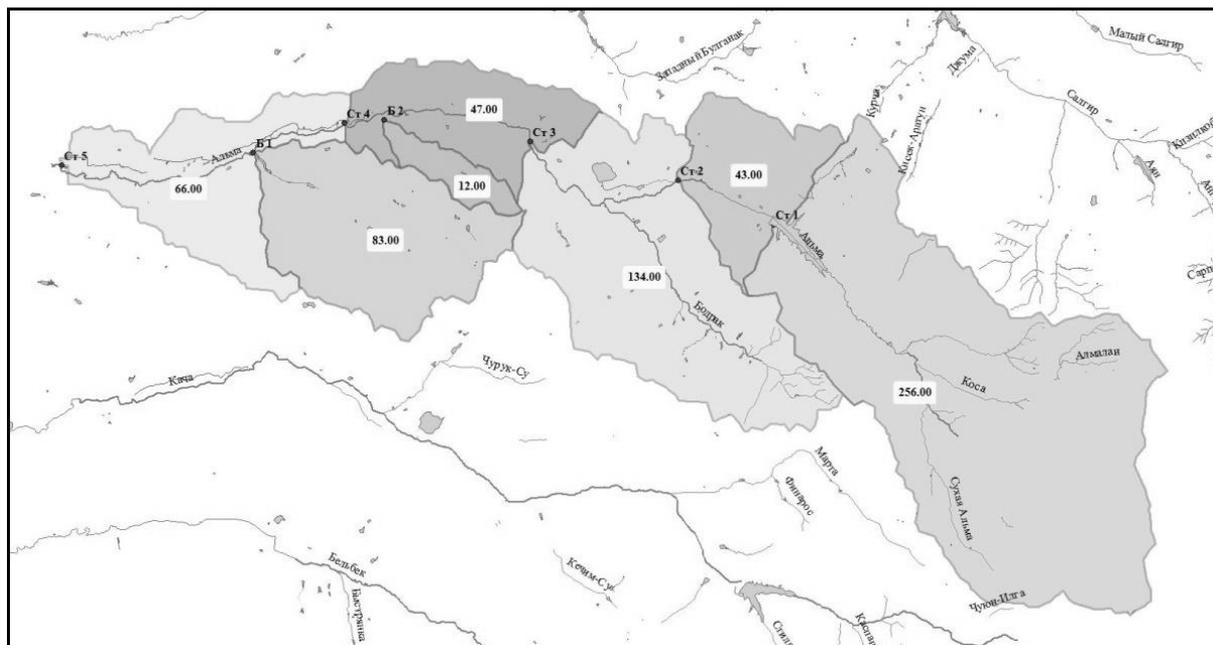


Рисунок 2 – Выделение водосборных площадей на р. Альме

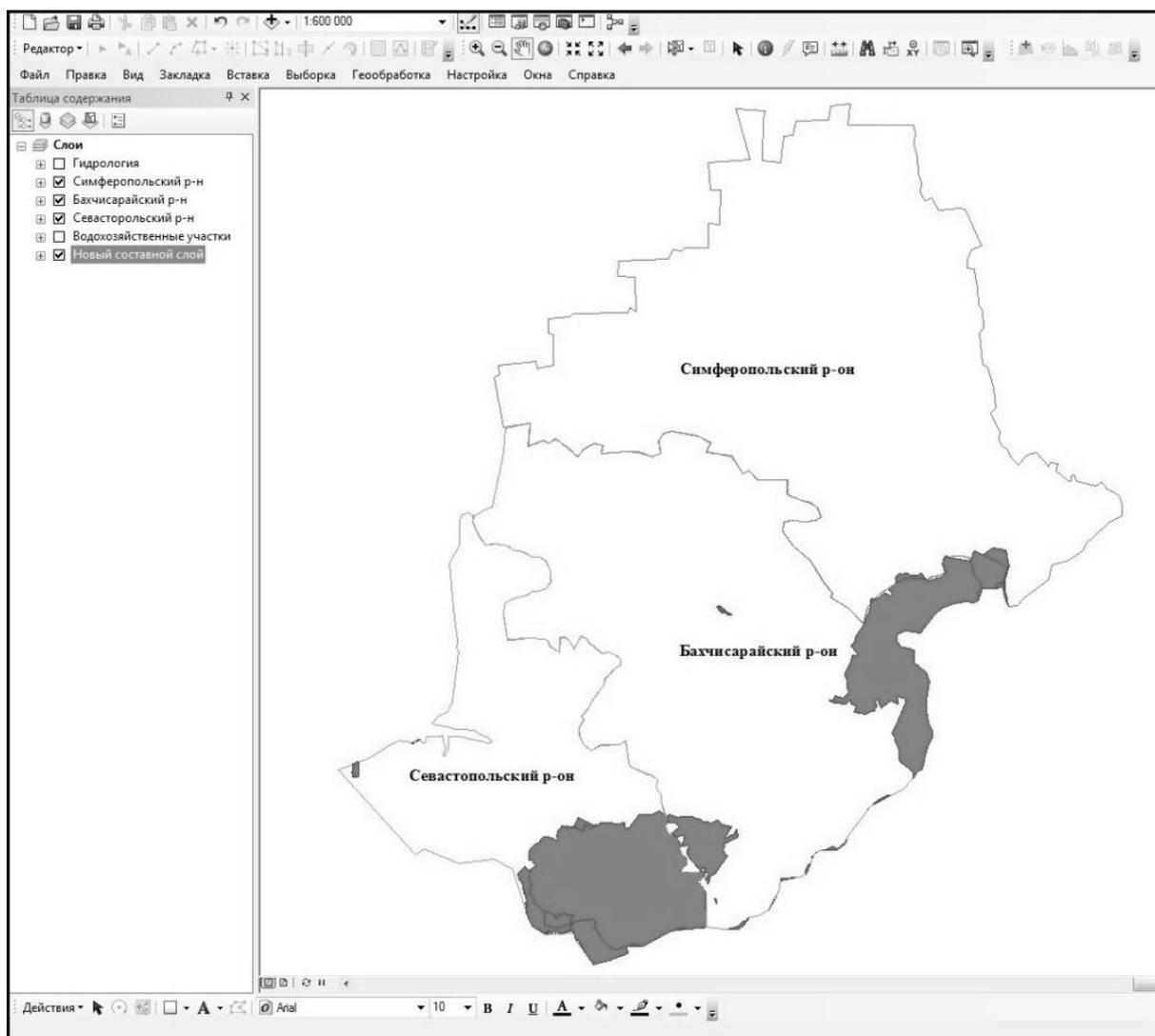


Рисунок 3 – Границы особо охраняемых природных территорий

Вся информация заносится в общую геоинформационную базу данных (ГИБД). Основные типы геоданных векторный и растровый. Растровые данные – это чаще всего спутниковые снимки либо сканированные бумажные карты. Основной тип данных, использующийся для создания ГИБД и составления электронных карт, векторный.

Векторные данные хранятся в формате шейп-файлов (.shp). Некоторые базовые шейп-файлы, представляющие границы государств, регионов, основные города и т. п., поставляются вместе с геоинформационной системой. Дополнительные данные для решения конкретных задач необходимо приобретать у коммерческих организаций, создавать самостоятельно либо загружать из доступных источников.

Для тех же районов Республики Крым на картографическую основу были нанесены участки древесной и кустарниковой растительности и территории городской застройки (рисунки 4, 5).

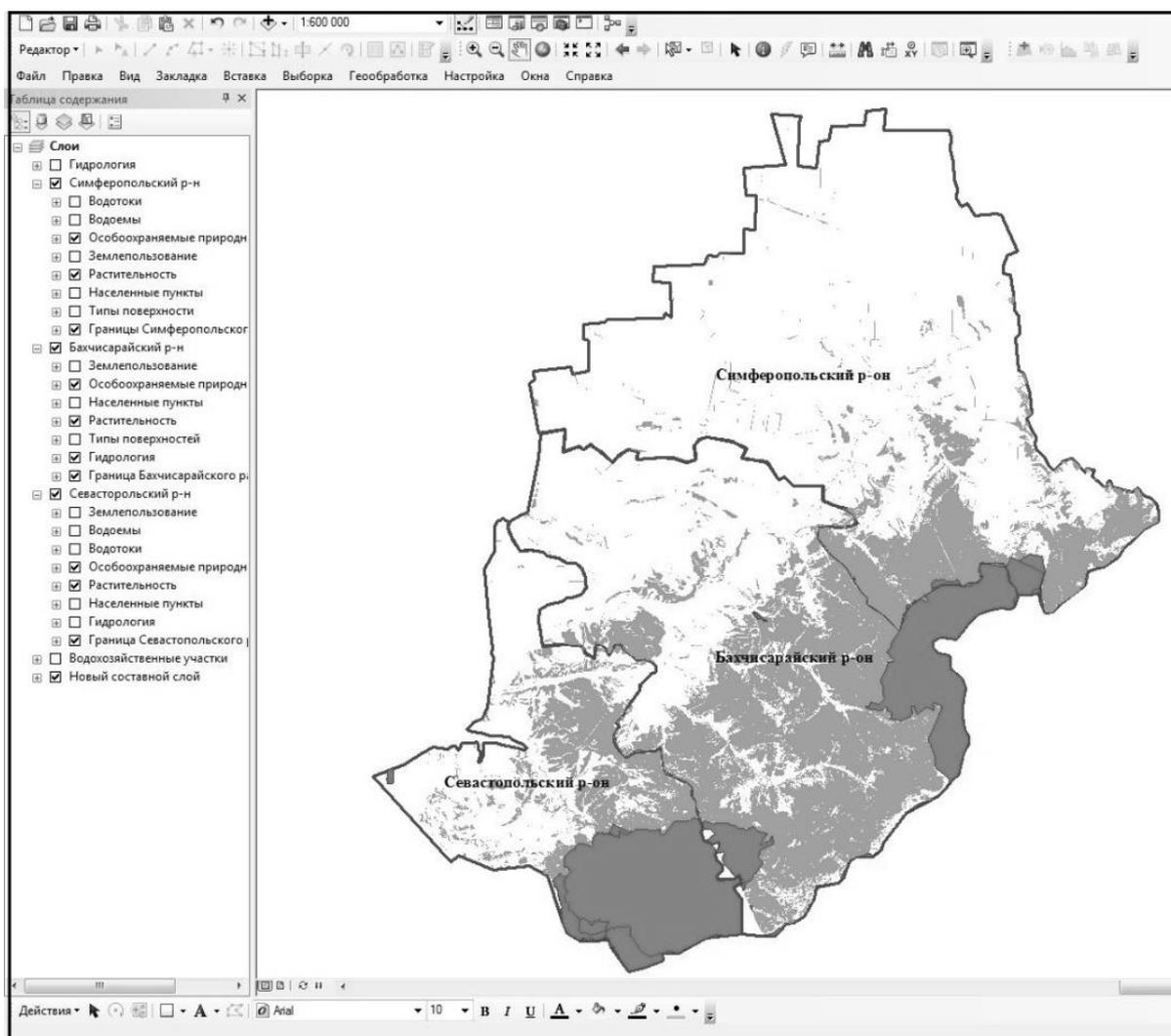


Рисунок 4 – Границы распространения кустарниковой и древесной растительности

Следующим этапом является нанесение границ земель сельскохозяйственного назначения. Следует подробно проработать тематические слои, характеризующие данные территории. Для условий предгорной зоны Республики Крым нами выделены полигоны, включающие пашни, сенокосы и пастбища, виноградники и сады (рисунок 6).

Для выработки оптимальных решений по использованию местных водных ресурсов с целью вовлечения в сельскохозяйственный оборот дополнительных площадей орошения необходима количественная оценка стока и степени его изменчивости по годам, месяцам и сезонам.

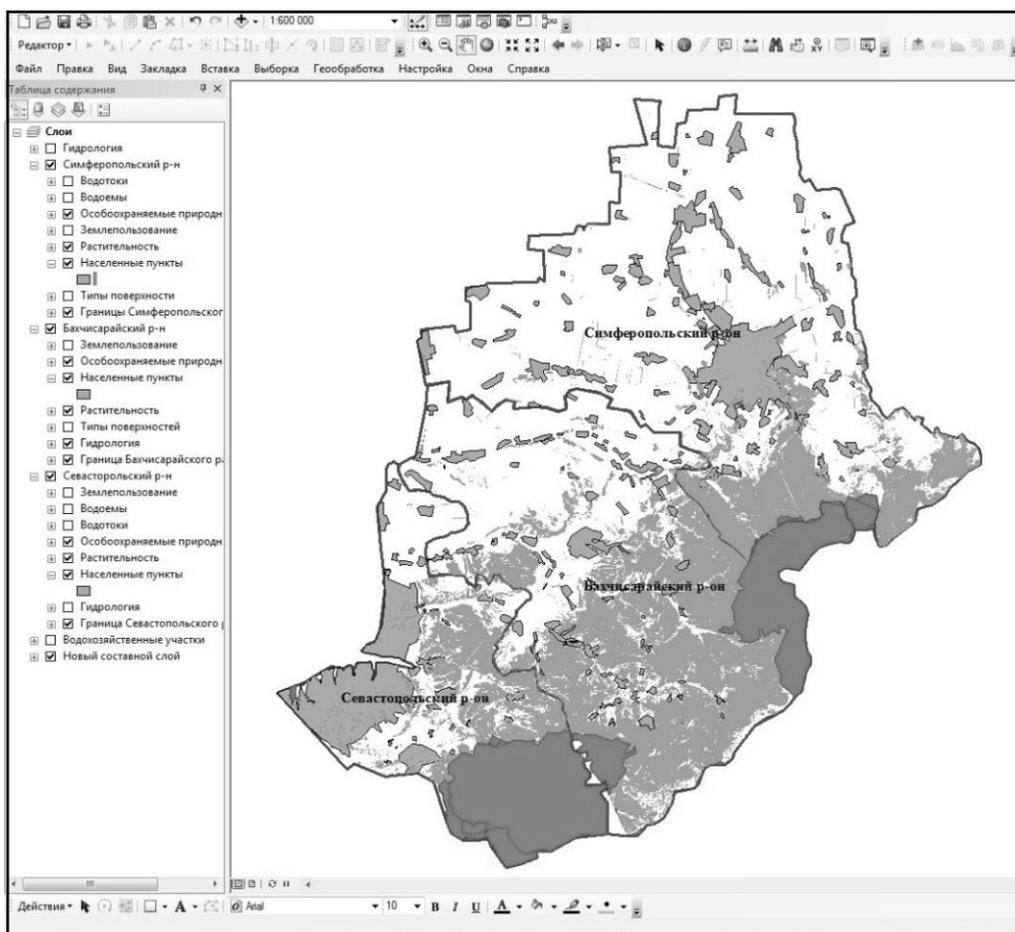


Рисунок 5 – Границы территорий городской застройки

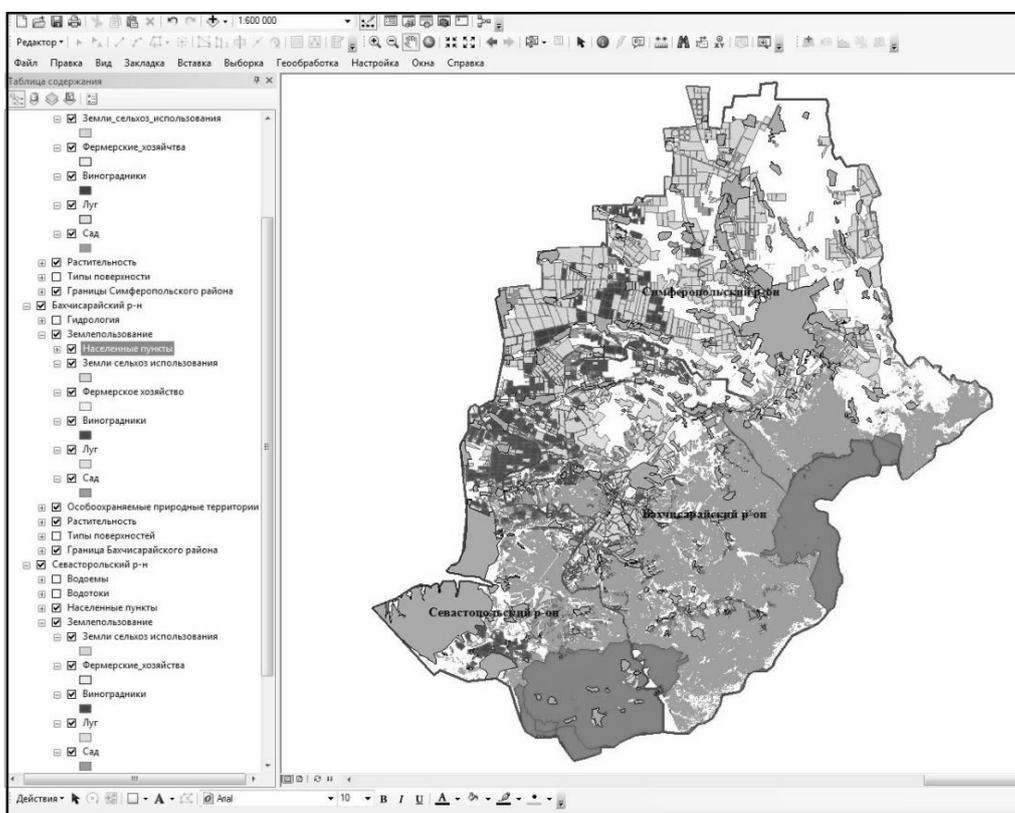


Рисунок 6 – Границы земель сельскохозяйственного назначения

Так как орошение является сезонным явлением, то для решения данной задачи необходимо знать внутригодовое помесечное распределение объемов стока.

Внутригодовое распределение стока рассчитывается для вероятностей превышения 50, 75 и 95 %. Для лет с заданной вероятностью превышения, используя метод равнообеспеченных величин, определяют месячные доли объема стока и количественные значения последних. Данные, полученные в результате гидрологических расчетов, используются в качестве исходной информации для имитационного водохозяйственного моделирования.

Так как системы водохозяйственного комплекса являются сложными системно-динамическими моделями, то предсказать влияние небольшого изменения на модель в целом достаточно сложно. Для исследований применяются современные средства компьютерного цифрового имитационного моделирования на основе применения водобалансовых методов, позволяющие решать различные водохозяйственные задачи без внедрения изменений в реальную систему.

В данной работе был использован многоцелевой программный комплекс для планирования использования водных ресурсов и управления ими MIKE HYDRO Basin, важной особенностью которого является возможность задавать приоритетность водохозяйственных нужд для каждого водопотребителя.

Итогом последовательного выполнения предложенных действий будет являться карта с нанесенными перспективными участками орошения. Результаты моделирования позволят последовательно оценить потребность в водных ресурсах для каждого водопользователя и, следовательно, определить участки, на которых возможна организация орошения.

Таким образом, применение разработанной методологии позволит эффективно использовать воды местного стока для целей орошения.

Применение ГИС-инструментов и комплексов моделирования значительно сокращает время изысканий и позволяет автоматизировать процессы вычисления, что, в свою очередь, позволит оценивать потенциал земель сельскохозяйственного назначения для орошения на крупных территориях в относительно короткие сроки.

Список использованных источников

1 Гостищев, В. Д. Анализ и перспективы развития инновационных технологий использования водно-энергетических ресурсов на примере мелиоративного комплекса Большого Ставропольского канала / В. Д. Гостищев, Г. А. Сенчуков, Т. С. Пономаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 81–87.

2 Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

3 Волкова, Н. Е. Дождевание как способ полива в Республике Крым / Н. Е. Волкова, Р. Ю. Захаров // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 4(68). – С. 83–89.

4 Бассейновый подход в экологических исследованиях: монография / Т. А. Трифонова [и др.]; под ред. Т. А. Трифоновой. – Владимир: Владимирполиграф, 2009. – 80 с.

УДК 626.823:627.83

А. А. Белоусов

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СХЕМА КЛАССИФИКАЦИИ РЕЧНЫХ НИЗКОНАПОРНЫХ ПЛОТИННЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Целью исследования является создание схемы классификации для оптимизации выбора водозаборных сооружений на стадии составления технического задания. Предлагается комплексная схема, которая позволяет учитывать экологические требования при проектировании оросительных систем, особенности водисточника, водозабора и принципы борьбы с наносами. Данная схема будет полезна при предпроектных проработках для выбора типа речного низконапорного плотинного водозаборного узла на стадии разработки технического задания.

Ключевые слова: проектирование, строительство и эксплуатация оросительных систем, низконапорный плотинный водозабор, классификация водозаборных узлов, гидротехнические сооружения, борьба с наносами на водозаборных узлах, требования оросительных систем при проектировании водозаборных сооружений.

A. A. Belousov

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

CLASSIFICATION SCHEME OF RIVER LOW PRESSURE DAM WATER INTAKE STRUCTURES

The aim of the research is to create a classification scheme for optimizing the selection of water intake facilities at the stage of drawing up the technical specifications. A comprehensive scheme that allows to take into account the environmental requirements in the irrigation systems design, features of the water source, water intake and sediment control principles is proposed. This scheme will be useful in pre-design studies for selecting the type of river low-pressure dam intake structure at the stage of development of technical specifications.

Key words: design, construction and operation of irrigation systems, low-pressure dam water intake, classification of water intake structures, hydraulic structures, control of sediments on water intake structures, requirements of irrigation systems in the design of water intakes.

Введение. Существующие схемы водозаборных сооружений несовершенны и имеют ряд недостатков в конструктивных элементах. Повышение технических, экологических, социальных требований обуславливает целесообразность их дальнейшего совершенствования.

В настоящее время в ФГБНУ «РосНИИПМ» ведутся научные работы в данном направлении [1, 2]. Направление является актуальным и требует дальнейших разработок.

Материалы и методы. При выборе типа водозабора (на стадии проектирования) рекомендовано широко использовать схемы классификации водозаборных сооружений [3]. По природным особенностям гидроузлы делятся на речные горные, предгорные и равнинные [4]. По гидравлическим особенностям – на боковые, поверхностные, фронтальные, решетчатые [5]. По области применения – боковой, с поперечной циркуляцией потока, фронтальный, ферганский, донно-решетчатый, послойно-решетчатый [6]. По особенностям борьбы с наносами – двусторонний фронтальный, боковой, решетчатый, улучшенный горный, водозаборные узлы с косонаправленными циркуляционными порогами [7].

Имеются схемы районирования водозаборных сооружений, комплексно учитывающие природные, технические и эксплуатационные факторы [3]. Существующие деления не всегда отличаются строгостью: боковой тип может быть с использованием поперечной циркуляции потока, боковых решетчатых водоприемников; фронтальный – с использованием поперечной циркуляции потока, донно- и послойно-решетчатых водоприемников; с поперечной циркуляцией потока – с фронтальным и боковым; решетчатый и улучшенный – фронтальным и с поперечной циркуляцией потока; с косонаправленными циркуляционными порогами – фронтальным, боковым, с поперечной

циркуляцией потока и пр. Дальнейшее совершенствование схемы классификации выполнено на основе учета природных условий делением русел рек по участкам; требований оросительных систем – ограничениями при водозаборе; особенностей забора воды – гидравлическими условиями; очистки воды от наносов – этапностью и составом основных технических средств борьбы с ними.

В соответствии с существующими рекомендациями [3–8] основные участки рек: горный, предгорный, равнинный. Изменение средних продольных уклонов русел соответственно от 0,002 до 0,2; от 0,0005 до 0,02; от 0,00001 до 0,005; максимальных расходов – от 10 до 10000; от 10 до 20000 и от 10 до 200000 м³/с.

В качестве основных требований оросительных систем приняты: обеспечение планового водозабора и водоподачи, очистка воды от наносов, плавника и шуги, подача воды на один и два берега. Ограничения по водозабору косвенно отражаются значением коэффициента водозабора: малый до 0,4, средний от 0,4 до 0,6, повышенный от 0,6 до 0,8 и высокий от 0,8 до 1,0.

Гидравлические условия водозабора учитываются особенностями потока в плане, по глубине и структуре. В плане – боковой и фронтальный типы; по глубине – поверхностный, послонный и донный; по структуре – боковое смещение струй у водоприемника, вдоль порогов с перераспределением удельных расходов воды, встречные донные течения.

Очистка воды от наносов поэтапная: в верхнем бьефе задерживаются и регулируются влекомые наносы средними диаметрами от 10 до 100 см, в створе водозабора сбрасываются в нижний бьеф от 0,025 до 0,20 см, на головном участке канала от 0,0025 до 5 см.

Требования к качеству очистки воды определяются конструкцией оросительной системы, способом полива. На открытых системах ориентировочно допускаются фракции наносов с максимальным диаметром 0,25 мм и удельным содержанием по массе 2,0 г/дм³, при диаметре 0,15 мм удельное содержание по массе составит от 0,05 до 20 г/дм³. На закрытых системах при максимальном диаметре 0,25 мм удельное содержание по массе 0,05–10,0 г/дм³.

Основные технические элементы, используемые для борьбы с наносами, в нижнем и верхнем бьефах – прямолинейные и криволинейные зарегулированные русла. На участке водозабора – пороги, галереи, полоки, карманы. На головном участке канала – отстойники, пескогравиеловки.

Результаты и обсуждение. Разработанная схема классификации речных низконапорных плотинных водозаборных сооружений комплексно учитывает природные, эксплуатационные, гидравлические условия и особенности борьбы с наносами (таблица 1).

Согласно схеме при средних и малых коэффициентах водозабора на горных участках рек могут использоваться односторонние и двусторонние, боковые и фронтальные, поверхностные и донные, с подводным прямолинейным и криволинейным зарегулированным руслом, с порогом и галереями, пескогравиеловкой и отстойником водозаборные сооружения. Исходя из местных условий, накопленного опыта проектирования, строительства и эксплуатации выбираются простые, с малыми удельными капитальными вложениями и эксплуатационными затратами, надежные водозаборные сооружения.

При повышенных и высоких коэффициентах водозабора на горных участках рек используются односторонние и реже двусторонние сооружения, фронтальные и реже боковые, с приподнятой над дном водоприемной галереей и поверхностные, с подводным криволинейным и реже – прямолинейным зарегулированным руслом, косонаправленным ступенчатым порогом и отстойником с уступом на входе, периодическими гидравлическими промывками отложений наносов в бьефах сооружения. В этом случае прежде всего учитывается надежность водозабора и эксплуатационные затраты.

Таблица 1 – Схема классификации речных низконапорных плотинных водозаборных сооружений для горного участка рек

Ограничение водозабора		Гидравлические условия			Этап и средство борьбы с наносами		
Коэффициент водозабора	Отвод	План	Глубина	Поперечные течения	Верхний бьеф	Водоприемник	Головной участок канала
$\leq 0,4$	Односторонний, двусторонний	Боковой	Поверхностный	Боковое смещение струй в зоне водоприемника	Прямолинейное русло	Порог	Пескогравелировка, отстойник
$\leq 0,6$	Односторонний	Боковой, фронтальный	Поверхностный с приподнятой над дном водоприемной галереей	Поперечная циркуляция потока в подводящем канале	Криволинейное русло	Порог, галереи	Отстойник, пескогравелировка
$\leq 0,8$	Односторонний, двусторонний	Фронтальный, боковой	С приподнятой над дном водоприемной галереей, поверхностный	Поперечное течение с перераспределением удельных расходов в зоне водоприемника, встречное донное течение в зоне водоприемника	Прямолинейное русло	Порог ступенчатый, карман	Отстойник, пескогравелировка
$\leq 0,9$	Односторонний	Фронтальный, боковой	С приподнятой над дном водоприемной галереей, поверхностный	Поперечная циркуляция потока в подводящем русле, поперечное течение и перераспределение удельных расходов в зоне водоприемника или встречное донное течение	Криволинейное русло (жесткое крепление вдоль вогнутого берега)	Порог (ступенчатый, косонаправленный), карман	Отстойник (уступ на входе)
$\leq 1,0$	Односторонний, двусторонний	Фронтальный, боковой	С приподнятой над дном водоприемной галереей	Поперечное течение с перераспределением удельных расходов в зоне водоприемника, поперечная циркуляция потока в подводящем русле	Прямолинейное русло (жесткое крепление вдоль вогнутого берега), периодические гидравлические промывки	Порог (ступенчатый, косонаправленный), карман	Отстойник (уступ на входе, многокамерный)

На предгорном участке дополнительно используются полоки, галереи, карманы, не применяется донный отбор воды. На равнинном – комплексы порогов, полоки с прорезью, послонный отбор воды, многокамерные отстойники; не применяются косо-направленные ступенчатые пороги, жесткое крепление вдоль вогнутого берега, уступ на входе в отстойную камеру и др.

Рассмотренная схема классификации может использоваться при подготовке материалов для предварительного выбора типа речного низконапорного плотинного водозаборного узла на стадии разработки технического задания.

Выводы. Предложенная схема классификации комплексно учитывает требования оросительной системы, особенности водоисточника, водозабора и борьбы с наносами.

Требования экологии учитываются косвенно путем установления допустимого значения коэффициента водозабора.

Комплексная схема классификации полезна при выборе речного низконапорного плотинного водозаборного узла на стадии составления технического задания.

В качестве примера в таблице 1 приводится схема классификации для горного участка.

Список использованных источников

1 Пат. 2606282 Российская Федерация, МПК⁶ Е 02 В 9/04, Е 03 В 13/00. Фильтрующее водозаборное сооружение на горных и предгорных участках рек / Щедрин В. Н., Васильев С. М., Лобанов Г. Л.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2015150357; заявл. 24.11.15; опубл. 04.04.17, Бюл. № 10. – 3 с.

2 Пат. 2615467 Российская Федерация, МПК⁶ Е 02 В 9/04, Е 02 В 3/32. Водозаборный узел оросительной системы / Щедрин В. Н., Шкура В. Н., Штанько А. С.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2015132308; заявл. 03.08.15; опубл. 10.01.17, Бюл. № 1. – 4 с.

3 Васильев, С. М. Состояние и перспективы использования орошаемых земель в Ростовской области / С. М. Васильев, Т. В. Сергеева // Вопросы мелиорации: информ. бюл. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2005. – № 7–8. – С. 29–36.

4 Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них: монография / В. Н. Щедрин [и др.]; под общ. ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 361 с.

5 История мелиорации России / Б. С. Маслов [и др.]; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации. – М.: Росинформагротех, 2002. – Т. 1. – 506 с.

6 Алтунин, С. Т. Водозаборные узлы и водохранилища / С. Т. Алтунин. – М.: Агропромиздат, 1964. – 429 с.

7 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 307 с.

8 Инструкция по проектированию низконапорных плотинных речных водозаборов оросительных систем: ВСН-П-14-76: введ. в действие с 01.01.77 – М.: Союзводпроект, 1976. – 57 с.

УДК 631.67:633.11:633.15:633.34:631.582

П. В. Писаренко, Н. П. Малярчук, Г. М. Исакова, Д. А. Булыгин, И. Ю. Лужанский
Институт орошаемого земледелия Национальной академии аграрных наук Украины,
Херсон, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНА В КОРОТКОРОТАЦИОННОМ ОРОШАЕМОМ СЕВООБОРОТЕ

Цель научных исследований – повышение продуктивности пшеницы озимой, кукурузы на зерно и сои за счет детального изучения процессов формирования урожая в зависимости от применения разных режимов искусственного увлажнения и агротехнических мероприятий. Методы: полевой, количественно-весовой, лабораторный, математически-статистический. Результаты исследований показывают, что для получения рентабельности производства зерна на уровне 144 % с окупаемостью поливной воды $3,49 \text{ кг/м}^3$, наименьшим уплотнением почвы ($1,29 \text{ т/м}^3$) необходимо применять почвозащитный режим орошения: для кукурузы на зерно 80-80-80 % НВ и сои 60-80-60 % НВ в слое почвы 0,5 м, для пшеницы озимой 70-70-70 % НВ в слое почвы 0,3 м, что предусматривает назначение поливов в критический период роста и развития растений поливными нормами 250–300 $\text{м}^3/\text{га}$.

Ключевые слова: режим орошения, севооборот, плотность сложения, пористость, водопроницаемость, суммарное водопотребление, продуктивность.

P. V. Pisarenko, N. P. Malyarchuk, G. M. Isakova, D. A. Bulygin, I. Yu. Luzhanskiy
Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,
Kherson, Ukraine

OPTIMIZATION OF WATER RESOURCES USE IN GRAIN PRODUCTION IN A SHORT TERM IRRIGATED CROP ROTATION

The purpose of scientific research is to increase the productivity of winter wheat, grain corn and soybean by means of a thorough study of crop formation processes depending on the use of different modes of artificial moisturing and agrotechnical measures. The methods are field, quantitative-weight, laboratory, mathematical-statistical. Research results show that to obtain profitability of grain production at 144 % with a payback of irrigation water of 3.49 kg/m^3 , the least soil compaction (1.29 t/m^3), it is necessary to apply a soil-protection irrigation regime: it is 80-80-80 % HB for grain corn, 60-80-60 % HB for soybeans in 0.5 m soil layer, for winter wheat it is 70-70-70 % HB in 0.3 m soil layer, which involves the application of irrigation in a critical period of growth and development of plants with irrigation rates of 250–300 m^3/ha .

Key words: irrigation regime, crop rotation, bulk density, porosity, permeability, total water consumption, productivity.

Введение. Решение продовольственной проблемы, которая обостряется из-за экономического, энергетического и экологического кризиса при возрастании численности населения Земли и изменениях климата, требует разработки новых и усовершенствования существующих технологий выращивания сельскохозяйственных культур, обуславливает необходимость повышения продуктивности растений, в частности за счет новых сортов и гибридов, увеличения коэффициента продуктивности орошения, окупаемости минеральных удобрений и оптимизации расходов всех видов агроресурсов на фоне сохранения и улучшения плодородия почв и уменьшения нагрузки на агроценозы [1].

Режим орошения – один из самых важных элементов технологии выращивания сельскохозяйственных культур на поливных землях. Он должен обеспечить оптимизацию водного режима почвы и фитоклимата посевов, исключить гравитационные потери воды за границы зоны активного влагообмена и способствовать наиболее полному использованию растениями биоклиматического потенциала региона, плодородия почв, генетических особенностей сортов, питательных веществ органических и минеральных удобрений [2–4].

На современном этапе развития орошаемого земледелия известно несколько направлений, при которых реализуется три основных типа режимов орошения (биологически оптимальный, водосберегающий, почвозащитный) [5].

Биологически оптимальный режим орошения обеспечивает влажность почвы в диапазоне оптимального увлажнения, а значит и потенциальный уровень водопотребления культур на протяжении всего поливного сезона и наибольшую прибыль от орошения.

Водосберегающий режим орошения неоптимален с точки зрения покрытия дефицита водопотребления сельскохозяйственных культур. Он направлен на достижение экономии водных ресурсов и экологической безопасности орошения за счет ограничения водопотребления растений в некритические фазы их развития, когда это не приводит к существенным потерям урожая.

Почвозащитный режим орошения направлен на минимизацию технологического влияния на плодородие почв, улучшение физических и химических параметров, получение плановой урожайности и экономической эффективности.

Исследования проведены в отделе орошаемого земледелия Института орошаемого земледелия НААН в течение 2015–2017 гг.

Агротехника в опытах была общепринятой для данных культур, кроме факторов, которые изучались. Повторность в опыте 4-кратная, площадь посевной деланки – 450 м², учетная для культур сплошного и широкорядного способа посева – 50 и 19,3 м².

Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта

Культура	Режим орошения		
	биологически оптимальный	водосберегающий	почвозащитный
Соя	70-70-70*	60-70-60*	60-80-60*
Кукуруза на зерно	70-70-70**	70-80-70**	60-80-80**
Пшеница озимая	70-70-70***	80-80-80***	70-70-70*** (слой почвы 0,3 м)

Периоды роста и развития растений:

- соя*: 1) всходы – бутонизация; 2) бутонизация – цветение – налив бобов (критический период); 3) налив бобов – начало побурения среднего яруса;

- кукуруза на зерно**: 1) всходы – 9–10 листьев; 2) 9–10 листков – формирование зерна; 3) формирование зерна – восковая спелость зерна;

- пшеница озимая***: 1) возобновление вегетации – трубкование; 2) трубкование – налив зерна; 3) налив зерна – молочная спелость зерна.

Объектом изучения была темно-каштановая среднесуглинистая почва с глубиной гумусного горизонта 30–40 см, содержанием гумуса в пахотном слое 2,3 %, общего азота – 0,17 %, валового фосфора – 0,09 %, рН водной вытяжки – 6,8–7,3 ед.

Показатели плотности сложения почвы имеют влияние на скорость впитывания и фильтрации воды, которая обеспечивает накопление влаги в осенне-зимний период и рациональное ее использование растениями в течение вегетации. Оптимальная плотность сложения для большинства сельскохозяйственных культур составляет 1,1–1,3 т/м³. Поддерживать плотность сложения пахотного слоя на уровне, который отвечает биологическим требованиям культур, входящих в состав севооборота, можно главным образом за счет применения соответствующих типов орошения, а также способов и глубины обработки почвы [6, 7].

С целью оценки влияния разных схем полива пшеницы озимой, сои и кукурузы на зерно на изменение водно-физических свойств почвы установлено, что плотность сложения слоя почвы 0–40 см в начале вегетации при применении отвального разноглубинного рыхления составила 1,28 т/м³ (таблица 2). Анализируя материалы об уплотнении почвы в конце вегетации, можно сделать вывод о том, что медленнее всего этот процесс проходит при почвозащитном режиме орошения (1,29 т/м³), а быстрее всего при биологически оптимальном (1,32 т/м³).

Таблица 2 – Водно-физические свойства в слое почвы 0–40 см

Режим орошения	Плотность сложения, т/м ³		Пористость, %		Водопроницаемость, мм/мин	
	начало вегетации	конец вегетации	начало вегетации	конец вегетации	начало вегетации	конец вегетации
Биологически оптимальный	1,28	1,32	51,0	49,6	3,5	2,7
Водосберегающий	1,28	1,30	51,0	50,3	3,5	2,8
Почвозащитный	1,28	1,29	51,0	50,6	3,5	2,9

В прямой зависимости от плотности сложения пахотного слоя находится его пористость. В результате снижения пористости до 50 % и менее уменьшается биологическая активность почвы, ее фильтрация и наблюдается слабое развитие корневой системы. Оптимальные параметры общей пористости для сельскохозяйственных культур находятся в пределах 50–54 % от общего объема.

Результаты экспериментальных исследований, посвященных изучению общей пористости в слоях пахотного горизонта, свидетельствуют о снижении этого показателя в течение вегетации на 1,4; 0,7 и 0,4 % соответственно при применении биологически оптимального, водосберегающего и почвозащитного режимов орошения.

Одним из наиболее важных водно-физических свойств почвы, связанных с плотностью сложения и пористостью, является способность почвы вбирать и фильтровать через себя воду, которая подается на поле при вегетационных поливах и поступает с атмосферными осадками. Так, в период всходов водопроницаемость была на уровне 3,5 мм/мин. Уплотнение почвы и снижение общей пористости в конце вегетации сельскохозяйственных культур способствовали снижению водопроницаемости. Прослеживается четкая зависимость этого показателя от величины поливных норм и количества проведенных поливов, т. е. от разных режимов орошения. Наибольшее снижение водопроницаемости (на 0,8 мм/мин) отмечено при биологически оптимальном режиме орошения, которому отвечало максимальное количество поливов и оросительная норма. Изменение условий влагообеспеченности (водосберегающий режим орошения) улучшило водопроницаемость на 0,1 мм/мин относительно биологически оптимального режима орошения. Следует отметить положительное влияние почвозащитного режима орошения на этот показатель. Поливные нормы 250–300 м³/га меньше уплотняют почву, и потому скорость впитывания воды увеличивается при этом режиме на 0,2 мм/мин по сравнению с биологически оптимальным режимом орошения.

В среднем по севообороту для поддержания влажности почвы на уровне 70 % НВ в слое почвы 0,5 м (общепризнанный режим орошения) было проведено 5,5 полива.

Базирование водосберегающих режимов орошения при таких технологических мероприятиях, как снижение предполивного порога влажности почвы в отдельные не критические фазы развития культур севооборота, не изменило количества поливов, но уменьшило оросительную норму на 14 % на 1 га площади севооборота в среднем за годы исследований.

Почвозащитные режимы орошения сельскохозяйственных культур севооборота, которые предусматривают уменьшение расчетного слоя почвы или повышение предполивного порога влажности почвы в критические периоды до 80 % НВ, что позволяет проводить поливы небольшими поливными нормами (250–300 м³/га), увеличили количество поливов до семи, но уменьшили оросительную норму на 280 м³/га по отношению к биологически оптимальному режиму орошения.

Суммарное водопотребление в исследуемом севообороте находится в прямо

пропорциональной зависимости от величины оросительной нормы. Своего максимума (5090 м³/га) оно достигло при биологически оптимальном режиме орошения. Почти одинаковые значения этого показателя водного режима почвы отмечены в модулях почвозащитного и водосберегающего режимов орошения (таблица 3).

Таблица 3 – Баланс суммарного водопотребления севооборота в слое почвы 0–100 см при разных режимах орошения и коэффициент водопотребления

Режим орошения	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Составляющая баланса						Коэффициент водопотребления, м ³ /т
		почвенная влага		осадки		поливы		
		м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	
Биологически оптимальный	5090	853	17	1504	29	2730	54	727
Водосберегающий	4657	804	17	1504	32	2350	51	740
Почвозащитный	4750	772	16	1504	32	2475	52	715

В среднем на 1 га площади севооборота потребность в воде в варианте с биологически оптимальным режимом орошения обеспечивается на 17 % за счет продуктивных запасов, на 29 % за счет осадков и на 54 % за счет поливов. При водосберегающем и почвозащитном режимах орошения увеличивается количество использованной влаги из осадков (до 32 %), но снижается эффективность поливов до 51–52 %.

Насколько производительны растения тратят влагу на формирование единицы урожая, указывает коэффициент суммарного водопотребления.

В среднем за годы исследований более рациональное использование влаги для создания 1 т урожая (715 м³/т) наблюдается при поливах по схемам почвозащитного режима орошения.

Ухудшение условий водообеспечения в не критические периоды роста и развития растений (водосберегающий режим орошения) привело к снижению урожая и тем самым к росту этого показателя до 740 м³/т. При оптимальном орошении (биологически оптимальном режиме) коэффициент водопотребления составлял 727 м³/т.

Показатели продуктивности – важнейший критерий оценки севооборота. Урожайность кукурузы на зерно в зависимости от года проведения исследований и режима орошения колебалась от 13,3 до 15,2 т/га, сои – от 2,97 до 3,61 т/га и пшеницы озимой – от 6,03 до 7,65 т/га (таблица 4) [8].

Таблица 4 – Показатели продуктивности севооборота в среднем на 1 га его площади (среднее за годы исследований)

Режим орошения	Выход кормовых единиц, т/га	Выход зерновых единиц	Прибыль, грн./га	Рентабельность, %	Окупаемость поливной воды, кг/м ³
Биологически оптимальный	12,10	10,62	14593	143,4	3,22
Водосберегающий	11,29	9,88	13068	134,0	3,44
Почвозащитный	11,93	10,43	14252	144,1	3,49

Из анализа данных о кормовой ценности звеньев севооборота установлено, что наибольшим этот показатель был при биологически оптимальном режиме орошения (12,1 т/га). Назначение поливов при водосберегающем режиме снизило выход кормовых единиц до 11,29 т/га, а при почвозащитном режиме орошения наблюдается незначительное (на 0,17 т/га) снижение этого показателя по сравнению с оптимальным орошением. В такой же закономерности находится и выход зерновых единиц в севообороте.

Следует отметить бесспорное преимущество почвозащитного режима орошения по уровню рентабельности производства зерна, который достиг отметки 144,1 %.

Наивысшим при этом режиме орошения был и показатель окупаемости поливной воды, который (в среднем по фактору А) превышал показатели водосберегающего и биологически оптимального режимов орошения на 2,0–8,4 % соответственно.

Выводы. Для получения рентабельности производства зерна на уровне 144 % с окупаемостью поливной воды 3,49 кг/м³ и наименьшим уплотнением почвы (1,29 т/м³) необходимо применять почвозащитный режим орошения по схемам: для кукурузы на зерно 80-80-80 % НВ и сои 60-80-60 % НВ в слое почвы 0,5 м; пшеницы озимой – 70-70-70 % НВ в слое почвы 0,3 м, которые предусматривают проведение поливов небольшими нормами (250–300 м³/га) в критический период роста и развития растений.

Список использованных источников

1 Управление эколого-безопасными, водосберегающими и экономически обоснованными режимами орошения в разных эколого-агротелиоративных условиях Южной Степи Украины / под ред. В. А. Сташука. – Херсон: Гринь Д. С., 2011. – 172 с.

2 Писаренко, В. А. Особенности планирования режимов орошения в условиях дефицита водно-энергетических ресурсов / В. А. Писаренко // Актуальные проблемы эффективного использования орошаемых земель. – Херсон, 1999. – С. 8–12.

3 Писаренко, В. А. Рекомендации по режимам орошения сельскохозяйственных культур в Херсонской области / В. А. Писаренко, С. В. Коковихин, П. В. Писаренко. – Херсон: Айлант, 2005. – 20 с.

4 Ромащенко, М. И. Обоснование эколого-безопасных поливных норм / М. И. Ромащенко, О. И. Желтоног, Л. А. Филипенко // Вестник аграрной науки. – 1999. – № 11. – С. 53–59.

5 Ушкаренко, В. А. Орошаемое земледелие / В. А. Ушкаренко. – Киев: Урожай, 1994. – 225 с.

6 Методика полевых и лабораторных исследований на орошаемых землях: учеб. пособие / под ред. Р. А. Вожеговой. – Херсон: Гринь Д. С., 2014. – 286 с.

7 Статистический анализ результатов полевых исследований в земледелии: монография / В. А. Ушкаренко, Р. А. Вожегова, С. П. Голобородько, С. В. Коковихин. – Херсон: Айлант, 2013. – 410 с.

8 Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 415 с.

УДК 629.735.33

В. С. Бородин

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ И МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье представлен обзор беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для аэрофотосъемки, дана их характеристика и описаны основные их параметры. Сделан вывод о возможности их применения при ведении мониторинга водных объектов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат (БПЛА), беспилотная авиационная система (БАС), одномаршрутная аэрофотосъемка, многомаршрутная аэрофотосъемка, геодезическая съемка.

V. S. Borodin

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR GEODETIC WORKS AND WATER OBJECTS MONITORING

An overview of unmanned aerial vehicles intended for aerial photography is presented, their specifications are given and their main parameters are described. The conclusion is made on the possibility of their use in conducting water bodies monitoring.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), unmanned aerial system (UAS), single-route aerial photography, multi-route aerial photography, land survey.

В настоящее время крупномасштабная (М 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000) геодезическая съемка местности является одним из основных видов работ для получения карт, планов и цифровых моделей местности. Для данного вида работ одним из самых эффективных методов является аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Этот вариант работ предполагает минимизацию затраченного на выполнение работ времени, значительное сокращение стоимости работ и трудозатрат, а также повышение качества получаемого материала в сравнении с большинством традиционных методов (аэрофотосъемкой с самолета, получением данных со спутника и др.). Помимо этого метод беспилотной аэрофотосъемки выигрывает в относительной простоте получения материала и большей «автономности» (простоте) выбора места съемки.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) – летательный аппарат без экипажа на борту, использующий аэродинамический принцип создания подъемной силы с помощью фиксированного или вращающегося крыла (БПЛА самолетного и вертолетного типа), оснащенный двигателем и имеющий полезную нагрузку и продолжительность полета, достаточные для выполнения возложенных на него задач (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Типы беспилотных летательных аппаратов

Группа	Аэро-статический	Аэродинамический			Реактивный
		Гибкое крыло	Фиксированное крыло	Вращающееся крыло	
Безмоторные	Аэростаты	Воздушные змеи и аналоги безмоторных аппаратов сверхлегкой авиации (дельтапланы и др.)	Планеры	–	–
Моторные	Дирижабли	Аналоги моторных аппаратов сверхлегкой авиации (парапланы, дельтапланы и др.)	БПЛА самолетного типа	БПЛА вертолетного типа	Космические реактивные аппараты

Помимо этого БПЛА принято классифицировать по таким параметрам, как масса аппарата, время, высота и дальность полета (таблица 2) [2].

Таблица 2 – Классификация БПЛА

Тип	Масса аппарата, кг	Время полета, ч	Высота полета, м	Дальность полета, км
Сверхлегкие	до 10	до 1	до 1000	до 100
Легкие	до 50	более 1	в пределах 5000	от 100 до 350
Средние	до 1000	10–12	до 10000	до 1200
Тяжелые	более 1000	более 24	более 10000	более 1200

Также беспилотные аппараты делятся по способу управления:

- автоматическое (полет по заданным координатам с соблюдением заданной высоты и скорости контролируемым автопилотом);
- полуавтоматическое (полет проходит также по заданным параметрам под контролем автопилота, но оператор может контролировать и корректировать параметры);

- ручное (аппарат контролируется оператором в течение всего времени работ по съемке посредством пульта управления).

Для работ по аэрофотосъемке беспилотный аппарат необходимо рассматривать как беспилотную авиационную систему (БАС), состоящую из самого аппарата, полезной нагрузки (цифровой камеры, инфракрасной камеры и т. д.), бортовых приборов (автопилота, системы навигации, системы сбора и хранения полетной информации) и станции управления (систем ввода и вывода информации, системы контроля параметров полета БПЛА).

По характеру покрытия местности снимками аэрофотосъемку принято делить на одномаршрутную и многомаршрутную [3]:

- одномаршрутная съемка, при которой аппарат выполняет серию последовательных снимков, применяется при исследованиях протяженных объектов (речных долин, прибрежной полосы);

- многомаршрутная (площадная) аэрофотосъемка, при которой снимаемый участок сплошь покрывается серией параллельных прямолинейных аэросъемочных маршрутов, подходит прежде всего для топографических съемок и съемок «площадных» объектов.

Для данных видов съемки на относительно небольших площадях наиболее подходящими являются сверхлегкие и легкие беспилотные аппараты самолетного и вертолетного типа с автоматическим или полуавтоматическим управлением, в доступной ценовой категории, способные нести съемочное оборудование с высокой разрешающей способностью съемки.

На сегодняшний день производством БАС занимается большое количество компаний по всему миру. Рассмотрим некоторые образцы их продукции (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристики БПЛА

Модель	Geoscan 101 Geodesy	Geoscan 201 Geodesy	VolJet X8 Geo	Supercam S250	«Атлас 180 Око»	ZALA 421-16E2
Производитель	Группа компаний «Геоскан» [4]	Группа компаний «Геоскан» [5]	VolJet [6]	ООО «Финко» [7]	«Атлас-Аэро» [8]	Группа компаний ZALA AERO [9]
Размах крыла, м	1,38	2,22	2,12	2,5	1,8	2,8
Масса, кг	3,1	8,5	4,65	4,5	5	7,5
Высота полета, м (min/max)	100/4000	100/4000	-/5000	50/3600	100/5000	-/3600
Продолжительность полета, мин	до 60	до 180	90	180	до 150	–
Скорость полета, м/с	8-36	8-40	до 24	до 33	16-34	18-30
Протяженность полета, км	70	210	120	150	150	–
Площадь съемки за 1 полет, км ²	3–9	7–22	3,5–10	–	–	–
Тип двигателя	Электро	Электро	Электро	Электро	Электро	Электро

Исходя из вышеописанного, можно сделать вывод, что беспилотные летательные аппараты (беспилотные авиационные системы) способны в короткий срок осуществлять съемку больших площадей на местности (от 3 до 20 км² и более) и проводить

съемку линейных объектов (рек), получая при этом информацию высокого разрешения и с точной навигационной привязкой. Это позволяет использовать беспилотные аппараты при ведении мониторинга водных объектов и геодезической съемке территории.

Список использованных источников

1 Зинченко, О. Н. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс] / О. Н. Зинченко; АО «Раккурс». – М., 2011. – Режим доступа: http://racurs.ru/www_download/articles/UAV_1.pdf, 2018.

2 Митин, М. Д. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов / М. Д. Митин, Д. Б. Никольский // Геоматика. – 2013. – № 4. – С. 27–31.

3 Книжников, Ю. Ф. Аэрокосмические методы географических исследований / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцов, О. В. Тутубалина. – М.: Академия, 2004. – 336 с.

4 Геоскан 101 Геодезия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geoscan.aero/ru/products/bpla>, 2018.

5 Геоскан 201 Геодезия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geoscan.aero/ru/products/geoscan201/geo>, 2018.

6 Самолет VolJet X8 GEO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://voljet.ru/catalog/gotovyie-apparatyi/samoletyi/samolet-voljet-x8.html>, 2018.

7 БПЛА Supercam S250 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unmanned.ru/uav/s250.htm/>, 2018.

8 БПЛА «Атлас 180 Око» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atlas-aero.ru/bpla-atlas-180-geo-1/>, 2018.

9 Беспилотное воздушное судно ZALA 421-16E2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zala.aero/bespilotnoe-vozdushnoe-sudno-zala-421-16e2/>, 2018.

УДК 631.445.4:631.587

Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮЖНЫХ, ОРОШАЕМЫХ СЛАБОМИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ВОДОЙ

В статье рассматривается состояние черноземов южных, орошаемых слабоминерализованной водой, которая относится по опасности развития почвенных процессов к III и IV классам. Структурное состояние таких почв удовлетворительное, что способствует увеличению плотности сложения почв до 1,30 т/м³. По сравнению с неорошаемыми почвами в южном длительно орошаемом черноземе содержание токсичных солей увеличилось на 86 %. В составе почвенного поглощающего комплекса орошаемого чернозема количество обменного кальция в слое 0–40 см уменьшилось на 18 %, а содержание обменных магния и натрия увеличилось соответственно на 42 и 100 % по сравнению с богарой.

Ключевые слова: черноземы южные, слабоминерализованная вода, почвенный поглощающий комплекс, плотность сложения почв, орошение.

L. M. Dokuchaeva, R. E. Yurkova

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE STATE OF SOUTHERN CHERNOZEMS IRRIGATED BY LOW-MINERALIZED WATER

The state of southern chernozems irrigated with low-mineralized water which belongs to grades III and IV by hazards of developing soil processes is concerned. The structural condition of such soils is satisfactory that contributes to an increase in the density of soil composition to 1.30 t per m³. Compared with non-irrigated soils in the southern long-irrigated chernozem, the content of toxic salts increased by 86 %. In the composition of soil absorbing complex of irrigated chernozem the amount of exchangeable calcium in the 0–40 cm layer decreased by 18 % and the content of exchangeable magnesium and sodium increased, respectively, by 42 and 100 % compared with boghara.

Keywords: southern chernozem, low-mineralized water, soil absorbing complex, density of soil composition, irrigation.

Введение. Черноземы развиваются в условиях суббореального слабоаридного климата с хорошо выраженной сезонной контрастностью. Они делятся с севера на юг на следующие подтипы: оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные.

При большой широтной протяженности черноземной зоны различные фации черноземов существенно различаются между собой по климатическим показателям.

Оптимальные условия для черноземообразования складываются в южной части лесостепной зоны, в полосе типичных черноземов, где имеется максимальное количество растительной массы и определенный гидротермический режим. Севернее более влажный климат способствует большему выносу оснований из опада, образованию более ненасыщенных гумусовых кислот, что приводит к некоторому разрушению первичных минералов и появлению слабых признаков оподзоливания почв. К югу при нарастании дефицита влаги происходит уменьшение растительного опада, ухудшение его состава, что приводит к формированию менее богатых органическими веществами и элементами питания подтипов черноземных почв, в частности южных.

Дефицит влаги требует проведения поливов. Но уже в 80–90-е гг. XX в. стали появляться данные о неблагоприятных тенденциях в эволюции почв при орошении, особенно черноземов [1–3].

Многочисленные исследования показывают, что наиболее исследовано изменение свойств черноземов обыкновенных при орошении [3–7]. Проблема изучения изменения свойств почв при орошении остается актуальной задачей для принятия своевременных управленческих решений при разработке мероприятий по восстановлению и воспроизводству почвенного плодородия орошаемых земель.

Цель исследований – изучить влияние длительного орошения слабоминерализованной водой на состояние черноземов южных.

Материалы и методы. Установление влияния длительного орошения на свойства черноземов южных проводилось методом сравнительного анализа по двум ключевым участкам – орошаемому и неорошаемому. Участки расположены в ООО «Им. М. В. Фрунзе» Сальского района Ростовской области. Земли в этом хозяйстве орошаются более 30 лет. Источником орошения является Веселовское водохранилище. Минерализация поливной воды составляет 1,8–2,0 г/дм³, вода сульфатно-натриевого состава. Оросительные нормы при регулярном орошении составляли 2800–5000 м³/га, а поливные 400–600 м³/га. Грунтовые воды залегают глубже 3 м и не оказывают влияния на почвообразовательные процессы. Отбор образцов почв проводился на обоих участках после уборки сельскохозяйственных культур по слоям 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см в 5-кратной повторности. В почвенных образцах по общепринятым методикам определялись: агрегатный состав, состав водной вытяжки, состав почвенного поглощающего комплекса (ППК) (обменные формы кальция, магния, натрия), общий гумус.

В полевых условиях определены плотность сложения почвы и водопроницаемость.

Оценка изменения свойств почвы проведена согласно «Руководству по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель» [8]. Качество оросительной воды оценивалось по С. Я. Бездниной [9, 10].

Результаты и обсуждение. На изменение свойств южных черноземов отрицательное влияние в первую очередь оказывала оросительная вода (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика оросительной воды

Минерализация		Оценка воды по степени опасности развития процессов							
		хлоридного засоления		натриевого осолонцевания		магниевого осолонцевания		содообразования	
г/дм ³	класс	Cl ⁻	класс	Ca ²⁺ / Na ⁺	класс	Mg ²⁺ / Mg ²⁺ + Ca ²⁺	класс	(CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻) – (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)	класс
1,8	IV	6	III	0,27	IV	0,61	III	Ca ²⁺ > HCO ₃ ⁻	I

Примечание – Концентрация ионов выражена в ммоль(экв)/дм³.

Как видно из данных таблицы 1, вода по основным показателям относится к IV и III классам. Поливы такой водой могут вызвать вторичное засоление, натриевое и магниевое осолонцевание, что содействует ухудшению структуры и уплотнению почв.

Исследования, проведенные на ключевых участках, показали различия в свойствах южного чернозема при орошении и без него. Анализ водно-физических свойств чернозема южного в орошаемых и неорошаемых условиях представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Водно-физические свойства длительно орошаемого чернозема южного по сравнению с неорошаемым черноземом

Ключевой участок	Слой, см	Структурное состояние, %	Водопрочность агрегатов, %	Плотность сложения почвы, т/м ³	Водопроницаемость, мм/мин
Орошаемый	0–20	55	39	1,25	0,65
	20–40	53	37	1,35	
	0–40	54	38	1,30	
Неорошаемый	0–20	64	58	1,18	1,10
	20–40	62	54	1,22	
	0–40	63	56	1,20	

Структурное состояние почв в слое 0–40 см при сухом просеивании на орошаемом участке характеризовалось как удовлетворительное (54 %), в то время как на неорошаемом участке оно было хорошим (63 %). Аналогичная ситуация складывалась с водопрочностью агрегатов, определяемой при мокром просеивании, содержание таких агрегатов соответственно составляло 38 и 56 %. Разрушение агрегатов сопровождается уплотнением почв. На орошаемом участке плотность сложения почв равнялась 1,30 т/м³, на неорошаемых – 1,20 т/м³, что соответствовало сильно уплотненной и уплотненной пашне.

Изменение солевого состава южного чернозема под влиянием орошения сопровождалось (по сравнению с почвами неорошаемого участка) повышением содержания сульфат-ионов и ионов натрия в 1,5–5 раз и снижением количества кальция по всему метровому слою от 45 % в слое 0–20 см до 15 % в более глубоких слоях. В целом общее содержание солей в слое 0–40 см орошаемого чернозема южного увеличилось на 15 %, а токсичных – на 86 % (таблица 3). В то же время количество водорастворимого магния уменьшилось в слое 0–40 см на 33 %, а в нижних слоях – на 48 %. Щелочность не обнаружена ни при орошении, ни без него.

Таблица 3 – Влияние длительного орошения на засоление почвенного профиля чернозема южного при орошении минерализованной водой (средние значения)

Слой, см	Сумма ионов, %	Токсичные соли, %	Водорастворимые соли, ммоль(экв)/100 г почвы						pH	Щелочность, ммоль(экв)/100 г почвы	
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺			K ⁺
Орошаемый участок, средние значения, n = 5											
0–20	0,138	0,110	0,29	1,24	0,48	0,39	0,50	1,10	0,02	7,82	0,18
20–40	0,135	0,084	0,29	0,90	0,70	0,60	0,30	0,97	0,02	7,93	0,20
40–60	0,117	0,070	0,27	0,79	0,60	0,60	0,30	0,74	0,02	8,02	Ca > HCO ₃
60–80	0,145	0,095	0,30	0,90	0,84	0,60	0,40	1,02	0,02	8,40	0,24
80–100	0,139	0,081	0,21	0,94	0,78	0,70	0,30	0,91	0,02	8,40	0,08
Неорошаемый участок, средние значения, n = 5											
0–20	0,124	0,047	0,21	0,85	0,64	0,70	0,50	0,20	0,30	7,92	Ca > HCO ₃
20–40	0,113	0,057	0,24	0,77	0,62	0,70	0,70	0,16	0,07	7,89	Ca > HCO ₃
40–60	0,112	0,059	0,25	0,62	0,74	0,70	0,60	0,28	0,03	7,86	0,04
60–80	0,186	0,097	0,40	1,00	0,88	0,80	0,60	0,85	0,03	8,15	0,08
80–100	0,152	0,085	0,26	0,85	1,02	0,80	0,70	0,58	0,05	7,97	0,22

При орошении слабоминерализованной водой особой трансформации обычно подвергается состав ППК (таблица 4). Сравнение почвы, подвергшейся влиянию длительного орошения, с неорошаемой показало, что при орошении увеличивается сумма обменных катионов, особенно это характерно для верхних слоев почвы (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Влияние длительного орошения на состав обменных катионов чернозема южного при орошении минерализованной водой

Слой, см	∑ ППК, ммоль(экв)/100 г	% от ∑ ППК,		
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Орошаемый участок, средние значения, n = 5				
0–20	27,32	59	35	6
20–40	27,08	62	33	5
40–60	28,11	65	30	5
60–80	24,05	68	29	3
80–100	21,07	66	30	4
Неорошаемый участок, средние значения, n = 5				
0–20	23,01	73	23	3
20–40	22,44	73	24	3
40–60	23,63	69	26	5
60–80	26,25	68	31	13
80–100	25,01	63	28	14

Как и в случае с черноземом обыкновенным, влияние минерализованной оросительной воды особенно сильно проявилось в верхнем слое 0–60 см. Наибольшие изменения отмечались в верхнем слое 0–20 см. Так, под влиянием минерализованной воды уменьшилась на 19 % доля кальция в сумме обменных катионов и существенно, на 52 %, увеличилась доля обменного магния, доля обменного натрия повысилась в 2 раза. В слоях почвы глубже 20 см изменения были не столь существенными и составили в слое 20–40 см: для кальция – уменьшение на 15 %, для магния – повышение на 38 %, для натрия – повышение на 67 %; для слоя 40–60 см – 6; 15 и 0 %.

В целом для слоя 0–40 см чернозема южного орошаемого и неорошаемого состав ППК представлен на рисунке 1.

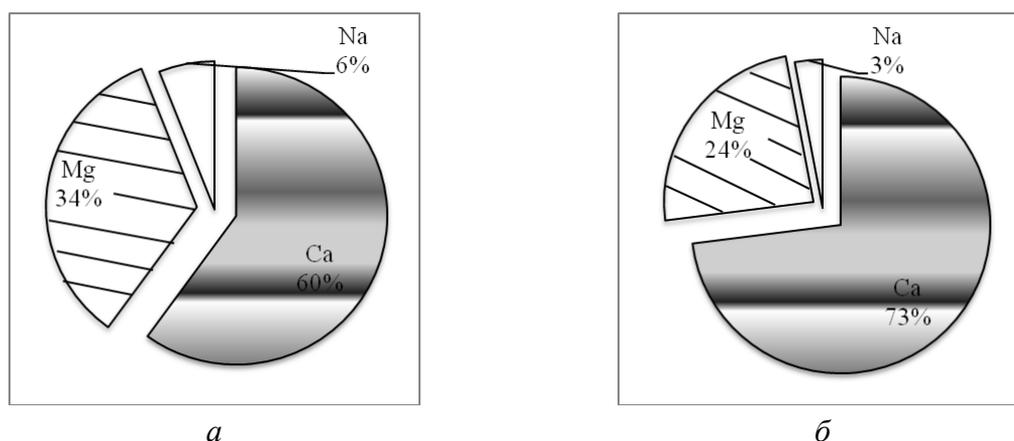


Рисунок 1 – Состав ППК в слое 0–40 см чернозема южного на орошаемом (а) и неорошаемом (б) участках

Полученные результаты свидетельствуют, что в южном черноземе при длительном орошении слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава содержание обменного кальция (Ca) в ППК уменьшилось на 18 %, количество обменного магния (Mg) увеличилось почти на 42 %, а обменного натрия (Na) – в 2 раза.

Содержание гумуса в слое 0–40 см южного чернозема на орошаемом участке составляло 3,78 %, на неорошаемом – 4,08 %, т. е. его сработка при орошении равнялась 8 %.

Выводы

1 Под влиянием длительного орошения слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава произошли значительные изменения в водно-физических и физико-химических свойствах чернозема южного.

2 Структурное состояние почв в слое 0–40 см при сухом просеивании на орошаемом участке характеризовалось как удовлетворительное (54 %), в то время как в неорошаемой почве оно было хорошим (63 %). Аналогичная ситуация складывалась с водопрочностью агрегатов, определяемой при мокром просеивании, содержание таких агрегатов соответственно составляло 38 и 56 %. Разрушение агрегатов сопровождается уплотнением почв. На орошаемом участке плотность сложения почв равнялась 1,30 т/м³, на неорошаемых – 1,20 т/м³, что соответствовало сильно уплотненной и уплотненной пашне.

3 Изменение солевого состава южного чернозема под влиянием орошения сопровождалось (по сравнению с почвами неорошаемого участка) повышением содержания сульфат-ионов и ионов натрия в 1,5–5 раз и снижением количества кальция по всему метровому слою от 45 % в слое 0–20 см до 15 % в более глубоких слоях. В целом общее содержание солей в слое 0–40 см орошаемого чернозема южного увеличилось на 15 %, а токсичных – на 86 %. В то же время количество водорастворимого магния уменьшилось в слое 0–40 см на 33 %, а в нижних слоях – на 48 %. Щелочность не обнаружена ни в условиях орошения, ни без него.

4 Состав ППК чернозема при длительном орошении в сравнении с богарой претерпел существенные изменения, а именно: содержание обменного кальция в слое 0–40 см уменьшилось на 18 %, а количество обменного магния и натрия увеличилось соответственно на 42 и 100 %.

Список использованных источников

1 Егоров, В. В. Об орошении черноземов / В. В. Егоров // Почвоведение. – 1984. – № 12. – С. 39–47.

2 Ковда, В. А. Проблемы использования и мелиорации степных земель / В. А. Ковда // Степные просторы. – 1980. – № 8. – С. 18–24.

3 Влияние орошения на свойства обыкновенных черноземов / Н. С. Скуратов [и др.] // Мелиорация и урожай. – 1987. – № 4. – С. 17–19.

4 Эволюция черноземов при орошении / В. Г. Розанов [и др.] // Русский чернозем – 100 лет после Докучаева. – М.: Наука, 1983. – С. 241–253.

5 Докучаева, Л. М. Изменение направленности почвенных процессов при снижении водной нагрузки на орошаемые земли: науч. обзор / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 54 с. – Деп. в ВИНТИ 07.07.12, № 292-В2012.

6 Влияние орошения на свойства черноземов Северного Кавказа / А. Т. Лисконов [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство: обзор. информ. / ЦБНТИ Минводстрой СССР. – М., 1990. – С. 50.

7 Скуратов, Н. С. Использование и охрана орошаемых черноземов / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2001. – 246 с.

8 Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова, Г. И. Табала; под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 137 с.

9 Безднина, С. Я. Качество воды для орошения: принципы и методы оценки / С. Я. Безднина; под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: РОМА, 1997. – 185 с.

10 ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения. – Введ. 1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.

УДК 627.512

Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПРОГНОЗ ПРОХОЖДЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ В РУСЛЕ РЕКИ КАЧИ (РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

Целью данного исследования являлось прогнозирование прохождения максимальных паводков редкой повторяемости (0,5 и 3,0 % обеспеченности стока) на р. Каче, одной из крупнейших рек Крымского полуострова. В результате расчета были определены расходы и уровни. Было найдено плановое положение зоны затопления, а также площади затопления семи населенных пунктов, ранжированные по обеспеченности стока для 3,0 % – 1,18 км², для 0,5 % – 1,55 км². Полученные результаты уверенно говорят: морфометрия р. Качи (русло и пойменная территория) такова, что в случае неблагоприятных погодных условий (ливней и таяния снега) в русле очень быстро формируются значительные дождевые паводки, которые в итоге создают угрозу подтопления для расположенных ниже по течению населенных пунктов и объектов экономики.

Ключевые слова: река Кача, Крым, бассейн реки, русловые участки, водохозяйственный комплекс, орошение, водоснабжение, зона затопления, максимальный паводок, моделирование.

T. S. Ponomarenko, A. N. Ryzhakov, A. V. Breeva

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

PREDICTING THE MAXIMUM FLOW PASSING IN THE KACHI RIVER BED (COMPUTER SIMULATION RESULTS)

The purpose of the study was the prediction of the maximum floods of rare frequency (0.5 and 3.0 % of the flow probability) passing on the Kacha river, one of the largest rivers of the Crimean peninsula. The discharges and levels were determined as a result of the calculation. The planned position of the flood zone as well as the flooded area of seven settlements ranked by the flow probability for 3.0 % – 1.18 km², for 0.5 % – 1.55 km² were found. The obtained results confidently say that morphometry of the Kacha river (the river bed and floodplain territory) is such that in case of unfavorable weather conditions (heavy rains and melting snow) considerable rainfall floods are formed in the course of the river very quickly, that ultimately pose a threat of flooding for downstream settlements and economic facilities.

Key words: the Kacha River, Crimea, river basin, channel sites, water industry complex, irrigation, water supply, flood zone, maximum flood, modeling.

Введение. В рамках разработки сценарных решений по использованию водных ресурсов рек предгорной зоны Республики Крым для вовлечения в сельскохозяйственный оборот дополнительных площадей орошения была рассмотрена также возможность возникновения на р. Каче чрезвычайных ситуаций в результате паводка.

Разработка эффективных превентивных мероприятий является одной из главных задач современной науки, изучающей наводнения и паводки. Надежное их прогнозирование требует определения объема, временных параметров, скорости русловых потоков на всем протяжении реки. Один из способов получения таких данных – компьютерное моделирование.

Река Кача имеет длину русла 69 км. Площадь ее водосборного бассейна составляет 573 км², а среднемноголетний расход воды (у с. Суворово) – 1,24 м³/с, что составляет 39 млн м³/год [1], уклон реки 8,6 м/км [2].

Начало реки находится на северных склонах Главной гряды Крымских гор и образуется от слияния двух рек – Писары и Биюк-Узень. Впадает Кача в Черное море в 10 км севернее района Северная сторона г. Севастополя. Основные притоки – Чурук-Су, Стиля и Марта. Берега высокие, каменистые, русло широкое, дно почти на всем протяжении галечное. Большая часть притоков впадает в Качу в ее верхнем течении. Во время сильных дождей, а также осенью и зимой Кача может сильно разливаться. Летом в связи с использованием воды на орошение в нижнем течении сток значительно уменьшается.

На реке сооружены два крупных водохранилища – Бахчисарайское (6,89 млн м³), используемое для снабжения питьевой водой г. Бахчисарая, и Загорское (27,8 млн м³), снабжающее водой Большую Ялту через систему гидротоннелей.

Для Крыма Кача – относительно длинная река, достаточно полноводная. Летом она заметно мелеет, но в случаях бурного таяния снегов или сильных дождей может сильно разливаться. В 1915 г. был зафиксирован настолько мощный паводок, что вода полностью уничтожила сады в низовьях. Весеннее половодье начинается в марте, достигая максимального значения в апреле. Паводки наступают чрезвычайно быстро, уровни воды увеличиваются значительно. Поэтому размывы и наводнения иногда принимают характер стихийных бедствий [3].

Материалы и методы. Для оценки возможных негативных последствий при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости (0,5 и 3,0 % обеспеченности стока) был выполнен комплекс работ, включающий создание цифровой модели рельефа (ЦМР) и разработку гидродинамической модели.

Для создания модели поверхностей и решения задач пространственного анализа использовался программный комплекс Autodesk с такими модулями, как Infracad и Autocad Civil 3D.

При построении ЦМР в качестве основы использовались высотные данные радарной топографической съемки SRTM-3 (Shuttle radar topographic mission) [4]. Построение поверхности осуществлялось с помощью модуля Infracad путем импорта набора растровых изображений и дальнейшего экспорта в модуль Autocad Civil 3D полученной ЦМР [1, 5].

На основе ЦМР местности подготовлены исходные данные (поперечные профили русла реки с заданным шагом) для разработки системы математических моделей, позволяющих рассчитать прохождение максимальных расходов редкой повторяемости [6].

Цифровая гидродинамическая компьютерная модель (ЦГКМ) прохождения максимальных расходов редкой повторяемости разработана с применением системы одномерных уравнений Сен-Венана (уравнений мелкой воды) [7] для участка р. Качи от н. п. Синапное до устья (общей протяженностью 46,5 км) (рисунок 1).

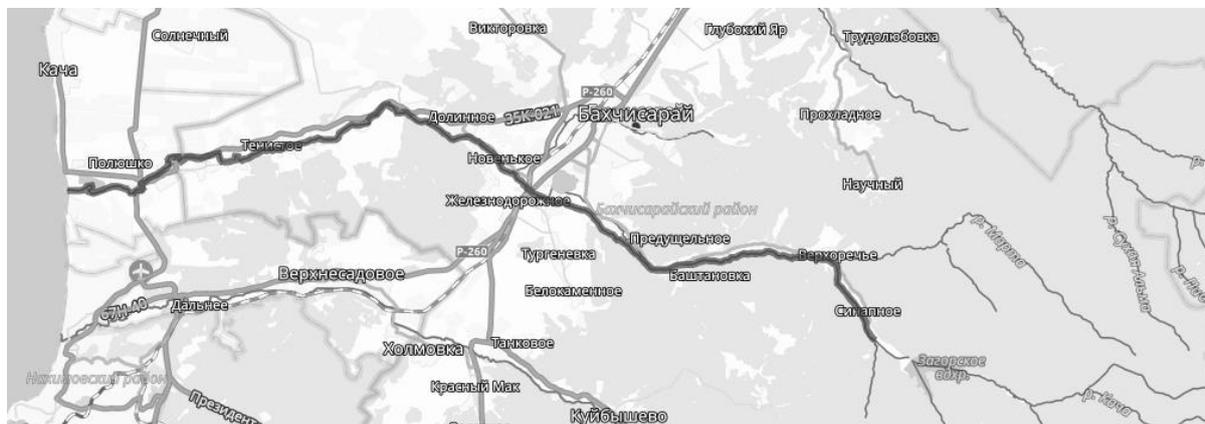


Рисунок 1 – Участок моделирования р. Качи

Результаты и обсуждение. Для разработки ЦГКМ для участка р. Качи от н. п. Синапное до устья была использована следующая информация:

- спутниковый снимок исследуемого участка;
- ЦМР местности;
- русловые и пойменные поперечные сечения;
- временные ряды максимальных расходов 0,5 и 3,0 % обеспеченности стока [8].

Для создания модели были выполнены следующие работы:

- в файле речной сети выполнена координатная привязка космоснимка и нанесена ось русла реки;
- на основе ЦМР сформированы в табличном виде координаты (X, Z) пойменных поперечных сечений (22 поперечных сечения);
- в разделе морфометрических данных определено местоположение и параметры поперечных сечений русловой и пойменной части моделируемого участка;
- выполнена привязка поперечных сечений, расположенных в населенных пунктах, к продольному профилю расчетного участка;
- в разделе гидродинамических параметров определена шероховатость пойменной части русла;
- заданы граничные условия модели в виде сосредоточенного притока в нулевом пикете (равного максимальному расходу сбросного сооружения Загорского водохранилища), распределенной проточности с правого и левого водосборов и уровня воды в конечном пикете;
- установлен временной интервал моделирования с шагом расчета 1 ч;
- выполнены расчеты для двух сценариев прохождения максимальных расходов редкой повторяемости.

Проведены сценарные исследования ЦГКМ и выявлены места возникновения чрезвычайных ситуаций при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости 0,5 и 3,0 % обеспеченности стока.

В результате анализа полученных моделей при 0,5 и 3,0 % вероятности превышения стока на исследуемом участке р. Качи были установлены:

- максимальные уровни воды в поперечных сечениях и на продольном профиле;

- динамика расходов в расчетных точках на всем протяжении моделируемого участка (рисунки 2, 3);

- границы затопления пойменной территории в случае максимальных расходов 0,5 и 3,0 % вероятности превышения стока (рисунки 4, 5).

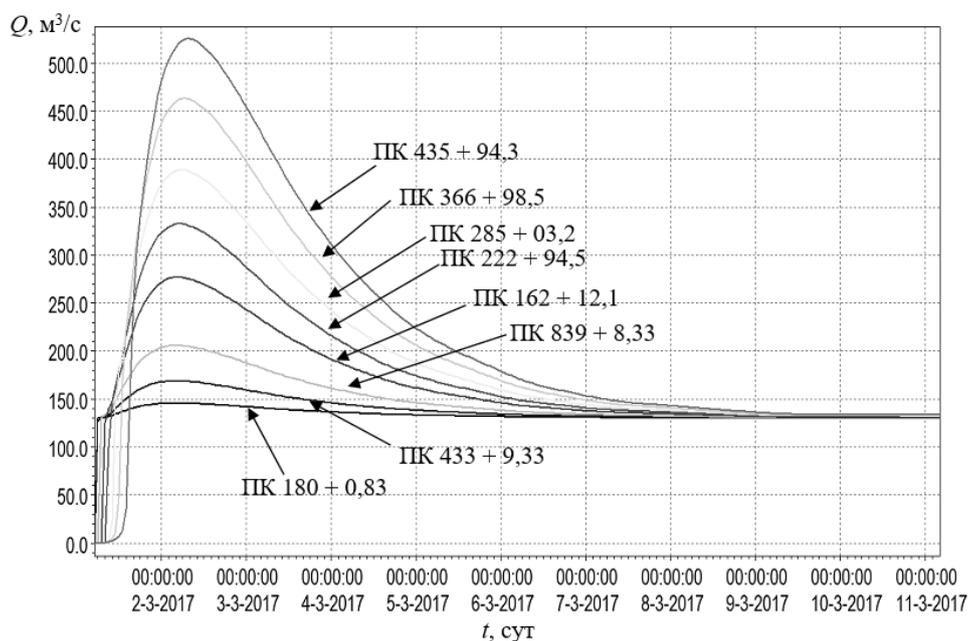


Рисунок 2 – Графики прохождения максимальных расходов при 0,5 % обеспеченности стока

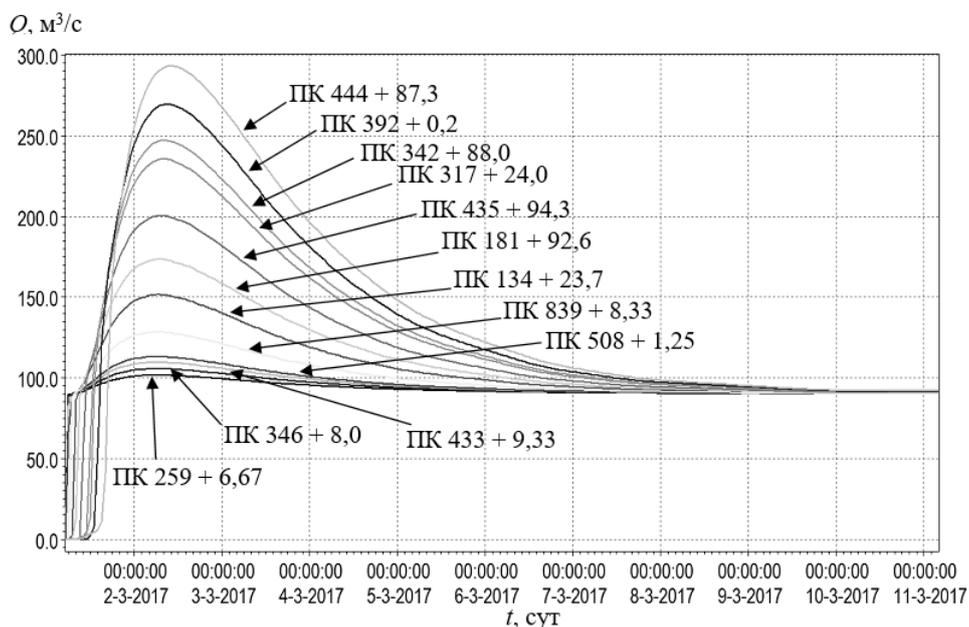


Рисунок 3 – Графики прохождения максимальных расходов при 3,0 % обеспеченности стока

В целях определения размеров вероятного вреда, который может быть причинен в результате чрезвычайной ситуации, на основе результатов сценарных исследований на спутниковых снимках отображены зоны затопления и установлены их площади.

Наибольший уровень воды независимо от рассмотренной обеспеченности стока согласно полученному в результате моделирования графику наблюдается на ПК 230 + 00 в районе н. п. Новенькое и Мостовое.

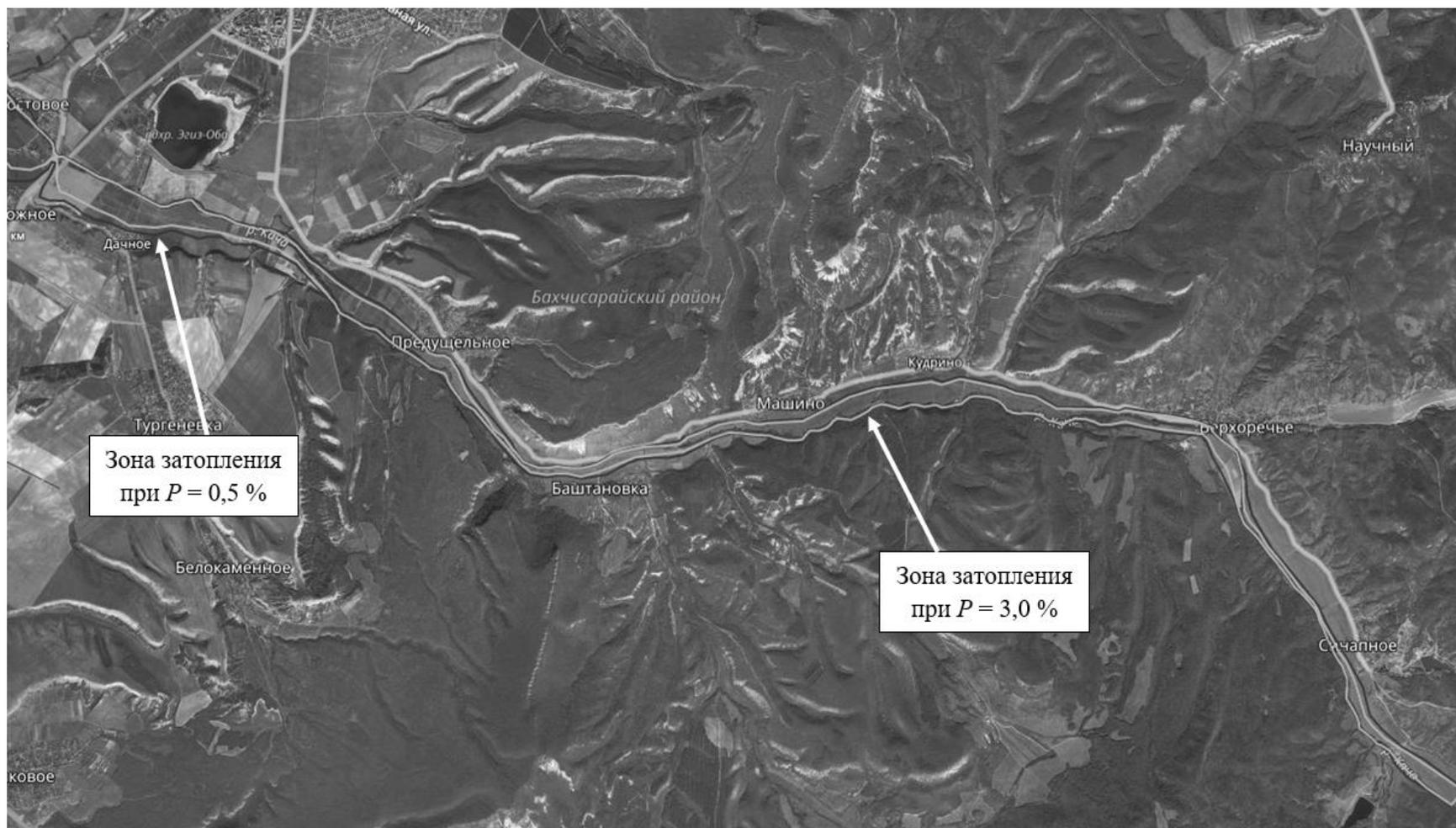


Рисунок 4 – Зоны затопления на рассматриваемом участке р. Качи (ПК 0 – ПК 19670)

Наибольшие расходы согласно графикам, представленным на рисунках 2, 3, наблюдаются через 17 ч после начала паводка. Максимальный расход при 3,0 % обеспеченности стока составляет 290 м³/с (ПК 444 + 87,3), а при 0,5 % – 525 м³/с (ПК 435 + 94,3).

Основным морфологическим параметром одномерной гидродинамической модели являются поперечные сечения реки. Для определения границ зон затопления из модели была получена максимальная отметка уровня воды и плановое положение границ вероятного затопления на заданную обеспеченность в каждом поперечном сечении. Данное расстояние с учетом рельефа и максимальной отметки уровня воды было вынесено в соответствии с местоположением поперечника в план. Методом интерполяции были определены и нанесены на картографическую основу границы вероятных зон затопления.

Согласно полученным границам затоплению могут быть подвержены следующие населенные пункты: Новенькое, Фурмановка, Красная Заря, Некрасовка, Тенистое, Айвовое, Суворово.

В таблице 1 представлены площади возможного затопления при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости.

Таблица 1 – Площади затопления, ранжированные по обеспеченности стока

Обеспеченность стока, %	Площадь затопления пойменной части, км ²	Площадь затопления населенных пунктов, км ²
0,5	11,57	1,55
3,0	8,93	1,18

Выводы. Полученные результаты уверенно говорят: морфометрия р. Качи (русло и пойменная территория) такова, что в случае неблагоприятных погодных условий (ливней и таяния снега) в русле очень быстро формируются значительные дождевые паводки, которые в итоге создают угрозу подтопления для расположенных ниже по течению населенных пунктов и объектов экономики.

Однако для уточнения полученных в исследовании характеристик необходимы дополнительные изыскания, в частности проведение подробной топографической съемки по всему руслу реки на расстояние, по профилю превосходящее максимальную зону наводнения, для корректировки расчетов уровня и потока в заданной точке русла. Расчетные характеристики необходимо сравнить с реальными измерениями уровня стационарными уровнемерами, т. е. многократно проверить в реальных условиях стока.

Список использованных источников

1 Карпова, Е. П. Трансформация сообществ рыб водоемов Крымского полуострова под воздействием антропогенных факторов / Е. П. Карпова. – Севастополь: ИМБИ, 2017. – 196 с.

2 Поверхностные водные объекты Крыма. Управление и использование водных ресурсов: справочник / А. А. Лисовский [и др.]; под ред. А. А. Лисовского. – Симферополь: Крымучпедгиз, 2011. – 242 с.

3 Крым: Река Кача [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vkrumy.com/reki-i-vodorady/67-alma>, 2018.

4 Панорама карты покрытия SRTM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://viewfinderpanoramas.org/Coverage%20map%20viewfinderpanoramas_org3.html, 2018.

5 Бреева, А. В. Современные подходы для получения морфометрических характеристик водосборов / А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 45–49.

6 Афонин, Л. А. Проблемы прогнозирования паводков и наводнений / Л. А. Афонин // Наука. Инновации. Технологии. – 2014. – № 1. – С. 145–152.

7 Сенчуков, Г. А. Применение компьютерного моделирования режимов водопользования и водораспределения для повышения эффективности организации водополь-

зования на оросительных системах / Г. А. Сенчуков, Т. С. Пономаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 27–31.

8 Тищенко, А. И. Рациональное использование водных ресурсов Крыма для целей мелиорации / А. И. Тищенко, А. А. Кузьмичев, Т. С. Пономаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 188–207. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec538-field6.pdf.

УДК 631.671

А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина

Институт мелиорации, Минск, Республика Беларусь

С. В. Набздоров

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Республика Беларусь

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ИХ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ

Показано, что отношение водопотребления к урожаю является не прямым, а косвенным показателем расхода влаги на единицу урожая. С использованием биотермических коэффициентов установлена структура связи текущего водопотребления орошаемой культуры с урожайностью и с максимальной температурой воздуха – метеопараметром, наиболее легко определяемым в производственных условиях при расчетах эксплуатационных режимов орошения сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: водопотребление, урожайность, сельскохозяйственные культуры, биотермические коэффициенты, максимальная температура воздуха.

A. P. Likhatshevich, G. V. Latushkina

Institute for Land Reclamation, Minsk, Republic of Belarus

S. V. Nabzdorov

Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus

ASSESSMENT OF IMPACT OF AGRICULTURAL CROPS YIELD ON THEIR WATER CONSUMPTION

It is shown that the ratio of water consumption to the crop yield is not a direct but an indirect indicator of moisture consumption per yield unit. Using the biothermal coefficients the structure of the relationship between the current water consumption of the irrigated crop and the yield and maximum air temperature – the meteorological parameter, most easily determined under production conditions when calculating the crop irrigation operating regimes has been established.

Keywords: water consumption, yield, agricultural crops, biothermal coefficients, maximum air temperature.

Введение. Основным показателем необходимости орошения является изменяющаяся в процессе вегетации величина иссушения корнеобитаемого слоя почвы, измеряемая динамикой дефицита почвенных влагозапасов – недостатком увлажнения почвы до наименьшей влагоемкости (НВ). Динамика почвенной влажности зависит в основном от водопотребления сельскохозяйственных культур, выпадающих атмосферных осадков и орошения.

Контроль за динамикой почвенных влагозапасов осуществляется либо периодическими замерами почвенной влажности непосредственно в поле, либо путем расчета водного баланса почвы, в котором суммарный расход влаги полем (испарение влаги почвой и транспирация растениями) является одной из основных характеристик, опре-

деляющих сроки поливов сельскохозяйственных культур. От правильности расчета составных элементов водного баланса орошаемого поля, включая водопотребление, во многом зависит эффективность орошения.

Наиболее достоверные данные о водопотреблении орошаемого поля в различных почвенно-климатических условиях получают путем непосредственных полевых измерений с использованием лизиметров. Однако для проведения таких опытов требуются большие затраты труда и времени. В связи с этим при установлении режима орошения сельскохозяйственных культур (при проектировании мелиоративных систем и их эксплуатации) для определения водопотребления чаще используются расчетные методы.

Известно, что суммарное за вегетацию водопотребление культур зависит от их урожайности. Не случайно классиком советской мелиоративной науки академиком А. Н. Костяковым еще в середине XX в. предложено при расчетах использовать простейшую линейную форму связи водопотребления орошаемых культур с урожаем [1]:

$$E = K_B Y, \quad (1)$$

где E – водопотребление орошаемой сельскохозяйственной культуры, м³/га;

K_B – коэффициент водопотребления, показывающий расход почвенной влаги на единицу урожая, м³/т;

Y – урожайность культуры, т/га.

Вместе с тем было установлено, что зависимость (1) не прямо пропорциональна, а близка к гиперболе: с ростом урожайности коэффициент водопотребления снижается [1–3]. Кроме того, оказалось, что величина коэффициента водопотребления существенно зависит от конкретных условий. Поэтому количественная связь вида (1) до настоящего времени используется только для качественной оценки расхода почвенной влаги на единицу урожая.

Поскольку эмпирическую зависимость (1) напрямую не удалось привести к обобщенному виду, пригодному для использования в частных рекомендациях, при расчете водопотребления растений обычно используются другие методики, в частности получивший большое распространение биоклиматический метод, основанный на использовании биоклиматических или биотермических коэффициентов. С помощью биоклиматических коэффициентов водопотребление культур связывают с дефицитами влажности воздуха, а биотермические коэффициенты используются для установления связи водопотребления с температурами воздуха (среднесуточными или максимальными за сутки). По причине отсутствия количественной оценки связи биоклиматических или биотермических коэффициентов с урожайностью сельскохозяйственных культур в рекомендациях по расчету водопотребления обычно дается ссылка на некую фиксированную урожайность, связанную с конкретными уровнями почвенного плодородия, агротехники и влагообеспеченности культуры. Предполагается, что при изменении исходных показателей, влияющих на водопотребление сельскохозяйственных культур, значения их биоклиматических и биотермических коэффициентов следует уточнять.

В данной статье проведен анализ результатов опытов разных авторов и выполнена оценка возможности учета связи водопотребления культур с их урожайностью при разной тепловлагообеспеченности.

Материалы и методы исследований. На процесс водопотребления растений помимо метеорологических условий и увлажненности корнеобитаемого слоя почвы влияют биологические особенности развития культур. В качестве метеорологического фактора, управляющего процессом водопотребления конкретной сельскохозяйственной культуры, нами предложено использовать максимальную за сутки температуру воздуха, поскольку именно этот метеопараметр не только достаточно точно отражает влияние испаряющей способности приземного слоя атмосферы на растения, но и наиболее легко контролируется в производственных условиях [4]. При этом биологические особенности развития культур учитываются соответствующими биотермическими коэф-

фициентами, определяющими в процессе вегетации связь между водопотреблением культуры и максимальной температурой воздуха.

Максимальное суточное водопотребление орошаемой культуры, которое имеет место при биологически оптимальных влагозапасах почвы, рассчитывается по формуле:

$$E_{mi} = K_{ii} \cdot t_{m(\text{cp})i}, \quad (2)$$

где K_{ii} – биотермический коэффициент орошаемой культуры в i -е (расчетные) сутки, мм/град;

$t_{m(\text{cp})i}$ – осредненная за предыдущую декаду (относительно даты расчета) максимальная суточная температура воздуха:

$$t_{m(\text{cp})i} = \frac{1}{10} \sum_{i-9}^i t_{mi}, \quad (3)$$

где 10 – число суток, за которые выполняется осреднение максимальных суточных температур воздуха;

$\sum_{i-9}^i t_{mi}$ – сумма максимальных суточных температур воздуха за 10 сут (включая текущую дату, за которую определяется водопотребление, и предыдущие 9 сут), °С;

t_{mi} – максимальная суточная температура воздуха в i -е расчетные сутки, °С.

Поскольку растения являются живой развивающейся системой, через присутствие в формуле (3) осреднения $\frac{1}{10} \sum_{i-9}^i t_{mi}$ учитывается фактор влияния предыдущих условий вегетации (температурного режима в предыдущие 10 сут) на максимальное водопотребление орошаемой культуры.

Биотермические коэффициенты в зависимости (2) отражают биологические особенности культур в фазы их развития и соответствуют приращению водопотребления орошаемой культуры в данных условиях при повышении температуры воздуха на 1 °С.

Для учета увлажненности корнеобитаемого слоя, характеризуемой почвенными влагозапасами, согласно ТКП 45-3.04-178-2009 (02250), вводится коэффициент φ_i , зависящий от уровня увлажненности почвы по отношению к ее НВ [5]:

$$E_i = \varphi_i \cdot E_{mi}. \quad (4)$$

Определять коэффициент увлажненности почвы φ_i предложено по формуле:

$$\varphi_i = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{W_{\text{НВ}}}{W_{\text{Hi}}} - 1 \right)^2 \right], \quad (5)$$

где φ_i – коэффициент, учитывающий отклонение почвенной влажности в расчетном слое в i -е сутки от НВ почвы;

$W_{\text{НВ}}$ – влагозапасы расчетного слоя почвы при НВ, мм;

W_{Hi} – фактические влагозапасы в i -е сутки, мм.

С целью достижения максимальной точности расчет водопотребления производится посуточно [6]. При продолжительности расчетного интервала в одни сутки величина потерь воды на внутрпочвенный сток (C) в диапазоне $W_{\text{НВ}} \leq (W_{\text{H}} + P - E_{\text{m}}) \leq W_{\text{ПВ}}$ устанавливается по начальным влагозапасам, атмосферным осадкам и максимальному водопотреблению культуры за расчетный интервал [4]:

$$C = (W_{\text{H}} - E_{\text{m}} - W_{\text{НВ}}) \left(\frac{n}{N} \right)^a + P \cdot \left(\frac{n}{N} \right)^b, \quad (6)$$

где W_{H} – влагозапасы в расчетном слое почвы на начало расчетного интервала;

n – продолжительность расчетного интервала (при посуточном расчете водного баланса $n = 1$ сут);

N – продолжительность стекания гравитационной влаги из расчетного слоя почвы, установленная по методике определения НВ, сут;

a, b – коэффициенты, зависящие от разновидности почвы и плотности ее сложения, с уменьшением содержания физической глины и повышением крупности почвенных частиц величина показателя степени снижается. Например, для суглинистых почв $a = 0,5$; $b = 2$.

Продолжительность стекания гравитационной влаги из расчетного слоя почвы (N) зависит от типа почвы и плотности ее сложения. Может изменяться в диапазоне 1–2 сут для легких почв рыхлого сложения, 2–3 сут для легких почв средней плотности, 3–4 сут для средних почв средней плотности, 4–5 сут для средних уплотненных почв и 5–6 сут для тяжелых почв.

В процессе водобалансового расчета сначала определяется максимальное водопотребление в i -е сутки при достаточном увлажнении почвы, а затем рассчитывается фактическое водопотребление (E_i), учитывающее с помощью коэффициента (5) фактическое увлажнение почвы в конкретные сутки. Суммируя суточные водопотребления за весь период вегетации, получают соответственно водопотребление культуры за вегетационный период:

$$E = \sum_1^B E_i, \quad (7)$$

где E – суммарное водопотребление культуры за вегетационный период;

B – продолжительность вегетационного периода.

Однако возникает вопрос, каким же образом изменяются биотермические коэффициенты при разных уровнях влагообеспеченности культуры и как они связаны с изменяющейся при этом урожайностью. Оценим эту связь, отталкиваясь от формулы А. Н. Костякова (1).

Заметим: исследования, проведенные в разных почвенно-климатических условиях, показали, что более точной формой связи водопотребления с урожайностью является не прямая (1), выходящая из начала координат, а прямая, пересекающая ось ординат в некоторой начальной точке, существенно большей нуля [7–9 и др.]:

$$E = E_{\min} + k_b Y, \quad (8)$$

где E_{\min} – условное водопотребление при нулевом товарном урожае возделываемой культуры;

k_b – коэффициент пропорциональности водопотребления поля росту урожая культуры (не зависящая от урожая величина).

Заметим, что Е. А. Стельмахом помимо линейной формы (8) на рисунках, трактующих результаты полевых опытов, приводилась и параболическая зависимость водопотребления от урожайности [2]. Встречаются и другие предложения. Например, в статье В. И. Ольгаренко и др. [7] зависимость водопотребления моркови от урожая аппроксимируется экспоненциальной функцией:

$$E = b_1 e^{b_2 Y}, \quad (9)$$

где b_1, b_2 – эмпирические коэффициенты.

Сравнивая формулы (8) и (9), приходим к выводу, что:

$$E = E_{\min} e^{b_2 Y}. \quad (10)$$

Согласно исследованиям В. И. Ольгаренко и др. [7], водопотребление поля и при отсутствии товарного урожая никак не может быть равно нулю. Как видим, в формуле (9) так называемый эмпирический коэффициент b_1 является не чем иным, как условным водопотреблением поля при нулевом товарном урожае.

Возможно, переход от линейной зависимости (8) к более сложной, например экспоненциальной зависимости (9), (10), может несколько повысить точность расчета водопотребления культур на планируемый урожай, но насколько актуально данное повышение, рассмотрим на конкретных примерах. Для этого проанализируем результаты опытов, выполненных в условиях России и Беларуси, оценив допустимость использования в расчетах более простой формы зависимости (8).

Результаты и обсуждение. Для уточнения выводов по статье В. И. Ольгаренко и др. [7] используем опубликованные в ней осредненные результаты многолетних опытов в степной полузасушливой зоне Российской Федерации и представим построенные по этим данным графики связи $E(Y)$ для моркови и кормовой свеклы. Согласно данным рисунка 1 эти графики, помимо формул (9), (10), с достаточно большой точностью можно аппроксимировать простыми линейными функциями вида (8).

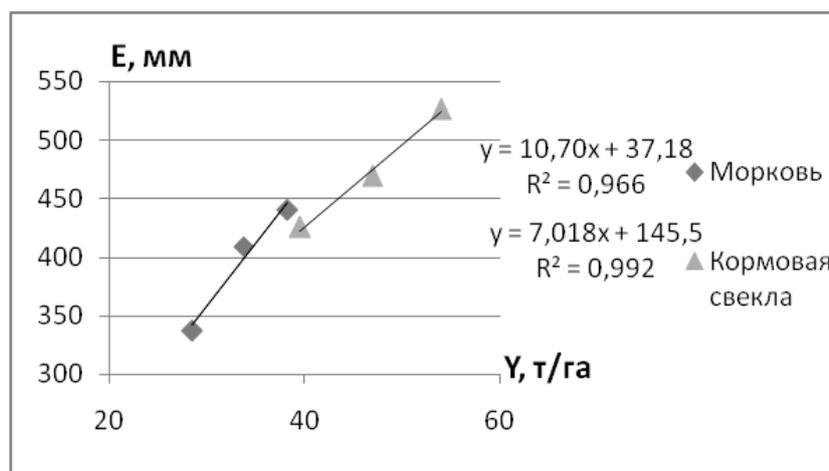


Рисунок 1 – Зависимость водопотребления моркови и кормовой свеклы от урожайности [7]

Проанализируем результаты подобных опытов, полученные в Беларуси. В 80-е гг. XX в. в Брестской области на Пружанском гидролого-гидрогеологическом стационаре Белорусского НИИ мелиорации и водного хозяйства проводились полевые и лизиметрические исследования с целью оценки влияния осушительной мелиорации на составные элементы водного баланса почв, включая и водопотребление сельскохозяйственных культур. Научным руководителем этих исследований Н. В. Окуликом в лизиметрических опытах получены данные о связи водопотребления озимой ржи и картофеля с их урожайностью [8]. Автором исследований не проводилась статистическая обработка данных и не предложена какая-либо форма количественной зависимости водопотребления исследуемых культур от их урожайности, а лишь на рисунках с опытными точками от руки проведены кривые (глазомерно близкие к параболе), осредняющие данные многолетнего эксперимента [8]. Мы провели обработку приведенных на рисунках опытных точек с использованием стандартной программы Excel (рисунок 2).

Результаты исследований Н. В. Окулика показывают, что криволинейность связи $E(Y)$ в условиях Беларуси для озимой ржи и картофеля выражена весьма слабо. Поэтому в границах урожайностей, полученных в экспериментах, этой кривизной можно пренебречь, используя для количественной оценки связи $E(Y)$ линейную форму зависимости (8).

Таким образом, основываясь на результатах российских и белорусских исследований, считаем возможным при расчете водопотребления сельскохозяйственных культур на планируемую урожайность использовать линейную функцию вида (8). Согласно указанным на рисунках 1 и 2 значениям показателей тесноты эмпирической связи, это

не приведет к недопустимо большим ошибкам. Вместе с тем подчеркнем, что данный вывод справедлив в границах урожайностей культур, полученных в прокомментированных выше опытах.

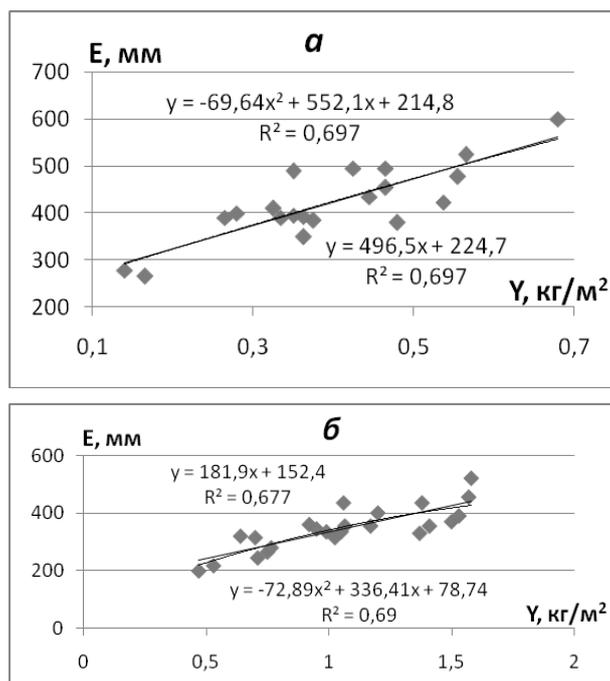


Рисунок 2 – Зависимость водопотребления озимой ржи (а) и картофеля (б) от урожайности [8]

Основываясь на полученном заключении, вытекающие из формулы А. Н. Костякова (1) выводы можно существенно дополнить. Для этого рассмотрим приведенный на рисунке 3 график связи водопотребления картофеля с урожаем (отрезок АВ), построенный по осредненным данным результатов опыта И. В. Гуриной, Т. В. Мельник и И. М. Калечака с картофелем, который проводился в ООО «Исток-1» Семикаракорского района Ростовской области [9].

Согласно опыту [9] при урожае картофеля 57,2 т/га водопотребление составило 716,1 мм, а при урожае 65,1 т/га – 748,6 мм. Следовательно, согласно зависимости А. Н. Костякова (1), в первом случае на получение 1 т картофеля израсходовано воды 125,1 м³/т, а во втором – 114,9 м³/т (аппроксимирующие формулы на рисунке 3: $E = 12,51Y$ и $E = 11,49Y$).

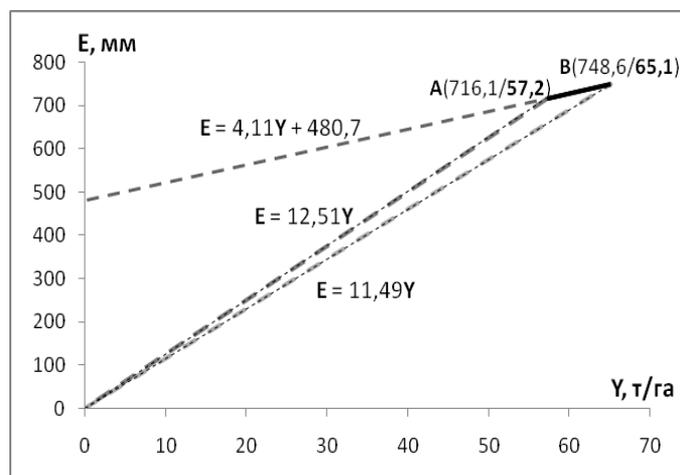


Рисунок 3 – Схема для анализа зависимости водопотребления картофеля от урожайности (по данным Н. В. Окулика [8])

Вместе с тем, согласно зависимости (8), только на обеспечение жизнедеятельности культуры независимо от ее урожая требуется 480,7 мм воды. А на формирование каждой тонны клубней как при урожае картофеля 57,2 т/га, так и при урожае 65,1 т/га растением израсходовано одинаковое количество воды – 41,1 м³/т. Другими словами, для того, чтобы растения вообще смогли сформировать урожай клубней, они должны быть изначально обеспечены минимальным количеством почвенной влаги 480,7 мм (рисунок 3).

Полученные выше выводы нам представляются вполне обоснованными и более развернутыми, чем вытекающие из формулы (1). Поэтому в дальнейшем при анализе будем основываться на аппроксимации связи $E(Y)$ вида (8).

Согласно зависимостям (1) и (8) получим:

$$K_B = \frac{E_{\min} + k_B Y}{Y} = k_B + \frac{E_{\min}}{Y}, \quad (11)$$

Как видим, коэффициент водопотребления сельскохозяйственной культуры складывается из двух составляющих:

- коэффициента пропорциональности водопотребления урожаю в виде константы k_B ;

- гиперболически зависящей от урожая переменной величины, которую можно назвать коэффициентом влияния урожая на водопотребление культуры (E_{\min}/Y) при изменении увлажненности почвы.

Заметим, что эмпирическая зависимость (11) подтверждается опытными данными Е. А. Стельмаха [3].

В соответствии с зависимостью (11) можем утверждать, что всегда выполняется неравенство:

$$K_B > k_B. \quad (12)$$

Сравним формулы (2)–(4), (7) и (8). Согласно им справедливо равенство:

$$\sum_1^N (\varphi_i K_{ii} t_{m(\text{cp})i}) = E_{\min} + k_B Y. \quad (13)$$

Осредним за период вегетации величины коэффициентов φ_i и K_{ii} . Получим:

$$\varphi_{\text{cp}} K_{i(\text{cp})} = \frac{1}{N} \sum_1^N \varphi_i K_{ii}. \quad (14)$$

Из зависимостей (13) и (14) следует:

$$K_{ii(\text{cp})} = \frac{E_{\min} + k_B Y}{\varphi_{\text{cp}} \sum_1^N t_{m(\text{cp})i}} = \frac{E_{\min} + k_B Y}{\varphi_{\text{cp}} \sum_1^N t_{mi}} = \frac{K_B Y}{\varphi_{\text{cp}} \sum_1^N t_{mi}}. \quad (15)$$

Соотношение (15) связывает средний за вегетацию биотермический коэффициент культуры с ее урожайностью. Проанализируем его. При повышении влагообеспеченности культуры растет урожай, однако при этом соответственно снижается коэффициент водопотребления (K_B) и растет коэффициент φ_{cp} .

Проверить изменчивость биотермического коэффициента при повышении или снижении влагообеспеченности культуры можно по результатам конкретного полевого опыта. Выполним эту проверку, используя данные опыта с орошением сахарной свеклы, проведенного С. В. Набздоровым в 2017 г. на участке «Тушково-1» Горецкого района Могилевской области Беларуси.

На рисунке 4 показана зависимость водопотребления сахарной свеклы от урожая, вытекающая из результатов данного опыта. Полученная в однолетнем полевым опыте с сахарной свеклой предварительная зависимость в общем виде повторяет результаты многолетних лизиметрических исследований на Пружанском стационаре

с озимой рожью и картофелем [8], а также результаты полевых опытов российских исследователей с морковью, кормовой свеклой [7] и картофелем [9], тем самым подтверждая справедливость формул (11)–(15). Но вопрос состоит в том, как при этом меняются значения биотермических коэффициентов.

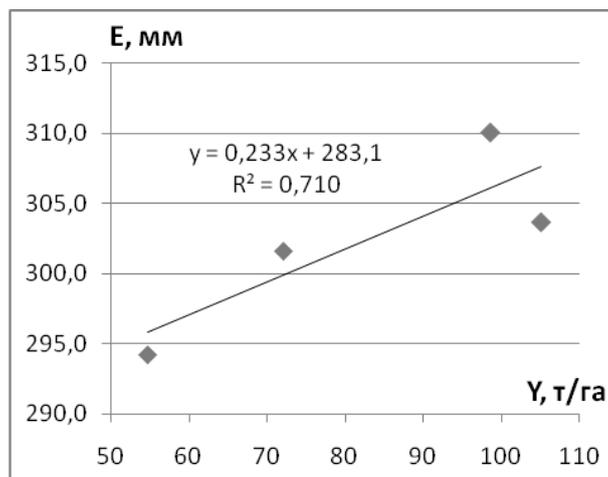


Рисунок 4 – Зависимость водопотребления сахарной свеклы от урожая

В таблице 1 приведены результаты подбора величин биотермических коэффициентов, полученные при достижении минимальных отклонений рассчитанных по формулам (2)–(6) влагозапасов почвы от измеренных непосредственно в поле (рисунок 5). Расчеты показали, что минимальные среднеквадратические отклонения рассчитанных по формулам (2)–(6) влагозапасов почвы от измеренных непосредственно в поле увеличивались с повышением влагообеспеченности почвы, составив в варианте с предполивной влажностью 0,6 НВ 4,3 мм, в варианте с предполивной влажностью 0,7 НВ – 5,4 мм и в варианте с предполивной влажностью 0,8 НВ – 6,9 мм. Как видим, полученные относительные ошибки в расчетах динамики почвенных влагозапасов не превышают 5–7 %, что позволяет с доверием относиться к представленному выше алгоритму водобалансового расчета.

Таблица 1 – Результаты опыта орошения сахарной свеклы на удобрительном фоне N₄₀P₈₀K₁₅₀ в условиях 2017 г.

Вариант	Водопотребление, мм	$\varphi_{\text{ср}}$	$E_m = E / \varphi_{\text{ср}}$, мм	Урожайность, т/га	$K_{\text{тм(ср)}}$, мм/°С
Без орошения	294,3	0,941	312,7	54,7	0,102
Поливы при 0,6 НВ	301,6	0,965	312,6	72,1	0,102
Поливы при 0,7 НВ	303,6	0,971	312,6	105,2	0,102
Поливы при 0,8 НВ	310,0	0,992	312,6	98,7	0,102

Приведенные на рисунке 5 графики динамики рассчитанных и измеренных почвенных влагозапасов подтверждают высокую точность водобалансового расчета с использованием одной и той же величины биотермического коэффициента при разной влагообеспеченности орошаемой культуры, что позволяет рекомендовать для практического использования методику водобалансового расчета с обязательным применением при определении текущего водопотребления коэффициента (5), учитывающего увлажнение почвы.

Таким образом, при расчете водопотребления растений величины биотермических коэффициентов при разных режимах увлажнения остаются постоянными, если в алгоритме расчета присутствует коэффициент, учитывающий увлажненность почвы (φ). Полученный вывод существенно упрощает алгоритм водобалансового расчета,

в котором нет необходимости менять значения биотермических коэффициентов при изменении режимов увлажнения орошаемых культур.

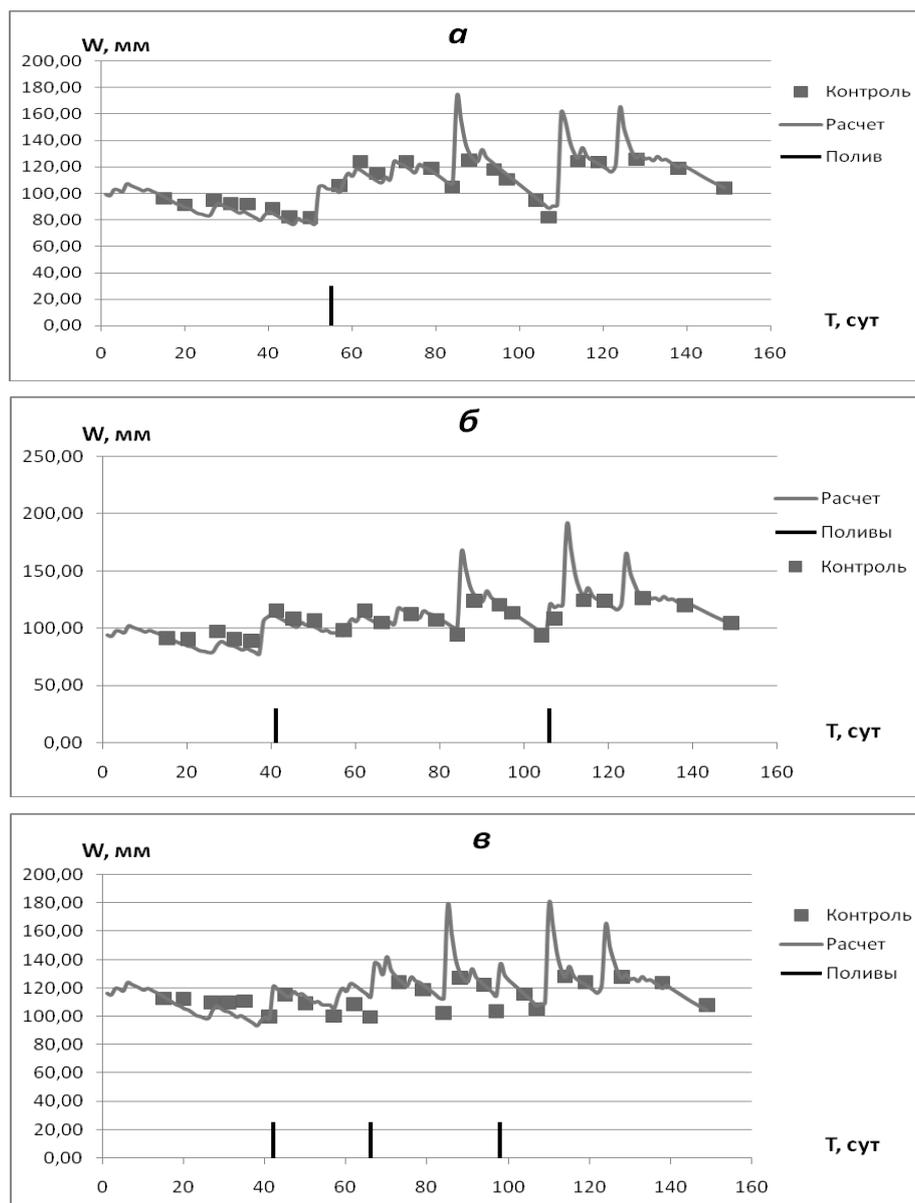


Рисунок 5 – Графики динамики рассчитанных по водному балансу и измеренных в поле почвенных влагозапасов по вариантам опыта: а – предполивная влажность равна 0,6 НВ; б – предполивная влажность равна 0,7 НВ; в – предполивная влажность равна 0,8 НВ

Выводы

1 Коэффициенты водопотребления культуры, которые определяются как отношение водопотребления к полученному урожаю, состояются из двух составляющих:

- коэффициента пропорциональности водопотребления урожаю (является константой для данных условий и не зависит от урожая культуры);
- коэффициента влияния урожая на водопотребление культуры при изменении увлажненности почвы.

2 При расчете водопотребления растений величины биотермических коэффициентов при разных режимах увлажнения остаются постоянными, если в алгоритме расчета водопотребления используется коэффициент, учитывающий увлажненность почвы.

Полученные выводы существенно упрощают водобалансовый расчет, в котором

нет необходимости менять значения биотермических коэффициентов при изменении режима увлажнения орошаемых культур.

Список использованных источников

- 1 Костяков, А. Н. Основы мелиораций / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 662 с.
- 2 Стельмах, Е. А. Режимы орошения сельскохозяйственных культур на юге Нечерноземной зоны РСФСР / Е. А. Стельмах. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 112 с.
- 3 Лихацевич, А. П. Оценка факторов, формирующих неустойчивую влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в гумидной зоне (на примере Беларуси, Центрального и Волго-Вятского регионов Российской Федерации) / А. П. Лихацевич, Е. А. Стельмах. – Минск: Полирек, 2002. – 212 с.
- 4 Усовершенствованный алгоритм управления орошением в производственных условиях / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, И. А. Романов, С. В. Набздоров // Мелиорация: современные методики, инновации и опыт практического применения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: Белорус. наука, 2017. – С. 30–40.
- 5 Оросительные системы. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-178-2009 (02250): утв. Минстройархитектуры 29.12.09: введ. в действие с 29.12.09. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 74 с.
- 6 Лихацевич, А. П. Оценка влияния продолжительности расчетного интервала на точность водобалансового расчета при неустойчивых погодных условиях / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2017. – № 2. – С. 5–9.
- 7 Нормирование водопотребления сельскохозяйственных культур с учетом изменчивости гидрометеорологических условий / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. Иг. Ольгаренко, А. А. Панкарикова, М. С. Эфендиев, Г. Г. Костюнин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 22–40. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec-544-field6.pdf.
- 8 Окулик, Н. В. Водный режим и продуктивность почв / Н. В. Окулик. – Минск: Ураджай, 1989. – 191 с.
- 9 Гурина, И. В. Режимы орошения и водопотребление картофеля весенней посадки при поливах современной дождевальной техникой / И. В. Гурина, Т. В. Мельник, И. М. Калечак // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 158–168. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec552-field6.pdf.

УДК 626.810:502.55

Н. Е. Волкова

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь,
Российская Федерация

Р. Ю. Захаров

Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, Симферополь,
Российская Федерация

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОРОШЕНИЯ

Сточную воду издавна использовали для целей орошения, а согласно всемирному докладу ООН за 2017 г. данная категория воды является одним из важнейших компонентов цикла рационального водопользования. В Республике Крым после перекрытия внешнего водоисточника очищенные сточные воды считаются перспективным альтернативным источником воды для целей орошения. Однако их применение может

привести к ухудшению мелиоративной обстановки на поливаемых участках. Это обосновано качеством данной категории воды. Поэтому в ряде случаев необходимо предусмотреть дополнительную подготовку сточной воды. В целом использование данного альтернативного источника воды для целей орошения может позволить улучшить существующую социально-экономическую обстановку и создать благоприятные условия для развития Республики Крым как привлекательной для отдыхающих рекреационной зоны.

Ключевые слова: сточная вода, орошение, засоление почвы, «суммарный эффект» токсичных ионов, минерализация воды, обессоливание, рентабельность.

N. E. Volkova

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

R. Yu. Zakharov

Academy of Construction and Architecture V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

ON THE ISSUE OF WASTEWATER UTILIZATION FOR IRRIGATION PURPOSES

Wastewater has been used for irrigation for a long time, and according to the 2017 world report of the United Nations, this category of water is one of the most important components of the rational water use cycle. In the Republic of Crimea after the external water source shutdown the treated wastewater is considered a promising alternative source of water for irrigation purposes. However, their use can lead to a deterioration of reclamation situation in the irrigated areas which is based on the quality of this category of water. Therefore, in some cases it is necessary to provide additional treatment of wastewater. In general, the use of this alternative source of water for irrigation can improve the existing socio-economic situation and create favorable conditions for the development of the Republic of Crimea as an attractive recreation area for tourists.

Key words: waste water, irrigation, soil salinization, “cumulative effect” of toxic ions, water salinity, desalination, profitability.

Согласно всемирному докладу ООН «О состоянии водных ресурсов» за 2017 г. «сточные воды являются одним из важнейших компонентов цикла рационального водопользования, вода после использования слишком часто рассматривается как обуза, от которой следует избавиться, или как помеха, на которую не надо обращать внимания. Результаты этой халатности сегодня проявляются в полной мере. Ее непосредственное воздействие, включая деградацию водных экосистем и заболевания, передающиеся через воду из загрязненных пресноводных источников, имеет далеко идущие последствия для благосостояния общин и существования их жителей. Дальнейшая несостоятельность в решении вопросов, связанных со сточными водами, в качестве серьезной социальной и экологической проблемы подорвала бы другие усилия по достижению целей, включенных в Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [1].

Использование очищенных сточных вод в сельском хозяйстве является наиболее перспективным и экономически эффективным способом их утилизации. Еще в середине XIX в. во многих городах Европы и Америки орошение сельскохозяйственных культур рассматривалось как способ удаления бытовых сточных вод. В Великобритании так называемые сельскохозяйственные поля орошения были созданы уже в 1865 г., в Соединенных Штатах Америки – в 1871 г., во Франции – в 1872 г., в Германии – в 1876 г., в Индии – в 1877 г., в Австралии – в 1893 г. и в Мексике – в 1904 г. В большинстве этих стран стимулом к такому использованию сточных вод было предотвращение загрязнения рек, а не повышение урожайности. В Великобритании был такой девиз: «Сточные воды – в землю, а дождевые – в реки» [2]. Однако по мере роста горо-

дов и доли городского населения, пользующегося канализационными системами, поля орошения стали занимать слишком большие площади. Эта практика стала менее популярной, и с разработкой в первые два десятилетия XX в. современных методов очистки сточных вод, таких как биофильтрация и обработка с активным илом, претерпела ряд изменений, а в ряде стран полностью прекратилась после Первой мировой войны.

В настоящее время для целей орошения используются в основном предварительно очищенные сточные воды, это позволяет снизить негативное воздействие на почву и качественный состав сельскохозяйственной продукции. Особенно актуален такой подход в вододефицитных регионах. Довольно больших успехов в данном направлении добился Израиль. В этой стране формируется около 520 млн м³ сточных вод, из них 375 млн м³ после очистки используются в сельском хозяйстве [3]. Ниже в таблице 1 приведена информация за 2013 г. об использовании очищенных сточных вод в странах мира.

Таблица 1 – Процент используемых сточных вод в странах мира

В % от общего объема

Страна, регион	Использование сточных вод
Израиль	86
Испания	17
Австралия	10
Италия	8
Греция	5
Центральная Европа	1
США	1

В Республике Крым в последние 10 лет сточные воды не использовались для целей орошения. Средний объем сброса за указанный период составляет около 160 млн м³. В связи с перекрытием внешнего источника воды и усилением дефицита водных ресурсов в Крымском регионе данный альтернативный источник воды стал рассматриваться как перспективный.

Исследования, посвященные оценке возможности использования очищенных сточных вод в республике для целей орошения, проводились в 90-е гг. прошлого века на территории Симферопольского, Ленинского и Сакского районов и в 2017 г. на опытном полигоне селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма». Результаты опытов показали, что их применение не привело к изменению санитарно-гигиенических показателей почвы и ее загрязнению тяжелыми металлами. Однако в ряде случаев было зафиксировано развитие негативных процессов засоления и осолонцевания, которые в последующем могут привести к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, ухудшению почвенно-мелиоративной обстановки вплоть до исключения данных земель из сельскохозяйственного оборота [4, 5].

Развитие процессов засоления при поливе можно оценить на основе величины «суммарного эффекта» токсичных ионов. То есть принимается в расчет не просто минерализация водной вытяжки, а весь солевой состав, так как в различных почвах может присутствовать одно и то же количество солей, но в зависимости от их состава почвы могут обладать разной степенью засоленности, что обусловлено неравноценной токсичностью для растений различных легкорастворимых солей [6].

Ниже в таблицах 2 и 3 сведены результаты расчета этого показателя по 1989 г. и по вариантам опыта 2017 г. Из их анализа наглядно видно, что в целом ведение орошения с использованием очищенных сточных вод Симферопольских канализационных очистных сооружений (КОС) не привело к развитию засоления почв, а вот по Евпаторийским КОС было зафиксировано ухудшение ситуации: суммарный эффект токсичных ионов в сравнении с неорошаемым участком на конец вегетационного периода

1989 г. составил 0,72 ед., т. е. почва из разряда «незасоленная» перешла в разряд «слабозасоленная».

Таблица 2 – Оценка результатов опытов 1989 г.

Место отбора пробы	Слой почвы, см	Солевой состав, мг-экв/100 г почвы							«Суммарный эффект» токсичных ионов
		HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	
Совхоз «Береговой», неорошаемый участок	0–20	0,65	0,09	0,15	0,60	0,10	0,01	0,23	0,18
	20–40	0,75	0,09	0,10	0,30	0,10	0,01	0,30	0,30
	0–40	0,7	0,09	0,13	0,45	0,1	0,01	0,265	0,24
Совхоз «Береговой», участок, орошаемый сточными водами	0–20	1,25	0,26	0,4	0,3	0,2	0,01	1,17	0,75
	20–40	1,25	0,52	0,3	0,3	0,2	0,01	0,3	0,7
	0–40	1,25	0,39	0,35	0,3	0,2	0,01	0,74	0,72

Таблица 3 – Оценка результатов опытов 2017 г. (исследования ФГБУН «НИИСХ Крыма»)

Место отбора пробы	Слой почвы, см	Солевой состав, мг-экв/100 г почвы							«Суммарный эффект» токсичных ионов	
		HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+		
Овоще-бахчевая станция (с. Укромное)	Полив колодезной водой	0–40	0,26	0,24	0,12	0,44	0,21	0,07	0,32	0,13
	Полив сточной водой	0–40	0,27	0,28	0,15	0,59	0,29	0,15	0,28	0,11
	Полив смешанной водой	0–40	0,26	0,23	0,13	0,46	0,29	0,11	0,36	0,16

Согласно СанПиН 2.1.7.573-96. 2.1.7. «Почва. Очистка населенных мест. Бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. Санитарные правила и нормы» очищенные коммунально-бытовые стоки являются наиболее безвредными в отношении развития процессов засоления и осолонцевания [7]. Наибольший сброс данной категории воды приходится на территорию Симферопольского, Сакского и Ленинского районов, сельхоззоны г. Ялты и Феодосии (рисунок 1).

Согласно действующим нормативным актам при использовании сточных вод орошаемые участки целесообразно располагать на удалении от населенных пунктов. Это в свою очередь позволяет сделать вывод о том, что в Крымском регионе целесообразно использовать крупные источники очищенных сточных вод, так как тянуть водоподводящую сеть на большие расстояния ради полива 100 га неэффективно с экономической точки зрения. Если рассматривать качественные показатели, то по ряду объектов необходима дополнительная водоподготовка. Так, например, минерализация очищенной сточной воды по КОС г. Евпатории и Керчи составляет соответственно 3,9 и 1,7 г/л. Исходя из этих двух подходов (количественного и качественного), в Республике Крым для целей орошения можно использовать около 72 млн м³ очищенной сточной воды, при этом как минимум 12 млн м³ из них требуют дополнительной доочистки (таблица 4).

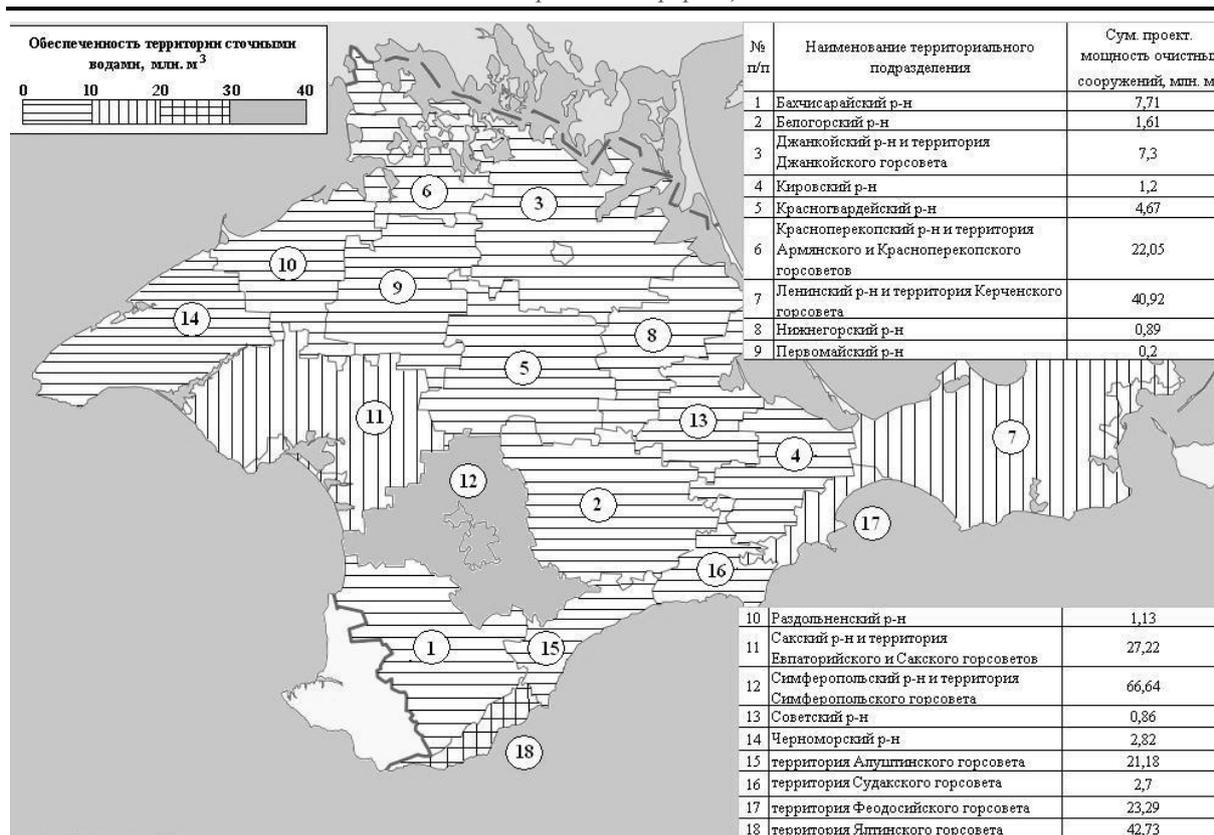


Рисунок 1 – Обеспеченность территории Республики Крым очищенными стоками населенных пунктов [8]

Таблица 4 – Перспективные площади орошения с использованием очищенных сточных вод

Местоположение КОС	Средний за период 2011–2016 гг. годовой объем сброса, млн м ³	Потери при хранении и транспортировке, млн м ³	Можно использовать для полива, млн м ³	Возможная площадь полива, тыс. га
г. Алушта	4,68	0,94	3,74	1,8
г. Бахчисарай	1,26	0,25	1,01	0,5
г. Джанкой	1,88	0,38	1,51	0,7
г. Евпатория	9,47	1,89	7,58	3,8
г. Керчь	5,65	1,13	4,52	2,3
г. Красноперекопск	1,80	0,36	1,44	0,7
г. Симферополь	40,65	13,13	27,52	13,8
г. Судак	1,82	0,36	1,45	0,7
г. Феодосия	7,55	1,51	6,04	3,0
г. Ялта	21,23	4,25	16,98	8,5
Итого			71,79	35,8

В Республике Крым также проводились исследования, посвященные доочистке сточных вод, сбрасываемых с КОС. Так, в 2015 г. ФГБУН «НИИСХ Крыма» совместно с Крымской академией наук, ООО «Сибводразработка» и ГБУ РК «Крымская гидрогеолого-мелиоративная экспедиция» были проведены экспериментальные исследования, посвященные очистке сточных вод КОС пгт. Гвардейское с использованием передвижного модуля ОПУ «Исток-СВ-20». В процессе очистки резко уменьшилось содержание суммы солей (от 4410 до 982 мг/дм³), общая жесткость воды снизилась с 45

до 4,6 мг-экв/дм³, содержание сульфатов упало с 1536 до 163 мг/дм³, хлоридов с 1207 до 433 мг/дм³ [9].

При использовании доочищенной сточной воды необходимо учитывать два факта:

- данную категорию водного ресурса можно использовать при возделывании технических и кормовых культур [7];

- дополнительная водоподготовка повышает стоимость оросительной воды и ее целесообразно использовать только на высокорентабельных культурах.

К таким сельскохозяйственным растениям, например, можно отнести хлопок. Это техническая культура, а согласно исследованиям, проведенным в 1992–2000 гг. в Крыму, рентабельность возделывания хлопчатника составляла 250–300 % [10].

Сложившаяся в настоящее время в Крымском регионе социально-экономическая ситуация в целом требует разработки и осуществления комплекса мероприятий, направленных на повышение водообеспеченности отраслей народного хозяйства, снижение антропогенной нагрузки на водные объекты. Использование очищенных сточных вод может позволить улучшить существующую социально-экономическую обстановку и создать благоприятные условия для развития Республики Крым как привлекательной для отдыхающих рекреационной зоны. К тому же данный подход поддерживается и одобряется рядом ведущих ученых и специалистами ООН.

Список использованных источников

1 Доклад ООН «О состоянии водных ресурсов» за 2017 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247552R.pdf>, 2018.

2 Львович, А. И. Использование сточных вод за рубежом / А. И. Львович. – М.: МСХ СССР, 1968. – 207 с.

3 Кахнич, П. В. Использование сточных вод Израиля / П. В. Кахнич, Л. В. Бучинская // Вестник Национального университета водного хозяйства и природопользования. – 2015. – № 3(71). – С. 185–188.

4 Дать оценку пригодности биологически очищенных сточных вод городов Крымской области и изучить влияние их на агромелиоративные свойства почв: отчет о науч.-исслед. деятельности / Укргипроводхоз. – Киев, 1990. – 98 с. – Исполн.: Сало Т. Л., Дышлок В. Е., Андриянко Г. И., Чегринцев Г. Я., Никула Р. Г.

5 Захаров, Р. Ю. Влияние орошения очищенными сточными водами КОС г. Симферополь на солевой состав почв / Р. Ю. Захаров, Н. Е. Волкова // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения) / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Картунова. – 2017. – С. 44–52.

6 Мелиоративное земледелие: метод. указания / В. П. Василько [и др.]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 95 с.

7 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для целей орошения и удобрения. – М.: Информ.-изд. центр Минздрава России, 1997. – 54 с.

8 Захаров, Р. Ю. Орошение как способ утилизации очищенных сточных вод в Республике Крым / Р. Ю. Захаров, Н. Е. Волкова // Экономика строительства и природопользования. – 2016. – № 1. – С. 54–61.

9 Перспективы использования для орошения очищенных канализационных стоков и коллекторно-дренажных вод на территории Крыма. – Симферополь: НИИСХ Крыма, 2017. – 32 с.

10 Тищенко, А. П. Результаты исследования возможности выращивания хлопчатника в Крыму / А. П. Тищенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 76–82.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.6(476-13)

Ю. Н. Дуброва, Е. А. Савастеева, А. С. Кукреш

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки,
Республика Беларусь

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ ЮЖНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Целью исследований являлось изучение возникших проблем при использовании мелиорированных земель южной части Республики Беларусь. В последнее время наметилась тенденция к уменьшению площадей осушенных сельскохозяйственных земель. Причиной уменьшения использования мелиорированных сельскохозяйственных земель является снижение их продуктивности, деградация торфяных почв.

Ключевые слова: мелиорированные земли, торфяные почвы, площадь осушенных земель, деградация земель, водная эрозия.

Yu. N. Dubrova, E. A. Savasteyeva, A. S. Kukresh

Belarusian State Academy of Agriculture, Gorki, Republic of Belarus

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR USING RECLAIMED LANDS OF THE SOUTHERN PART OF THE REPUBLIC OF BELARUS

The purpose of the research was to study the problems arising while using the reclaimed land in the southern part of the Republic of Belarus. Recently there has been a tendency to reduce the area of drained agricultural land. The reason for reducing the use of reclaimed agricultural land is a decrease in their productivity, degradation of peat soils.

Key words: reclaimed land, peat soils, dry land area, land degradation, water erosion.

В производстве сельскохозяйственной продукции в Беларуси особое место принадлежит осушенным землям. Отношение к мелиорации земель на современном этапе развития сельскохозяйственного производства со стороны государства четко отражено в государственной программе развития аграрного бизнеса на 2016–2020 гг. Процесс мелиорации земель не является абсолютной гарантией повышения качества и уровня сельскохозяйственного производства, он лишь создает условия для их реализации.

В Республике Беларусь осушенные сельскохозяйственные земли занимают более одной третьей от общего наличия сельскохозяйственных угодий. В некоторых районах южной части республики площади осушенных сельскохозяйственных земель занимают более 50 % всех сельскохозяйственных земель, и у ряда районов от 30 до 50 % сельскохозяйственных земель [1].

Опыт мелиорации земель в республике показывает, чего можно добиться за счет комплексной мелиорации и рационального ведения сельскохозяйственного производства в природных условиях, свойственных стране.

Значительную часть мелиорированных сельскохозяйственных земель занимают земли, требующие применения культуртехнических мероприятий и значительных затрат на их проведение. Основная доля таких земель приходится на Брестскую и Гомельскую области.

На Брестскую область приходится почти 700 тыс. га мелиорированных земель, которые используются в сельскохозяйственном производстве, а это более 50 % от об-

щего количества (рисунок 1). Эти земли определяют развитие сельскохозяйственной направленности большинства районов, которая полностью зависит от состояния мелиоративных систем. Осушенные земли для них являются основным средством производства, жизнеобеспечения огромной производственной и социальной составляющей [2].

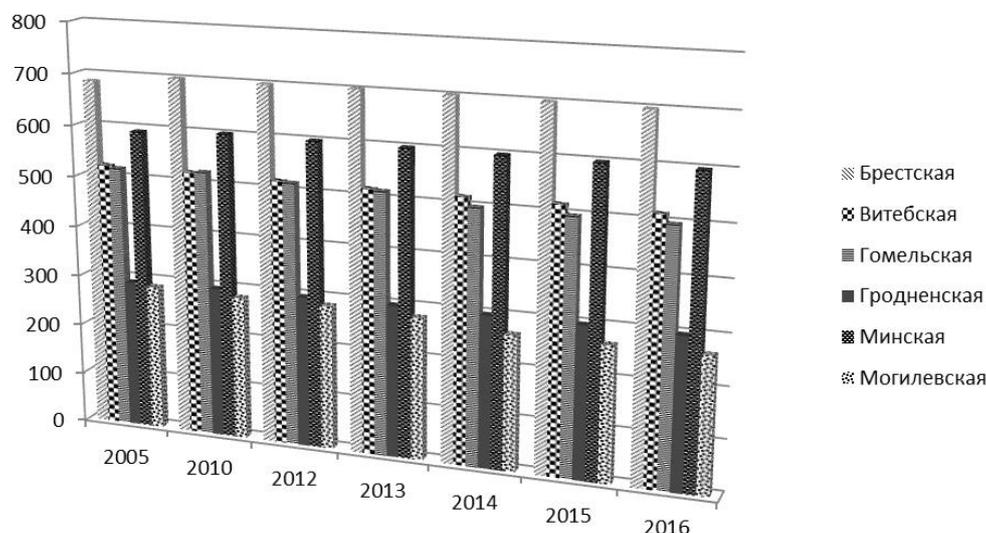


Рисунок 1 – Распределение мелиорированных земель в разрезе областей Республики Беларусь по годам, тыс. га

С 2010 г. наметилась тенденция к уменьшению площадей мелиорированных земель, находящихся в сельскохозяйственном использовании. При этом сокращение площадей произошло в пяти областях. Существенное уменьшение площадей осушенных сельскохозяйственных земель в период с 2010 по 2016 г. произошло в Гомельской и Могилевской областях. Процесс вывода мелиорированных земель из сельскохозяйственного оборота происходит по причине их неудовлетворительного состояния по водному режиму, водной и ветровой эрозии.

Основными причинами деградации земель, характерными для условий Беларуси, могут быть водная и ветровая эрозии, химическое загрязнение от воздействия полигонов промышленных и коммунальных отходов, выработка осушенных торфяных почв и дерново-подзолистых почв в результате длительного использования, а также в результате добычи полезных ископаемых, нерационального использования земель лесного фонда.

Процессы водной эрозии характерны для центральной части Беларуси, районов, где преобладает холмистый рельеф. Проявление дефляции наиболее типично для южной части Республики Беларусь, Полесья, где широко распространены мелиорированные земли и преобладают песчаные и супесчаные почвы с хорошей водопроницаемостью, а также осушенные торфяники.

Площадь дефляционно опасных земель на территории Беларуси составляет около 1010 тыс. га, земель с потенциально возможным смывом почвы – около 1443 тыс. га.

По имеющимся данным, водная эрозия может проявить себя на 556 тыс. га почвы, от ветровой может пострадать до 1 млн га. За последние 40 лет ученые зафиксировали 339 пылевых бурь, около 70 % – на территории Белорусского Полесья.

По полученным данным крупномасштабного агрохимического обследования почв, средний показатель кислотности pH – 5,8, запасы подвижного фосфора – 198,2 мг/кг, калия – 215 мг/кг. Эти показатели свидетельствуют об установившемся балансе этих элементов. Вместе с тем следует отметить отрицательную динамику внесения минеральных удобрений в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь. Так, внесение минеральных удобрений в Брестской области в действующем веществе значительно снизилось в расчете на 1 га пахотных земель (их количество в 2016 г. соста-

вило 200 кг по сравнению с 305 кг в 2010 г.). Аналогичная тенденция наблюдалась и при внесении минеральных удобрений под кормовые культуры, при этом количество вносимых минеральных удобрений снизилось почти в два раза за период с 2010 по 2016 г. [3].

Следует предположить, что при дальнейшей отрицательной динамике внесения минеральных удобрений, в т. ч. на мелиорированные площади, удержать положительный агрохимический баланс запасов питательных веществ в почве будет крайне сложно.

В валовом сборе зерновых и зернобобовых культур в Брестской области при относительно одинаковой посевной площади под этими культурами наметилась тенденция к снижению в период с 2014 по 2016 г. Аналогичная тенденция наблюдается при рассмотрении валовых сборов других основных культур области. Увеличение валового сбора кормовых культур объясняется значительным увеличением посевных площадей под этими культурами (рисунок 2). Одной из причин снижения валового сбора сельскохозяйственных культур явилось снижение доз вносимых минеральных удобрений. Следовательно, уменьшение доз вносимых удобрений приведет к снижению плодородия почвы.



Рисунок 2 – Посевные площади сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях Брестской области по годам, тыс. га

Уменьшение площадей осушенных сельскохозяйственных земель сопровождалось увеличением посевных площадей сельскохозяйственных культур во всех категориях хозяйств. В целом по Республике Беларусь посевные площади увеличились на 4,4 %. В Брестской области посевные площади сельскохозяйственных культур увеличились на 5,5 % (48,2 тыс. га), в Гомельской области увеличение произошло на 18,8 % (162,2 тыс. га) (рисунок 3). Произошло значительное увеличение посевных площадей кормовых культур.

Причиной уменьшения использования мелиорированных сельскохозяйственных земель является снижение их продуктивности. В южной части Республики Беларусь происходит постепенное сокращение продуктивности осушенных земель, а в районах и сельскохозяйственных организациях, где преобладают осушенные земли, этот показатель еще ниже. Помимо недостатков агротехники сельскохозяйственных культур, на снижение продуктивности этих земель влияет неудовлетворительное состояние самих мелиоративных систем.

Среди осушенных сельскохозяйственных земель земли с торфяными почвами занимают около 900 тыс. га. Важной причиной уменьшения использования мелиорированных сельскохозяйственных земель является сокращение использования земель с торфяными почвами в качестве пахотных. Вместе с тем продолжается интенсивное использование мелиорированных торфяных земель для выращивания сельскохозяйственных культур.

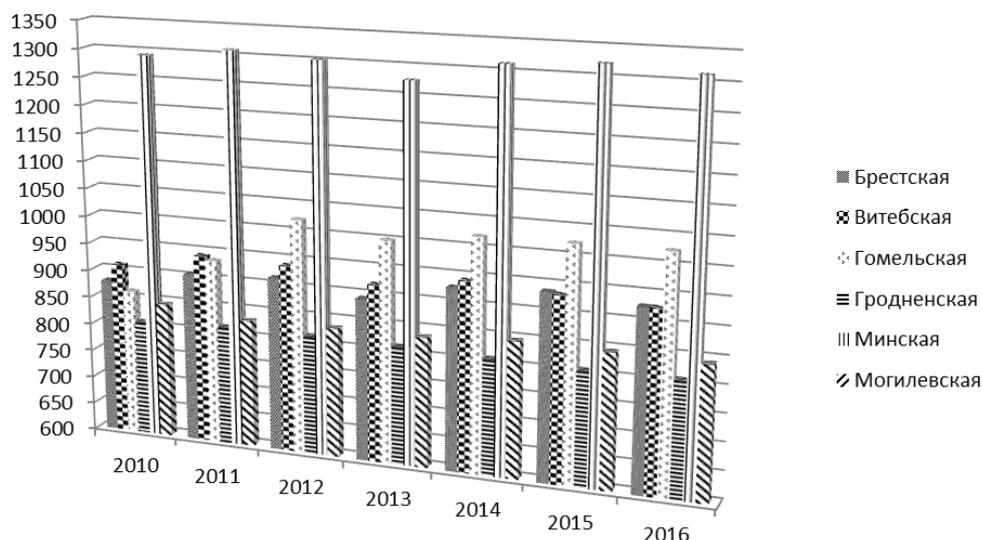


Рисунок 3 – Посевные площади сельскохозяйственных культур во всех категориях хозяйств, по годам, тыс. га

Особую чувствительность к внешним воздействиям проявляют торфяники. Осушение болот вызвало обезвоживание части автоморфных песчаных и супесчаных почв, расположенных на прилегающих территориях (особенно в Полесье). Некогда плодородные, казавшиеся неисчерпаемым источником высоких урожаев, торфяные почвы начали трансформироваться в сторону ухудшения водно-физических свойств и структуры почвенного покрова. На мелиорированных землях наблюдается деградация торфяных почв, обусловленная их постепенным уплотнением, аэробным разложением органического вещества торфа, снижением водоудерживающей способности и высокой подверженностью эрозии [4].

Почвы осушенных болот, полученные в результате мелиорации (которая переводится с латинского как «улучшение»), составляют более 200 тыс. га и на данный момент относятся к категории выработанных торфяников. Земли с выработанными торфяниками практически не используются. Вернуть к жизни деградированные земли можно при помощи повторного заболачивания. На площади около 50 тыс. га эта процедура уже проведена. Мероприятия по повторному заболачиванию поддерживаются и международными организациями.

В условиях длительной эксплуатации мелиоративные системы и их элементы выходят из строя. Происходят изменения продольного и поперечного профилей каналов за счет заиления, размыва, обрушения откосов и дна каналов, осадки грунта, зарастания их травяной и древесной растительностью, заиление, зарастание, разрушение дренажных линий, уменьшение их глубины в связи с разложением торфа, разрушение водорегулирующих и других сооружений, их креплений и облицовок, изменяются состояние поверхности и структура почвы в результате уплотнения ее сельскохозяйственной техникой.

В результате нарушаются оптимальные агротехнические сроки посева и уборки сельскохозяйственных культур, снижается их урожайность, уменьшается продуктивность мелиорированных земель.

Нуждаются в реконструкции мелиоративные системы на площади 356,6 тыс. га, в т. ч. в Брестской области – 95,3 тыс. га. В связи с ограниченным финансированием выполняются наиболее значимые виды ремонтно-эксплуатационных работ, обеспечивающие безопасную эксплуатацию мелиоративных систем, создающие условия, необходимые для нормальной культивации сельскохозяйственных культур [5].

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что в течение продолжительного периода времени в южной части Республики Беларусь проводились мелиоративные работы, направленные на повышение плодородия сельскохозяйственных почв и улучшение состояния малопродуктивных земель. В настоящее время площадь осушенных земель, используемых в сельскохозяйственном производстве, сокращается в связи со снижением их плодородия, что требует реконструкции мелиоративных систем, сокращения использования земель с торфяными почвами в качестве пахотных, повторного заболачивания части деградированных земель, внесения необходимого количества минеральных удобрений.

Список использованных источников

1 Новости Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mshp.gov.by/news/ed1160c68bf6ef4a.html>, 2018.

2 Государственный земельный кадастр РБ (по состоянию на 1 января 2017 г.): сборник / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь. – Минск, 2017. – 57 с.

3 Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск, 2017. – 230 с.

4 Современное состояние и использование мелиорированных земель южной части Республики Беларусь / Ю. Н. Дуброва, Е. А. Савастеева, Л. Е. Рыбалко, А. С. Кукреш // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 175–180.

5 Государственная программа развития аграрного бизнеса Республики Беларусь на 2016–2020 годы: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 11 марта 2016 г. № 196 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://economy.gov.by/ru/>, 2018.

УДК 631.674.6

В. Н. Шкура, А. С. Штанько

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КООРДИНАТ И ПОСТРОЕНИЯ ОЧЕРТЕНИЯ ЗОН КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ

Целью исследований определена разработка методики прогнозирования очертания локальных контуров капельного увлажнения почвенного пространства, формирующихся в почвогрунтовой толще при различных почвенных, фитопочвенных и технологических условиях капельного полива. Предлагаемый подход к определению формы и размеров зон промачивания почвы базируется на материалах авторских исследований и экспериментальных зависимостях, позволяющих определить координаты оконтуривающих увлажняемую зону линий и по ним построить соответствующий условиям капельного полива контур увлажнения почвы. Методика разработана на уровне программы для ЭВМ, апробирована на данных исследований ряда специалистов в области капельного орошения и позволяет построить очертания контура капельного увлажнения почвы с отклонением его расчетных координат от опытных, не превышающим 12 %, что позволяет рекомендовать ее для практического использования.

Ключевые слова: капельное орошение, капельный полив, зона увлажнения, контур увлажнения, форма и размеры контура, очертание зоны промачивания.

V. N. Shkura, A. S. Shtanko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

METHODOLOGY OF COORDINATE CALCULATION AND DEVELOPMENT OF DRIP IRRIGATION ZONE CONTOUR

The aim of the research is to develop a methodology for predicting the outline of local contours of drip moistening of soil space formed in the soil layer under different soil, phytosoil and technological conditions of drip irrigation. The proposed approach for determining the shape and size of soil wetting zones is based on the authors' research and experimental dependences, which make it possible to determine the coordinates of the contour lines of the moistening zone and to construct the soil moistening contour corresponding to the conditions of drip irrigation. The methodology was developed at the level of a computer program, tested on the basis of a number of specialists' research data in the field of drip irrigation and makes it possible to construct soil drip humidification contours with deviation of its calculated coordinates from the experimental ones, not exceeding 12 %, which allows to recommend it for practical use.

Key words: drip irrigation, drip watering, moisture zone, moisture contour, shape and dimensions of the contour, wetting zone contour.

Введение. Определяющим оценочным параметром качества капельного полива является зона (область или контур) промачивания (увлажнения) подкапельного почвенного пространства. Исследования по определению очертания контура капельного увлажнения почвы проводились А. Д. Ахмедовым, В. С. Бочарниковым, М. Ю. Храбровым, М. К. Гаджиевым, В. Н. Шкуррой, О. Е. Ясониди [1–5] и другими специалистами-мелиораторами. Но общепринятая методика определения координат их очертания до настоящего времени отсутствует, что и предопределило актуальность настоящей разработки.

Материалы и методы. В основу предлагаемой методики положены материалы экспериментальных исследований, выполненных для широкого диапазона почвенных, фитопочвенных и технологических параметров капельного полива, и экспериментальные зависимости, которые характеризуют геометрические параметры контуров капельного увлажнения, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве при надземном и наземном расположении капельниц. Исходными данными для проведения расчетов являются физические и водно-физические характеристики почвы, в качестве которых рассмотрены нижеследующие: $\bar{\gamma}_{об}$ – средняя плотность сложения почвы в пределах увлажняемого почвенного слоя, т/м³; $W_{г/ч}$ – содержание в увлажняемом почвенном слое глинистых частиц, определяемое в процентах от массы сухой почвы (% МСП); $W_{НВ}$ – наименьшая влагоемкость почвы в пределах глубины увлажняемого слоя в % МСП. Фитопочвенные параметры определяются необходимой глубиной увлажнения почвы $h_{увл}$, определяемой глубиной расположения основной части ризосферы растения или глубиной контура капельного увлажнения почвы $h_{кон}$, м; доливной $\beta_{д/п}$ и постполивной $\beta_{п/п}$ влажностью почвы в пределах контура увлажнения, % МСП.

Результаты и обсуждение. Глубина контура увлажнения обеспечивается подачей поливной нормы $N_{пол}$, м³/кап., определяемой по зависимости вида:

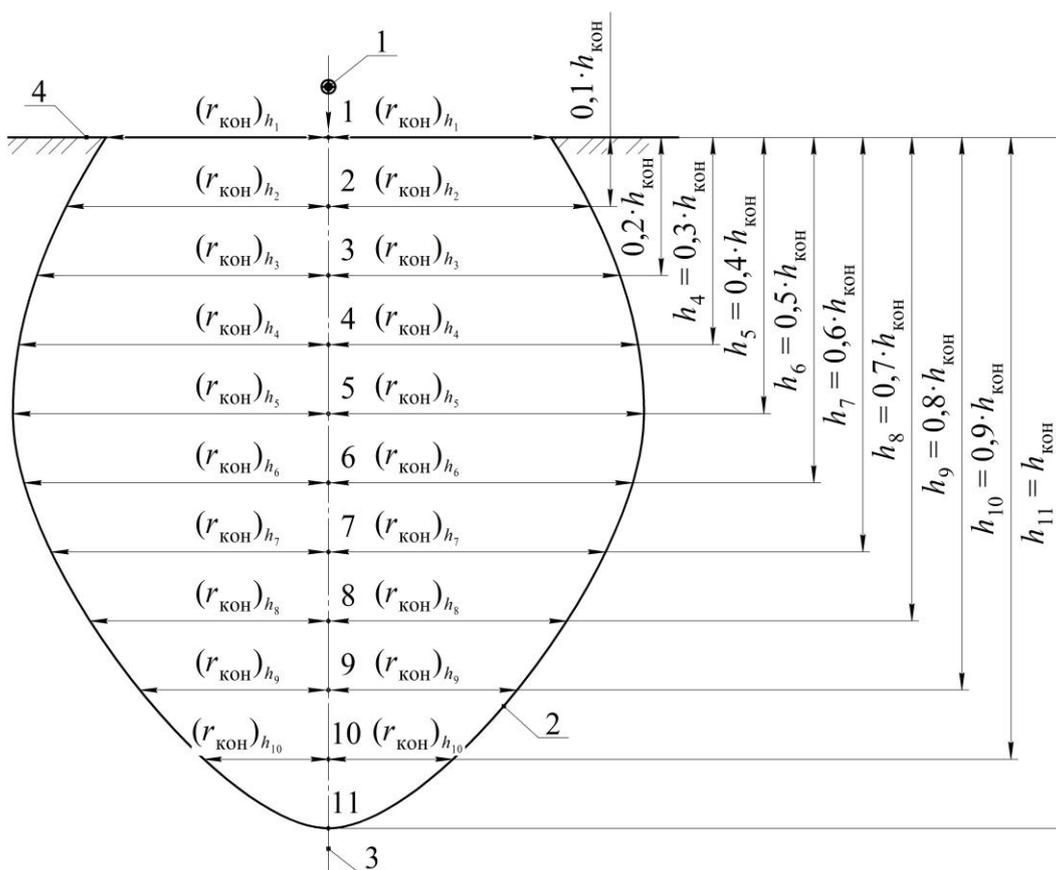
$$N_{пол} = 0,00196 \cdot \bar{\gamma}_{об} \cdot h_{кон}^3 \cdot (0,0765 \cdot W_{г/ч}^{0,6} + 0,0292 \cdot W_{НВ})^2 \cdot (\beta_{п/п} - \beta_{д/п}).$$

Расчетная схема профиля (сечения контура вертикальной плоскостью) аппроксимированного контура увлажнения почвы, формирующегося в подкапельном пространстве, при надземном и наземном расположении капельниц приведена на рисунке 1.

Расчет координат ограничивающей контур капельного увлажнения почвы линии ведется в нижеследующей последовательности расчетных и графических операций.

1 Определяется величина радиуса контура увлажнения по зависимости:

$$r_{кон} = 0,25 \cdot [(0,51 + 0,009 \cdot W_{г/ч}) + (0,073 + 0,038 \cdot W_{НВ})] \cdot h_{кон}. \quad (1)$$



1 – капельница; 2 – оконтуривающая линия; 3 – ось капания; 4 – поверхность земли;
 $h_1 - h_{11}$ – расстояния от поверхности земли до разделяющих контур сечений, м;
 $(r_{\text{кон}})_{h_1} - (r_{\text{кон}})_{h_{11}}$ – соответствующие сечениям радиусы контура, м;
 1 – 11 – точки на оси капания, соответствующие сечениям контура

Рисунок 1 – Расчетная схема капельного контура увлажнения почвы

2 Глубина контура увлажнения в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1, разделяется на 10 равных расчетных слоев с глубиной каждого слоя h_i , м. Матрица относительных координат контура для каждого сечения приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Форма матрицы относительных координат контура по его глубине

Показатель	Значение показателя										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h_i / h_{\text{кон}}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

3 Для каждого из сечений контура (1, 2, ..., 11) с использованием зависимости:

$$(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}} = k_0 + k_1(h_i / h_{\text{кон}})^1 - k_2(h_i / h_{\text{кон}})^2 + k_3(h_i / h_{\text{кон}})^3 - k_4(h_i / h_{\text{кон}})^{30}, \quad (2)$$

определяются соответствующие сечениям значения соотношений $(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}}$, по которым устанавливаются координаты границ контура $(r_{\text{кон}})_{h_i}$.

В зависимости (2) k_0 , k_1 , k_2 , k_3 и k_4 – экспериментальные коэффициенты, при этом k_0 – свободный член полинома:

$$k_0 = 0,5 \cdot \left[(1 - 0,005 \cdot W_{\text{г/ч}} \cdot \bar{\gamma}_{\text{об}}) + (1 - 0,001 \cdot W_{\text{НВ}}^{1,84} - 0,002 \cdot W_{\text{НВ}}^{0,45}) \right];$$

$k_1 = 1,03 / k_0^{1,2}$ – коэффициент при $(h_i / h_{\text{кон}})^1$; $k_2 = k_0 + k_1$ – коэффициент при $(h_i / h_{\text{кон}})^2$;

$k_3 = k_4 = 0,255 \cdot k_0^{0,01}$ – коэффициенты при $(h_i / h_{\text{кон}})^3$ и $(h_i / h_{\text{кон}})^{30}$ соответственно.

Полученные расчетом значения $(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}}$ заносятся в матрицу (таблица 2).

Таблица 2 – Форма матрицы относительных координат контура по его ширине

Показатель	Значение показателя										
№ сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}}$											

4 Для глубины увлажнения почвенного слоя $h_{\text{увл}} = h_{\text{кон}}$, м, и в соответствии с принятыми значениями соотношений $h_i / h_{\text{кон}}$ (см. таблицу 1) определяются значения глубин сечений $h_i = (h_i / h_{\text{кон}}) \cdot h_{\text{кон}}$, являющиеся абсолютными вертикальными координатами контура. Результаты расчета значений глубин h_i заносятся в таблицу 3.

Таблица 3 – Форма матрицы вертикальных координат контура увлажнения почвы

Показатель	Значение показателя										
№ сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h_i / h_{\text{кон}}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
h_i , м											

5 По установленному значению радиуса контура $r_{\text{кон}}$ и полученным значениям $(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}}$ (п. 3) определяются значения радиусов контура $(r_{\text{кон}})_{h_i}$, м, на различных его глубинах h_i , м, с использованием соотношения $(r_{\text{кон}})_{h_i} = r_{\text{кон}} \cdot [(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}}]$. Полученные значения радиусов контуров $(r_{\text{кон}})_{h_i}$ заносятся в матрицу (таблица 4).

Таблица 4 – Форма матрицы горизонтальных координат контура увлажнения почвы

Показатель	Значение показателя										
№ сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$(r_{\text{кон}})_{h_i} / r_{\text{кон}}$											
$(r_{\text{кон}})_{h_i}$, м											

6 Полученные значения h_i (п. 4) и $(r_{\text{кон}})_{h_i}$ (п. 5) являются координатами граничного очертания контура капельного увлажнения почвы (таблица 5).

Таблица 5 – Форма матрицы абсолютных координат контура капельного увлажнения почвы

Показатель	Значение показателя										
№ сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
h_i , м											
$(r_{\text{кон}})_{h_i}$, м											

7 По координатной сетке $h_i \times (r_{\text{кон}})_{h_i}$ осуществляется построение профиля контура увлажнения, формирующегося в подкапельном почвенном пространстве.

Предложенная методика предусматривает последовательное выполнение ряда расчетно-графических операций в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема расчета координат и построения очертания контуров капельного увлажнения почвы

Пример расчета и построения контура увлажнения почвы по вышеприведенной методике выполнен для условий исследования, проведенного М. К. Гаджиевым и характеризуемого нижеприведенными исходными данными капельного полива [2].

1 Содержание в почве глинистых частиц $W_{г/ч} = 46,3$ % МСП; наименьшая влагоемкость почвы $W_{НВ} = 22,5$ % МСП; плотность сложения слоя почвы $\bar{\gamma}_{об} = 1,35$ т/м³.

2 Глубина контура увлажнения, зафиксированная М. К. Гаджиевым: $h_{увл} = 1,36$ м.

3 Поливная норма в исследовании М. К. Гаджиева $(N_{пол})_{опыт} = 112$ л/кап.

4 Уровень средней по слою дополивной влажности почвы $\beta_{д/п} = 13,5$ % МСП.

5 Уровень средней по слою постполивной влажности почвы $\beta_{п/п} = 22,5$ % МСП.

Для указанных условий полива необходимая глубина увлажнения обеспечивается подачей воды одной капельницей в объеме, соответствующем поливной норме:

$$N_{пол} = 0,00196 \cdot \bar{\gamma}_{об} \cdot h_{кон}^3 \cdot (0,0765 \cdot W_{г/ч}^{0,6} + 0,0292 \cdot W_{НВ}^2) \cdot (\beta_{п/п} - \beta_{д/п}) = 0,00169 \times \\ \times 1,35 \cdot 1,36^3 \cdot (0,0765 \cdot 46,3^{0,6} + 0,0292 \cdot 22,5^2) \cdot (22,5 - 13,5) = 0,121 \text{ м}^3/\text{кап.}$$

Полученное расчетное значение поливной нормы $(N_{пол})_{расч} = 121$ л/кап. превышает опытное ее значение $(N_{пол})_{опыт} = 112$ л/кап. на 8,0 %, что вполне допустимо.

Зафиксированный М. К. Гаджиевым контур характеризуется асимметричностью, что предопределяет необходимость рассматривать лево-, правостороннюю и осредненную оконтуривающие линии, значения координат которых приведены в таблице 6.

Расчетные координаты линии получены по вышеприведенной методике.

1 Значения экспериментальных коэффициентов полинома (2):

$$k_0 = 0,5 \cdot \left[(1 - 0,005 \cdot W_{гч} \cdot \bar{\gamma}_{об}) + (1 - 0,001 \cdot W_{НВ}^{1,84} - 0,002 \cdot W_{НВ}^{0,45}) \right] = 0,5 \times \\ \times \left[(1 - 0,005 \cdot 46,3 \cdot 1,35) + (1 - 0,001 \cdot 22,5^{1,84} - 0,002 \cdot 22,5^{0,45}) \right] = 0,686, \\ k_1 = 1,03 / k_0^{1,2} = 1,03 / 0,686^{1,2} = 1,619, \\ k_2 = k_0 + k_1 = 0,686 + 1,619 = 2,305, \\ k_3 = k_4 = 0,255 \cdot k_0^{0,01} = 0,255 \cdot 0,686^{0,01} = 0,254.$$

2 Величина радиуса контура увлажнения почвы, определенная по формуле (1):

$$r_{кон} = 0,25 \cdot \left[(0,51 + 0,009 \cdot W_{гч}) + (0,073 + 0,038 \cdot W_{НВ}) \right] \cdot h_{кон} = 0,25 \times \\ \times \left[(0,51 + 0,009 \cdot 46,3) + (0,073 + 0,038 \cdot 22,5) \right] \cdot 1,36 = 0,63 \text{ м.}$$

3 Координаты границы расчетного контура увлажнения приведены в таблице 7.

Таблица 6 – Опытные значения координат граничных линий контура увлажнения

Показатель	Значение показателя										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№ сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h_i / h_{кон}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
h_i , м	0,00	0,136	0,272	0,408	0,544	0,680	0,816	0,952	1,088	1,224	1,360
$(r_{лев})_{h_i}$, м	0,44	0,53	0,61	0,62	0,61	0,59	0,52	0,48	0,40	0,32	0,00
$(r_{пр})_{h_i}$, м	0,43	0,50	0,56	0,57	0,55	0,54	0,44	0,39	0,30	0,22	0,00
$(r_{лев})_{h_i} / (r_{лев})_{max}$	0,710	0,855	0,984	1,000	0,984	0,952	0,839	0,774	0,645	0,516	0,000
$(r_{пр})_{h_i} / (r_{пр})_{max}$	0,754	0,877	0,982	1,000	0,965	0,895	0,772	0,684	0,526	0,386	0,000

Таблица 7 – Расчетные значения координат контуров капельного увлажнения почвы

Показатель	Значение показателя										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№ сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$h_i / h_{кон}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
h_i , м	0,00	0,136	0,272	0,408	0,544	0,680	0,816	0,952	1,088	1,224	1,360
$(r_{h_i} / r_{кон})_{расч}$	0,686	0,825	0,920	0,971	0,981	0,951	0,882	0,777	0,636	0,450	0,000
$(r_{h_i})_{расч}$, м	0,43	0,52	0,58	0,61	0,62	0,60	0,56	0,49	0,40	0,28	0,00

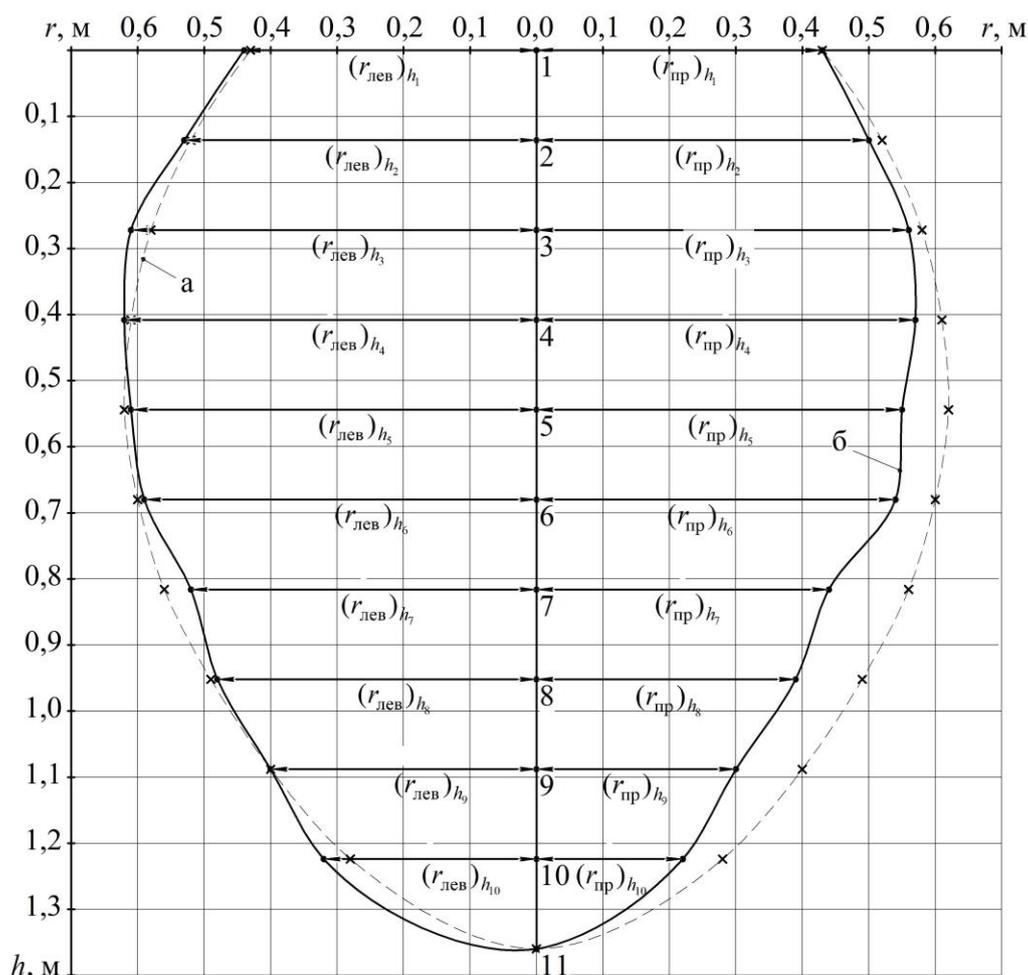
Учитывая асимметричность очертания опытного контура и симметричность расчетного, в таблице 8 привели данные сопоставления средних значений радиусов опытного контура $(\bar{r}_{h_i})_{опыт}$ с расчетными значениями радиусов контура $(r_{h_i})_{расч}$.

Таблица 8 – Данные среднеопытных и расчетных значений радиусов контуров

Показатель	Значение показателя										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№ сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$(\bar{r}_{h_i})_{опыт}$, м	0,44	0,52	0,59	0,60	0,58	0,57	0,48	0,44	0,35	0,27	0,00
$(r_{h_i})_{расч}$, м	0,43	0,52	0,58	0,61	0,62	0,60	0,56	0,49	0,40	0,28	0,00
Отклонение, %	2,3	0,0	1,7	1,7	6,9	5,3	16,7	11,4	14,3	3,7	0,0

Данные таблиц 6 и 7 позволяют построить очертания опытного и расчетного контуров увлажнения почвы по координатной сетке $r_{h_i} \times h_i$ (рисунок 3).

Сопоставление опытных и расчетных значений координат контуров капельного увлажнения почвы и их очертаний (таблица 8 и рисунок 3) позволяет сделать заключение о приемлемости приведенной методики для ее практического использования.



a – контур капельного увлажнения почвы, построенный по результатам расчета по предлагаемой методике; *б* – контур увлажнения, построенный по первичным данным М. К. Гаджиева; *r* – радиус контура, м; *h* – глубина контура, м; 1 – 11 – точки на оси капания, соответствующие характерным сечениям контура увлажнения почвы

Рисунок 3 – Контурсы капельного орошения почвы

Вывод. Предлагаемый подход к определению формы и размеров зон промачивания почвы базируется на материалах авторских исследований и экспериментальных зависимостях, позволяющих определить координаты оконтуривающих увлажняемую зону линий и по ним построить соответствующий условиям капельного полива контур увлажнения почвы. Методика разработана на уровне программы для ЭВМ, апробирована на данных исследований ряда специалистов-«капельщиков» и позволяет построить очертания контуров с отклонением расчетных координат от опытных, не превышающим 12 %, что позволяет рекомендовать его для практического использования.

Список использованных источников

1 Ахмедов, А. Д. Контурсы увлажнения почвы при капельном орошении / А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3. – С. 183–188.
 2 Гаджиев, М. К. Особенности капельного орошения виноградников в условиях Дагестанской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Гаджиев Магомед Кебедович. – Новочеркасск, 1985. – 24 с.
 3 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: монография / О. Е. Ясониди; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

4 Храбров, М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении / М. Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34–35.

5 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рьжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

УДК 631.432.1

М. С. Васильев

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности
Инженерно-технологической академии Южного федерального университета, Таганрог,
Российская Федерация

Ю. Е. Домашенко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД САХАРНЫХ ЗАВОДОВ В ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЯХ

Целью работы являлась оценка возможности использования сточных вод сахарных заводов в оросительных мелиорациях. Сточные воды сахарных заводов содержат большое количество минеральных и органических загрязнений, попав в открытые водоемы, они создают обширные зоны устойчивого загрязнения, нарушающие нормальное использование водоемов для промышленного водоснабжения. Поэтому перспективным направлением их утилизации по-прежнему остаются орошаемые участки. Анализ технологических решений по очистке сточных вод сахарных заводов показал, что естественные методы биологической очистки не эффективны и требуется использование искусственных способов очистки, основанных на физико-химических, биологических и комбинированных методах.

Ключевые слова: сахарный завод, сточные воды, очистка, орошение, поля фильтрации.

M. S. Vasilyev

Institute of Computer Technology and Information Security, Engineering and Technological
Academy, Southern Federal University, Taganrog, Russian Federation

Yu. E. Domashenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

THE SUGAR REFINERIES WASTEWATER UTILIZATION IN IRRIGATION RECLAMATION

The aim of the work was to assess the possibility of using effluents from sugar factories for irrigation reclamation. The sugar factories wastewaters contain a large amount of mineral and organic impurities, once in open water bodies, they create extensive areas of persistent pollution that disrupt the normal use of reservoirs for industrial water supply. So, irrigated plots remain a promising direction for their utilization. Analysis of technological solutions for sugar refineries wastewater treatment showed that natural methods of biological treatment are not effective and it's necessary to use artificial methods of treatment based on physical-chemical, biological and comprehensive methods.

Key words: sugar refinery, wastewater, purification, irrigation, filtration fields.

Введение. В структурной организации сахарных заводов немалую часть занимает водное хозяйство. Балансовая схема водопотребления сахарных заводов характери-

зуются значительными объемами потребления чистой воды (около 10,0 млн м³) и водоотведением около 6,0 млн м³ [1, 2].

Одним из природоохранных механизмов защиты водотоков от загрязнения сточными водами является их утилизация после предварительной очистки на оросительных системах при поливе сельскохозяйственных культур и древесно-кустарниковых насаждений. При этом орошаемые участки играют роль «очистных сооружений», позволяющих осуществить естественную почвенно-биологическую доочистку сточных вод в почвенном профиле [3, 4].

Целью работы является оценка возможности использования сточных вод сахарных заводов в оросительных мелиорациях.

Результаты и обсуждения. Условно все сточные воды сахарных заводов можно разделить на три категории [4]:

- I категория – это сточные воды, которые имеют слабое загрязнение и по химическому составу близки к исходной воде (конденсационная или барометрическая вода, вода от охлаждения, от гидравлического подъемника). В конденсационных водах незначительна концентрация аммиака и иных летучих органических веществ, поэтому их окисляемость может стремиться к 150 мг/дм³. Температурный показатель находится в пределах 35–40 °С. Объем сточных вод этой категории вод к общему находится в диапазоне 23,5–25,5 % к весу перерабатываемой свеклы (около 2,5 м³/т);

- II категория – это сточные воды, имеющие в своем составе механические примеси и формирующиеся в пределах транспортерно-моечных (наибольшее количество), ловушечных, свекломоечных отделений и элеватора. Также в состав сточных вод помимо механических входят органические соединения, что создает условия для повышения БПК до 490 мг/дм³. Объем сточных вод этой категории вод к общему находится в пределах 610–670 % к весу перерабатываемой свеклы (6,1–6,7 м³/т);

- III категория – это сточные воды, имеющие в своем составе преимущественно органические соединения, которые образуются в диффузионных, фильтр-прессных и жомовых отделениях. Они склонны к быстрому загниванию, образуя при этом масляные, молочные и другие кислоты, которые в свою очередь являются продуктом бактериального разложения белков. К побочным продуктам также относят аминокислоты, углекислоты и аммиак. В жомовой воде протекает спиртовое и гнилостное брожение. Объем сточных вод этой категории вод к общему составляет 19,6–25,5 % к весу свеклы.

Определяющий фактор экологичности сахарного производства – это организация системы водного хозяйства сахарного завода, лимитирующая количество сточных вод и, соответственно, размеры земельных площадей, занятых под очистные сооружения.

Сточные воды свеклосахарного завода, которые могут быть использованы в сельскохозяйственных мелиорациях (III категория), включают в себя:

- избыточные транспортерно-моечные с осадком из отстойников;
- воды газопромывателя;
- избыточные жомопрессовые воды;
- жомокислые воды;
- воды гидравлического удаления фильтрационного осадка или дренажные воды с площадки складирования дефеката;
- воды от мойки мешков и фильтрационного хоста;
- воды от мытья полов и аппаратуры;
- воды лаборатории завода;
- продувки котлов;
- регенерационные растворы химической очистки воды теплоэлектростанции (ТЭЦ);
- от промывки весов для свеклы и свеклоэлеватора;
- от промывки свеклорезок и свеклорезных ножей;
- от продувки оборотных систем вод I категории главного корпуса и ТЭЦ;

- хозяйственно-бытовые воды промышленных площадок и жилого поселка.

Основными источниками загрязнения сточных вод в свеклосахарном производстве являются:

- сахарная свекла (вещества, вымываемые из поврежденных корнеплодов при транспортировке и мойке свеклы);
- земля и грубые примеси, поступающие на завод вместе со свеклой;
- примеси, содержащиеся в сатурационном газе;
- соковые пары и полупродукты, имеющие контакты с водой;
- реагенты и вспомогательные материалы (смазочные масла, соли и т. д.);
- растворимые вещества жома.

Специфическим загрязнителем производственных сточных вод сахарных заводов является кислый свекловичный сапонин, который попадает в стоки после переработки сахарной свеклы. Данное органическое вещество относят к группе гликозидов, которые характеризуются ярко выраженными поверхностно-активными свойствами, способны провоцировать вспенивание водных растворов и относятся к токсичным элементам для биоценозов, присутствующих в водоемах. Согласно действующим нормативам, концентрация сапонина в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по органолептическому признаку не должна превышать 0,2 мг/дм³.

Для очистки сточных вод сахарных заводов используют механические, физико-химические и биологические методы. Механические и физико-химические методы задействованы на начальном этапе очистки вод или на заключительной стадии доочистки в случае утилизации или сброса в открытый водоем. Механические методы реализуются на специальных сооружениях, таких как песколовки, решетки, естественные отстойники, песчано-гравийные и другие фильтры. В них происходит отделение механических примесей [5–8].

Из физико-механических методов в практике очистки сточных вод получила распространение нейтрализация, основанная на внесении извести с целью оптимизации рН, а также достижения обеззараживающего эффекта с помощью дезинфицирующих агентов (хлора, гипохлорита натрия), прошедших предварительную биологическую очистку сточных вод перед сбросом в водоем. Наибольшее распространение при очистке сточных вод сахарных заводов получил метод, основанный на естественной биологической очистке на полях фильтрации, в биологических прудах и на земледельческих полях орошения.

Под полями фильтрации следует понимать участки земли, на которых созданы условия для естественной биологической очистки сточных вод за счет их фильтрации через почвенный профиль. Нейтрализация органических загрязнений, присутствующих в сточных водах, происходит при фильтрации сточных вод через почвы за счет бактерий, грибов, водорослей, простейших, червей и членистоногих, способствующих протеканию процессов окисления. Расщепление органических веществ завершается процессами нитрификации, т. е. трансформации органического азота в нитраты и денитрификации с образованием азота и СО₂.

Поля фильтрации работают наиболее эффективно в случае, если подача очищаемой сточной воды находится в пределах расчетной нормы. Установлено, что на каждую 1000 т суточной переработки свеклы необходимо 20–35 га полей фильтрации в зависимости от качественных характеристик почв. Максимальная эффективность полей фильтрации как очистных сооружений достигается в весенне-летний период при условии, если они находятся в пределах участков с благоприятными гидрогеологическими и климатическими условиями и технически правильно эксплуатируются.

Несмотря на то, что методы естественной биологической очистки широко используются в отечественной практике производства сахара, они обладают рядом существенных недостатков:

- низкопроизводительны;
- требуют больших земельных площадей;
- существенно зависят от погодных условий;
- неуправляемы;
- в большей части случаев дают недостаточно высокую степень очистки.

Поэтому перспективным направлением для повышения привлекательности сточных вод сахарных заводов как ценных вторичных ресурсов является осуществление внедрения технических решений по интенсификации процессов очистки сточных вод с применением новых реагентов, искусственной биологической очистки.

Особенность сточных вод сахарных заводов заключается в высокой концентрации в их составе взвешенных веществ органического и минерального происхождения и растворенных органических загрязнений, в дефиците биогенных веществ (соединений азота и фосфора), возможности наличия сапонина, отрицательно влияющего на биологическую очистку стоков, а также сезонности их образования. Химический состав сточных вод сахарных заводов представлен в таблице 1 [5–8].

Таблица 1 – Характеристика сточных вод сахарных заводов

Показатель	Среднее значение показателя
Температура, °С	(12–28)/18,7
Цвет	Серо-коричневый
Запах	Затхлый, гнилостный
Прозрачность, см	0
Содержание взвешенных веществ, мг/дм ³	(666–49948)/21320
рН среды	(7,5–8,9)/8,0
Растворенный кислород, мг/дм ³	0
БПК _{полн} , мг/дм ³	(3248–7636)/5387
ХПК, мг/дм ³	(4547–10110)/7542
Сухой остаток, мг/дм ³	(3760–10133)/5340
Потери при прокаливании, мг/дм ³	(3518–8625)/4392
Содержание, мг/дм ³ :	
- азот органических соединений	(18–136)/55
- аммиак и соли аммония	(3,5–22,4)/10,9
- нитриты, нитраты	Следы
- сероводород	(1,9–3,5)/3,6
- сульфаты	(9,8–131)/67,8
- фосфаты	(3,2–16)/5,7
- хлориды	(17–198)/84
- сапонин	(5–12)/8
Общая жесткость, мг-экв/дм ³	(8,3–32,8)/21,4
Примечание – Числитель – диапазон содержания загрязняющих веществ, знаменатель – среднее содержание загрязняющих веществ в сточных водах.	

Качественный состав сточных вод сахарных заводов с точки зрения удобрительной их ценности можно охарактеризовать коэффициентом удобрительного потенциала [9]:

$$K_{уп} = 100 \frac{\sum B_i}{\sum C_i},$$

где $K_{уп}$ – коэффициент удобрительного потенциала, %;

B_i – суммарная концентрация основных биогенных элементов (N, P, K), содержащихся в сточных водах, мг/л;

C_i – суммарная концентрация всех биогенных элементов и солей, содержащихся в сточных водах, мг/л.

По удобрительному потенциалу сточные воды подразделяются на три группы:

- первая группа (высокая удобрительная ценность): $K_{yn} > 20 \%$;
- вторая группа (средняя удобрительная ценность): $K_{yn} = 10...20 \%$;
- третья группа (низкая удобрительная ценность): $K_{yn} < 10 \%$.

На основании представленного в таблице 1 химического состава данная категория сточных вод относится к группе с высокой удобрительной ценностью.

Выводы

1 Сточные воды сахарных заводов содержат большое количество минеральных и органических загрязнений, попав в открытые водоемы, они создают обширные зоны устойчивого загрязнения, нарушающие нормальное использование водоемов для промышленного водоснабжения. Поэтому перспективным направлением их утилизации по-прежнему остаются орошаемые участки.

2 Анализ технологических решений по очистке сточных вод сахарных заводов показал, что естественные методы биологической очистки не эффективны и требуется использование искусственных способов очистки, основанных на физико-химических, биологических и комбинированных методах.

Список использованных источников

1 Сапронов, А. Р. Технология сахарного производства / А. Р. Сапронов. – М.: Колос, 1999. – 495 с.

2 Юдина, В. А. Оценка воздействия на окружающую среду завода по переработке сахарной свеклы / В. А. Юдина // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 8. – С. 62–62.

3 Ермакова, Н. В. Техногенное воздействие сахарного завода на окружающую среду / Н. В. Ермакова, Т. А. Будыкина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2, ч. 2. – С. 176–179.

4 Водное хозяйство сахарных заводов / В. В. Спичак, Б. Н. Базлов, П. А. Ананьева, Т. В. Поливанова; под ред. В. В. Спивака. – Курск: РНИИСР Россельхозакадемии, 2005. – 167 с.

5 Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справ. проектировщика / Н. И. Лихачев [и др.]; под ред. В. Н. Самохина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.

6 Будыкина, Т. А. Очистка транспортерно-моечных вод сахарного завода / Т. А. Будыкина, В. В. Франтова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2011. – № 2. – С. 27–30.

7 Поливанова, Т. В. Совершенствование технологий очистки сточных вод сахарных заводов с целью повышения экологической безопасности окружающей среды / Т. В. Поливанова, К. А. Фролов, С. А. Поливанова // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 2. – С. 26–27.

8 Поливанова, Т. В. Инновационные экозащитные технологии реконструкции объектов водоснабжения и водоотведения сахарных заводов / Т. В. Поливанова, В. В. Буромский, К. А. Фролов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2013. – № 2. – С. 33–39.

9 Желязко, В. И. О пригодности сточных вод предприятий агропромышленного комплекса для удобрительного орошения / В. И. Желязко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 1. – С. 122–130.

УДК 631.51

Э. А. Гаевая

Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ НА СКЛОНЕ КАК СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ

Целью исследований являлось изучение способов регулирования водного режима почв на склоне для предотвращения водной эрозии и обеспечение получения растениеводческой продукции, экономически выгодной и экологически безопасной. Исследования проведены в многофакторном стационарном опыте на склоне балки Большой Лог в Аксайском районе Ростовской области в 2014–2017 гг. в системе контурно-ландшафтной организации территории склона крутизной до 3,5–4,0°. Среднегодовой сток на склоне составляет 20 мм, смыв почвы 18,5 т/га определен по смывности почвенного покрова при закладке опыта. Наибольший эффект в виде предотвращения стока воды и смыва почвы обеспечивается при чередовании полос эрозионно устойчивых культур и эрозионно опасных культур. Применение чизельной обработки почвы сокращало смыв на 32,3–39,2 %. В варианте с чизельной обработкой высота снежного покрова в среднем была равна 20,2 см, или на 16,3 % больше, чем с отвальной. Установлено, что чизельная обработка почвы увеличивает водопроницаемость на 6,1–8,4 %. Наибольший выход зерна озимой пшеницы на 1 мм продуктивной влаги был получен по чистому пару и чизельной обработке почвы (9,44–9,74 кг). После озимой пшеницы в качестве предшественника выход зерна на 21,7–23,7 % ниже, чем по чистому пару.

Ключевые слова: запас воды в снеге, смыв, водопроницаемость, продуктивная влага, озимая пшеница.

E. A. Gaeva

Federal Rostov Agrarian Scientific Center, Rassvet, Russian Federation

SOIL WATER REGIME MANAGEMENT ON SLOPE AS A METHOD OF PREVENTING WATER EROSION

The aim of the research was to study the methods of regulating the soil water regime on the slope to prevent water erosion and to ensure the economically beneficial and environmentally friendly crop production. The studies were carried out in a multifactorial stationary experience on the slope of the Bolshoi Log beam in Aksay district Rostov region in 2014–2017 in the system of contour-landscape planning of the slope gradient up to 3.5–4.0°. The average annual runoff on a slope is 20 mm, the soil washout 18.5 t/ha is determined by the washing of soil cover during the trial establishment. The greatest effect in the form of preventing water flow and soil erosion is provided by the alternation of cropping strips of erosion resistant crops and erosion dangerous crops. The use of chisel tillage reduced the wash off by 32.3–39.2 %. In the variant with chisel treatment the height of the snow cover was on average 20.2 cm or 16.3 % more than from the moldboard. It is found that chisel tillage increases water permeability by 6.1–8.4 %. The highest yield of winter wheat grain per 1 mm of productive moisture was obtained by a complete fallow and chisel cultivation (9.44–9.74 kg). After winter wheat as a predecessor, the yield of grain is 21.7–23.7 % lower than that of a complete fallow.

Keywords: water supply in snow, wash off, water permeability, productive moisture, winter wheat.

Введение. В России водной эрозии подвержено 43,7 млн га, ветровой – 13,0 млн га. Смывые почвы составляют в лесной зоне 32 %, в лесостепной – 41 % и

в степной – 43 %. Это связано с тем, что более половины сельхозугодий в Российской Федерации расположено на склонах различной крутизны [1, 2].

Предотвратить сток и пополнить запасы продуктивной влаги в паровом поле можно с помощью почвозащитных обработок почвы, используя щелерезы или другие орудия. Это позволяет сократить сток в среднем на 35 % и уменьшить смыв почвы почти вдвое. Эффективным противоэрозионным и влагонакопительным приемом является поделка микролиманов и лункование зяби, выполняемые специальными орудиями и приспособлениями. Поделка микролиманов обеспечивает большее накопление снега, предотвращение стока воды и смыва почвы и, как следствие, повышение урожайности культур на 10–12 % [3, 4].

Минимизация обработки в эрозионных условиях с помощью чизельной и плоско-резной обработок, осуществляемых поперек склона, снижает до минимума сток талой воды и практически полностью предотвращает смыв почвы. Наиболее полно агрономический смысл адаптивно-ландшафтного земледелия проявляется при контурно-мелиоративной организации территории, которая предполагает на эрозионно опасных склонах полосное, приближенное к горизонталям размещение культур, а также приближенные к горизонталям направления обработки почвы, посева, уходных и других технологических операций по возделыванию сельскохозяйственных культур в севооборотах. Ландшафтное земледелие предполагает комплекс агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических приемов (сооружений), способствующих сокращению стока талой и ливневой воды, а также смыва почвы до безопасных пределов. В целом возможность регулировать сток воды и смыв почвы зависит от ряда факторов, среди которых площадь водосбора, крутизна и длина склона, объем талой и ливневой воды, а также эффективность противоэрозионных мероприятий, агротехнических и лесомелиоративных [5, 6].

Экономическая защита земель сельскохозяйственного назначения должна быть системной, носить комплексный характер. Реализация отдельных элементов системы должна в совокупности работать на общую цель – эколого-экономическую защиту продуктивных земель. При этом механизм должен охватывать все земли сельскохозяйственного назначения в стране – от уровня федерации до отдельного земельного участка. Переход к устойчивому землепользованию может быть осуществлен в рамках создания системы эколого-экономического регулирования землепользования. Система эколого-экономического регулирования землепользования заключается в создании и применении на практике единых методических принципов проведения земельной и природоохранной политики, которая позволяет экономическими и правовыми инструментами осуществлять регулирование землепользования, направленное на решение экологических проблем при одновременном повышении эффективности использования имеющихся земельных ресурсов [7].

Целью работы являлось изучение способов регулирования водного режима почв на склоне для предотвращения водной эрозии и обеспечение получения растениеводческой продукции, экономически выгодной и экологически безопасной.

Материалы и методы. Исследования проведены в многофакторном стационарном опыте на склоне балки Большой Лог в Аксайском районе Ростовской области в 2014–2017 гг. Опыт был заложен в системе контурно-ландшафтной организации территории склона крутизной до 3,5–4,0° с комплексом гидротехнических приемов и простейших сооружений: валов-каналов и валов-террас, позволяющих снизить до безопасных пределов сток талой и ливневой воды и смыв почвы. Среднегодовой сток составлял 20 мм (максимальный 34,4 мм). Среднегодовой смыв почвы 18,5 т/га (максимальный – 42 т/га). Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Мощность A_{\max} – 25–30 см, $A + B$ – от 40 до 90 см в зависимости от смытости. Пористость пахотного горизонта – 61,5 %, подпахотного – 54 %, НВ – 33–35 % [8].

Изучали два варианта различных способов основной обработки почвы: чизельной (Ч) и отвальной (О).

Математическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову (2011) с использованием персонального компьютера [9].

Результаты и обсуждение. Задачей почвозащитного земледелия является не только сохранение и рациональное использование влаги атмосферных осадков, но и предотвращение этих потерь со стоком и смывом. Основные запасы влаги накапливаются в пахотном и подпахотном слое почвы в период выпадения осенне-зимних осадков. Рельеф поля, создаваемый за счет обработки почвы, способен задерживать и накапливать осадки холодного периода года.

Как показали исследования, высота снежного покрова зависит от предшественника и основной обработки почвы. Наибольшее количество снега накапливалось на зяблевом поле, в варианте с чизельной обработкой почвы. В этом варианте высота снежного покрова в среднем за 2014–2017 гг. была равна 20,2 см, что на 16,3 % больше, чем при отвальной. Стерня и растительные остатки, оставшиеся в поле после основной обработки почвы чизельным орудием, способны задерживать большее количество снега, чем гладкие гребни, оставшиеся после прохода по полю плуга с оборотом пласта. На посевах озимой пшеницы высота снежного покрова была приблизительно одинаковой и зависела в большей степени от развития и кустистости растений, чем от варианта обработки почвы. Аналогичная закономерность наблюдалась и с запасом воды в снеге. В варианте с чизельной или почвозащитной обработкой почвы воды в снеге было больше (12,8 %), чем при отвальной (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость водно-физических свойств почвы от основной обработки и предшественника, среднее за 2014–2017 гг.

Агрофон	Способ обработки почвы	Высота снежного покрова, см	Запас воды в снеге, т/га	Смыв, т/га
Чистый пар	Ч	20,2	504,2	3,4
	О	16,9	421,7	4,5
Озимая пшеница	Ч	17,6	439,2	2,8
	О	17,5	436,7	3,9

Как говорилось выше, одна из задач почвозащитного земледелия – сократить до безопасных пределов или полностью предотвратить сток и смыв почв. В наших исследованиях наименьший смыв почвы отмечен при чизельной обработке почвы, который был на 32,3–39,2 % меньше, чем при отвальной. Поле чистого пара наиболее подвержено эрозионным процессам, и смыв на нем больше на 13,3–17,6 %, чем на поле, занятом озимой пшеницей. При несоблюдении противоэрозионных мероприятий площадь эродированных почв будет увеличиваться. Снижение рентабельности производства сельскохозяйственной продукции на слабоэродированных землях имеет место, поэтому проще остановить эрозию на ранней стадии, чем восстанавливать сильно эродированные земли.

В процессе исследований установлено, что наибольший эффект в предотвращении стока воды и смыва почвы обеспечивается при чередовании полос эрозионно устойчивых культур и эрозионно опасных культур. Уплотненная пашня под эрозионно устойчивыми культурами в меньшей степени подвержена смыву и размыву, тогда как чистый пар (рыхлая пашня) способен больше поглотить влаги, но и больше подвержен процессам эрозии. Защита почв от смыва осуществляется за счет разновременности таяния снега в полосах, различных водно-физических свойств почвы, использования противоэрозионной функции растительного покрова, высеваемых в полосах культур, а также создания на границах полос валов с широким основанием в процессе основной обработки почвы.

Водопроницаемость почвы играет большую роль в накоплении почвенных влагозапасов, снижении интенсивности эрозионных процессов и, как следствие, в повышении урожая. Анализ полученных данных показал, что в период возобновления весенней вегетации как первоначальная водопроницаемость, так и устоявшаяся была ниже на 16,8–32,4 %, чем в фазу полной спелости. Количество влаги, накопившейся за осенне-зимний период в слое почвы 0–20 см, составляет 26–29 % (НВ – 33–35 %), поэтому и впитывать влагу почва способна в меньшей степени. Столь значительное количество влаги обуславливает низкую водопроницаемость в фазу возобновления весенней вегетации. К уборке сельскохозяйственных культур количество влаги в почве сокращается до нулевых значений и водопроницаемость почвы увеличивается. Аналогичная закономерность наблюдается и в чистом пару, с той лишь разницей, что за период парования в почве накапливается влага и водопроницаемость к уборке становится несколько ниже, чем в посевах озимой пшеницы (таблица 2).

Таблица 2 – Водопроницаемость почвы в зависимости от обработки почвы и срока определения, среднее за 2014–2017 гг.

Агрофон	Способ обработки почвы	Срок отбора			
		возобновление весенней вегетации		полная спелость	
		первоначальная	установившаяся	первоначальная	установившаяся
Чистый пар	Ч	1,63	0,88	1,96	1,20
	О	1,55	0,79	1,92	1,16
Озимая по пару	Ч	1,53	0,82	2,19	1,30
	О	1,42	0,76	2,10	1,21

В мм/мин

Обработки почвы так же сказывались на водопроницаемости, как и предшественник. В варианте с чизельной обработкой почвы водопроницаемость была выше на 6,1–8,4 %, чем в варианте с отвальной обработкой.

Эффективность использования запасов влаги в почве оценивается по выходу зерна на 1 мм продуктивной влаги. Рассмотрение полученных данных показало, что немаловажную роль играет предшественник. Наибольший расход влаги отмечен в чистом пару по чизельной обработке почвы. Соответственно, и урожайность озимой пшеницы по пару больше на 1,57–1,67 т, чем по непаровым предшественникам. Более высокий выход зерна озимой пшеницы на 1 мм продуктивной влаги был получен по чистому пару и чизельной обработке почвы (9,44–9,74 кг). После озимой пшеницы в качестве предшественника выход зерна на 21,7–23,7 % ниже, чем по чистому пару (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность и водопотребление озимой пшеницы в зависимости от предшественника и обработки почвы, среднее за 2014–2017 гг.

Предшественник	Способ обработки почвы	Общий расход влаги, мм	Выход продукции, т/га	Выход зерна озимой пшеницы на 1 мм продуктивной влаги
Чистый пар	Ч	610,6	5,95	9,74
	О	619,9	5,85	9,44
Озимая пшеница	Ч	584,1	4,34	7,43
	О	579,2	4,28	7,39

НСР₀₅ – 0,36 т/га для предшественника; НСР₀₅ – 0,44 т/га для обработки почвы.

Таким образом, проведенный анализ показал, что в условиях ландшафтного земледелия способ и глубина основной обработки почвы определяются применительно к каждому полю, поскольку накопление и целесообразное расходование влаги является

ключевым вопросом. Наибольший эффект в предотвращении стока воды и смыва почвы обеспечивается при чередовании полос эрозионно устойчивых культур и эрозионно опасных культур. Применение чизельной обработки почвы сокращало смыв на 32,3–39,2 %, увеличивало водопроницаемость на 6,1–8,4 % и запас воды в снеге на 12,8 %. Защищенное поле чистого пара способно накопить достаточное количество продуктивной влаги для получения высоких урожаев озимой пшеницы (5,85–5,95 т/га).

Список использованных источников

1 Петелько, А. И. Показатели стока талых вод за 1959–2008 годы / А. И. Петелько, А. Т. Барабанов // Природообустройство. – 2016. – № 1. – С. 78–83.

2 Развитие эрозионных процессов на черноземе выщелоченном в Южном Приуралье / М. А. Комиссаров, М. Р. Давлетшина, П. Либельт, Р. Р. Сулейманов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 5-2. – С. 82–85.

3 Гаевая, Э. А. Влияние разных способов обработки почвы на ее физические свойства / Э. А. Гаевая // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2008. – № 39. – С. 154–162. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2008/05/pdf/06.pdf>.

4 Полуэктов, Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней / Е. В. Полуэктов; Сев.-Кавк. центр высш. шк.; Дон. зон. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1984. – 161 с.

5 Мушаева, Т. И. Формирование поверхностного стока воды в период весеннего снеготаяния и его влияние на химический состав паводковых вод / Т. И. Мушаева, В. В. Демидов // Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нечерноземье: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию образования Владимирского НИИСХ Россельхозакадемии. – 2013. – С. 340–344.

6 Шевченко, Д. А. Формирование поверхностного стока талых вод с рыхлой пашни на черноземах обыкновенных в условиях Ставропольского края / Д. А. Шевченко, Г. Т. Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 2(26). – С. 19–36. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec478-field6.pdf.

7 Новиков, А. А. Эколого-экономические аспекты устойчивого землепользования / А. А. Новиков, А. А. Андралович // Экономика и экология территориальных образований. – 2016. – № 2. – С. 120–124.

8 Гаевая, Э. А. Водопроницаемость почв эрозионно опасных земель приазовской зоны Ростовской области / Э. А. Гаевая, С. А. Тарадин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4(48). – С. 19–22.

9 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования): учебник / Б. А. Доспехов. – 6-е изд., стер. – М.: Альянс, 2011. – 352 с.

УДК 631.58:632

В. А. Монастырский, А. Н. Бабичев, В. И. Ольгаренко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАСОРЕННОСТИ И БОЛЕЗНЕЙ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ПРЕЦИЗИОННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В статье рассмотрены современные методы определения засоренности и зараженности посевов сельскохозяйственных культур. К таким методам относятся методы дистанционного мониторинга посевов в реальном времени с применением

оптоэлектронных датчиков, комплекса сенсоров для распознавания того или иного вредителя, сорняка либо болезни растения. Благодаря системам, функционирующим в реальном времени, получение данных, их анализ и обработка вместе с координацией управления обработкой поля проводятся в одном рабочем периоде, взаимосвязаны и дополняют друг друга. Пошагово расписана методика внесения пестицидов с учетом неоднородности возделываемого поля. Освещены достоинства и недостатки как классических способов определения интоксикации и пораженности посевов, так и современных методов мониторинга.

Ключевые слова: оптоэлектронная аппаратура, гиперспектральные камеры, дифференцированное внесение пестицидов, засоренность посевов, болезни сельскохозяйственных культур.

V. A. Monastyrskiy, A. N. Babichev, V. I. Olgarenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

REMOTE MONITORING OF INFESTATION AND DISEASES OF AGRICULTURAL CROPS SEEDINGS UNDER THE CONDITIONS OF PRECISION FARMING

Modern methods for determining weed infestation and contamination of crops are considered. Such methods include methods of remote monitoring of crops in real time using optoelectronic sensors, a complex of sensors for recognizing one or another pest, weed, or plant disease. Thanks to real-time systems, data acquisition, their analysis and processing together with the coordination of field tillage control are carried out in one working period, interrelated and complement each other. The strategies of applying pesticides taking into account the heterogeneity of the cultivated field are described step by step. The advantages and disadvantages of both classical methods of determining intoxication and crop damage and modern methods of monitoring are highlighted.

Key words: optoelectronic equipment, hyperspectral chambers, differential application of pesticides, crops infestation, agricultural crops diseases.

Совершенствование комплексной методики мониторинга засоренности посевов и их поражения вредителями для дифференцированного внесения пестицидов и других средств защиты растений при учете мелкомасштабной неоднородности их проявления по полям весьма актуально. Известны проводимые работы по реализации систем дистанционного зондирования Земли и комплексы датчиков для этой цели [1]. В то время как уже получен эмпирический опыт дистанционной идентификации сорной растительности, ситуация с установлением интоксикации культурных растений фитопатогенами и в особенности вредителями много сложнее. Однако по результатам исследований можно выделить ряд перспективных направлений решения данной проблемы.

В настоящее время приобретают преимущественное значение системы, функционирующие в реальном времени, благодаря которым получение данных, их анализ и обработка вместе с координацией управления обработкой поля проводятся в одном рабочем периоде, взаимосвязаны и дополняют друг друга. Для получения широкого ряда эмпирических данных необходима система датчиков, которая будет точно устанавливать количество и тип поражения. Программное обеспечение будет быстро передавать управляющие сигналы и координировать процесс внесения пестицидов [2, 3].

Отдельное значение имеет конструкция датчиков и их функциональная работа в системе с агротехникой. При этом необходимо учитывать, что системе датчиков и агротехники необходимо обрабатывать достаточную площадь для достоверной оценки порога вредоносности. Для определения порогов засоренности и степени заражения

возделываемых полей наиболее эффективными в условиях конкретного сельскохозяйственного производства являются два системных комплекса [4–6]:

- использование оптоэлектронных или оптических датчиков;
- использование цифровой расшифровки снимков.

Эффективность системного комплекса зависит от определения общей засоренности и необходимости учета отдельных видов сорной растительности и вредителей. Оптоэлектронные или оптические датчики определяют объем сорной растительности или вредителей, не производя их качественный анализ, в свою очередь системы с использованием цифровой расшифровки снимков могут определить видовой состав.

Основным методом определения целесообразности внесения пестицидов на сельскохозяйственные угодья является метод определения экономического порога вредоносности.

Расчет экономических порогов вредоносности сводится к определению уровня заселенности, зараженности и засоренности культуры вредителями, болезнями и сорняками, при котором потери урожая равны затратам на применение пестицидов [6, 7].

Использование экономических порогов вредоносности дает значительную экономии пестицидов и позволяет получить дополнительную прибыль. Одновременно уменьшается губительное влияние обработок на полезную фауну.

Под экономическим порогом вредоносности понимают такие плотности популяции вредителя и степени зараженности растений или засоренности посевов, при которых стоимость защитных мероприятий окупается сохраненным урожаем не менее чем однократно.

Следующее, что приходится решать при определении экономических порогов вредоносности, – определение численности вредных организмов, при которой они могут снизить урожай. Этот показатель устанавливается на основе опытных данных о зависимости урожая от численности вредных организмов, наличия сорняков в посевах.

В настоящее время широко распространены оптоэлектронные или оптические датчики, которые функционируют согласно принципу приемника и отражателя. Используется тот факт, что световые лучи отражаются растениями иначе, нежели почвой. Например, красный свет (от 620 до 780 нм) сильно поглощается зелеными пигментами растений (хлорофиллом), а близкий к инфракрасному (до 1000 нм) – в значительной степени отражается ими. По величине отношения отражений в инфракрасной и красной областях спектра можно однозначно различать зеленые растения и почву [4, 8].

Подобные системы обнаруживают сорную растительность в технологических междурядьях, пропуская их среди культурных растений, поэтому проблема конкретной идентификации сорной растительности и вредителей также актуальна. При работе таких систем автоматика сравнивает показатели с камер или датчиков, и в случае превышения заранее установленного порога отражений срабатывают электромагнитные клапаны и подача пестицидов прекращается, тем самым обеспечивается равномерность их внесения. Источником ошибок в работе всех оптоэлектронных или оптических систем является различная интенсивность окружающего света, для чего используются либо датчики корректировки, либо закрытые от окружающего света датчики с собственной вспышкой.

В этом ключе весьма перспективным является использование мультиспектральных камер, которые потенциально не имеют вышеперечисленных недостатков, но еще не опробованы для условий сельскохозяйственного производства [9].

Признаки внешней формы растений считываются и распознаются путем сопоставления с заданными макетами при помощи цифровой расшифровки снимков. Для этого сначала формируются черно-белые снимки с белыми изображениями растений и черными – почвы, камней, соломы и отмерших растительных остатков.

Минус заключается в искажении получаемых данных при переменах затенения и освещения. Микрорельеф и другие почвенные условия, вертикальные и горизонталь-

ные колебания корпуса также вызывают ошибки. Эти эксплуатационные погрешности могут быть ликвидированы соответствующими конструкторскими решениями или введением стандартизации условий измерения. Эти условия имеют большое значение, так как внесение пестицидов производят, согласно стандартной технологии, вечером или рано утром, когда риск сноса химических веществ ветром ниже, что также означает дефицит солнечного света, при котором возможны серьезные ошибки в работе оптических датчиков. Использование искусственного освещения допустимо, но оно обуславливает повышение расхода электроэнергии и серьезное усложнение конструкции, что в конечном итоге приведет к уменьшению экономической эффективности рассматриваемых систем. Перечисленные задачи и проблемы этих систем являются главным основанием для их медленного внедрения в массовое сельскохозяйственное производство.

При использовании дистанционных систем мониторинга засоренности посевов анализ распределения сорной растительности и вредителей по площади возделываемого поля выполняется быстрее и точнее, чем при лабораторных исследованиях и ручном картировании, а вместе с возможностью настройки автоматизированной дифференциации дозы внесения пестицидов для каждого микросегмента возделываемого поля использование таких систем становится весьма актуальным для сельскохозяйственной науки и практики [10].

Для дифференциации доз внесения пестицидов при точном учете неоднородности распределения сорной растительности и вредителей на всех микроучастках возделываемого поля кроме приборной техники (системы датчиков) требуется располагать агротехникой, способной прецизионно регулировать расход химических веществ в зависимости от определенных неоднородностей.

Методику дифференцированного внесения пестицидов с учетом неоднородности интоксикации и пораженности возделываемого поля можно подразделить на следующие шаги [1, 2, 11]:

- получение данных, требующихся для принятия решений о внесении пестицидов, с учетом мелкомасштабной неоднородности и микрорельефа пораженного поля;
- анализ полученных данных и их комплексная оценка в концепции позитивного экологического и экономического подхода;
- координация обработки пораженного поля с учетом его неоднородностей.

Современная агротехника в части внесения гербицидов обладает целым рядом технических возможностей для конкретной реализации мероприятий по защите культурных растений. Так, функционал современной агротехники составляет: быстрое выключение и включение всего опрыскивателя, варьирование ширины захвата или выключение (включение) отдельных распылителей путем использования шариковых, электромагнитных или других клапанов. Объем расходуемых препаратов корректируется с помощью программного обеспечения путем изменения давления и скорости движения. Отметим, что внесение пестицидов также возможно с применением дождевальных машин, оборудованных соответствующим поясом распылителей с заявленными техническими требованиями.

У гидравлических распылителей корректировка расхода раствора при работе производится узко, так как при неизменной скорости движения опрыскивателей их регулирование возможно только путем перемен давления. Однако при этом меняются размеры капли, которые, в свою очередь, влияют на распределение препарата по поверхности возделываемого поля. Операции включения и выключения распылителей реализуются с центрального управляющего устройства через клапаны, количество которых совпадает с количеством распылителей в каждой секции аппарата [12, 13].

При наличии нескольких видов сорной растительности или вредителей на одном поле требуется внесение разных действующих веществ с различной нормой расхода одновременно. Известны несколько решений, при которых действующие вещества

находятся в отдельной таре, что в свою очередь снимает проблему остаточной рабочей смеси, так как предварительно не установлено, какой объем препаратов необходим.

Надежные и своевременные оценки возникновения и распространения заболеваний растений являются, в частности, основой для планирования целенаправленной деятельности по защите растений в области прогнозирования временного и пространственного распространения заболеваний в конкретных регионах. Общие методы диагностики и выявления заболеваний растений включают оценку визуальных заболеваний растений с помощью человеческого фактора, микроскопическую оценку особенностей морфологии для выявления патогенов, а также молекулярные, серологические и микробиологические диагностические методы.

Традиционные визуальные оценки идентифицируют заболевание на основе симптомов заболевания растений (например, повреждения, ожоги, галлы, опухоли, язвы, увядания, гниения или затухание) или видимых признаков патогена. Визуальная оценка проводится подготовленными специалистами и является предметом интенсивных исследований. Тем не менее визуальная оценка всегда зависит от опыта человека и может быть затронута временными вариациями, что вызывает потенциальную необходимость введения автоматизированной системы оценок [14, 15].

Недавние исследования выявили новые сенсорные методы обнаружения, идентификации и количественной оценки болезней растений. Эти датчики оценивают оптические свойства растений в разных областях электромагнитного спектра и способны использовать информацию за пределами видимого диапазона. Они позволяют обнаруживать ранние изменения в физиологии растений из-за биотических стрессов, потому что болезнь может вызывать изменения в цвете ткани, форме листа, скорости транспирации, морфологии растений и их плотности, а также изменения взаимодействия солнечной радиации с растениями. В настоящее время наиболее перспективными являются датчики, которые измеряют коэффициент отражения, температуру или флуоресценцию хлорофилла.

Цифровые фотографические изображения являются важными инструментами в идентификации патогенов для оценки состояния здоровья растений. Цифровые камеры просты в обращении и представляют собой простой источник цифровых изображений RGB для обнаружения, идентификации и количественной оценки болезней. Технические характеристики этих простых «карманных» устройств, такие как светочувствительность фотодатчика, пространственное разрешение или оптический и цифровой фокус, значительно развиты.

Бортовые или космические системы дальнего радиуса действия имеют более низкое пространственное разрешение [8, 16], чем контактные системы датчиков. Пространственное разрешение оказывает сильное влияние на обнаружение болезней растений или взаимодействий растений и патогенов. Воздушные системы датчиков (системы, работающие с использованием дронов или мини-авиации) подходят для обнаружения зараженных полевых пятен. Датчики с пространственным разрешением около 1 м вряд ли подходят для обнаружения отдельных симптомов или пораженных листьев и растений. Несмотря на многочисленные исследования, использование инновационных гиперспектральных систем визуализации в патологии растений и в оценке тяжести заболевания все еще находится на стадии исследования.

Оптические свойства листьев характеризуются: пропусканием света через лист; светом, который поглощается листовыми химикатами (например, пигментами, водой, сахарами, лигнином и аминокислотами); светом, отраженным от внутренней листовой структуры или от поверхности листа. Таким образом, отражение света от растений является сложным явлением, зависящим от множественных биофизических и биохимических взаимодействий. Видимый диапазон (400–700 нм) в основном зависит от содержания листового пигмента, ближняя инфракрасная отражательная способность (700–1100 нм) за-

висит от структуры листа, внутренних процессов рассеивания и от поглощения листом воды, коротковолновое инфракрасное излучение (от 1100 до 2500 нм) зависит от состава листовых химических веществ и воды. Изменения в коэффициентах отражения, вызванные патогенами и болезнями растений, могут быть объяснены нарушениями структуры листьев и химического состава ткани во время патогенеза, которые являются высокоспецифичными, например, чередование хлоротической и некротической ткани или появление типичных грибковых структур [1, 2, 17].

Сочетание визуализации флуоресценции хлорофилла с методами анализа изображений также полезно и может быть использовано для выявления и количественного определения грибковых инфекций. Одним из недостатков современных систем, основанных на анализе флуоресценции хлорофилла, является то, что подготовка растений должна следовать строгому протоколу, и поэтому эти системы трудно реализовать в обычных сельскохозяйственных теплицах или в полевых условиях. В связи с этим актуальные исследования с использованием данного метода направлены на извлечение параметров флуоресценции из солнечного отражения в поле, что могло бы иметь потенциал для оценки заболеваемости растений на тепличном уровне возделывания сельскохозяйственных культур [9, 12, 13].

В итоге можно сделать вывод, что разнообразие рассмотренных сенсорных систем и методик, доступных для использования в сельском хозяйстве, может обеспечить получение данных высокой точности и служить основой для раннего выявления болезней растений. Особую ступень занимает технология дистанционного мониторинга засоренности посевов и выявления с помощью комплекса датчиков болезней и вредителей. Полный потенциал обнаружения заболеваний с использованием датчиков все еще не реализован, поэтому основной задачей в данном направлении является разработка новых недорогих сенсорных решений и представление их на широком рынке. Хотя уже сейчас доступны инструменты и технологические решения этой проблемы, это высокоспециализированные и специально разработанные прототипы, которые не могут использоваться в широких масштабах без конкретного научного внедрения.

Список использованных источников

- 1 Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS [Electronic resource] / J. W. Rouse [et al.]. – Mode of access: <https://citeweb.info/19730000101>, 2018.
- 2 An IoT Monitoring System for Precision Viticulture [Electronic resource] / J. P. Perez-Exposito [et al.]. – Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8276822/>, 2018.
- 3 Evaluation of methods for soil surface moisture estimation from reflectance data / W. Liu [et al.] // *Int. J. Remote Sens.* – 2003. – Vol. 24. – P. 2069–2083.
- 4 Fung, A. K. *Microwave Scattering and Emission Models and Their Applications* / A. K. Fung. – Norwood, MA, USA: Artech House Inc., 1994. – 430 p.
- 5 Bowers, S. A. Spectrophotometric determination of soil water content / S. A. Bowers, S. J. Smith // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* – 1972. – Vol. 36. – P. 978–980.
- 6 Щедрин, В. Н. Опыт использования сидеральных культур для улучшения агрохимических свойств чернозема обыкновенного / В. Н. Щедрин, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование.* – 2016. – № 1(41). – С. 14–21.
- 7 Бабичев, А. Н. Роль точного земледелия в программном выращивании урожая сельскохозяйственных культур / А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия.* – 2017. – № 2(66). – С. 50–53.
- 8 Перспективы использования наземной гиперспектральной аппаратуры для прецизионного орошения сельскохозяйственных культур / А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко, В. В. Подлипов // *Геоинформационные технологии в сельском хозяйстве, природообустройстве и защите окружающей среды: материалы*

Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых / под ред. В. В. Афонина. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2017. – С. 14–18.

9 Прецизионные эксперименты в информационном обеспечении систем земледелия / В. В. Якушев [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2011. – № 3. – С. 11–13.

10 Агрохимическое обследование в точном земледелии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrophys.com>, 2015.

11 Щедрин, В. Н. Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга Европейской территории России: монография / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

12 Дифференцированные оросительные нормы сельскохозяйственных культур для почвенно-климатических условий Республики Крым / А. Н. Бабичев, В. И. Ляшевский, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 4(68). – С. 133–137.

13 Ольгаренко, В. Иг. Научная концепция и алгоритм реализации элементов прецизионного земледелия в условиях оросительной сельскохозяйственной мелиорации / В. Иг. Ольгаренко, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 160–169. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec536-field6.pdf.

14 Бабичев, А. Н. Оперативное управление режимом орошения при программировании урожайности сельскохозяйственных культур / А. Н. Бабичев, Г. Т. Балакай, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 83–96. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec498-field6.pdf.

15 Симакова, М. С. От визуального дешифрирования аэрофотоснимков и полевого картографирования почв до автоматизированного дешифрирования и картографирования по космическим снимкам / М. С. Симакова // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2014. – № 74. – С. 3–19.

16 Савин, И. Ю. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России / И. Ю. Савин, Е. А. Лупян, С. А. Барталев // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 69–76.

17 Личман, Г. И. Основные принципы и перспективы применения точного земледелия / Г. И. Личман, Н. М. Марченко, В. М. Дринча. – М.: Россельхозакадемия, 2004. – 80 с.

УДК 631.432.1

Д. В. Грушко, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ФОРМИРОВАНИЕ ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ ОРОШАЕМОГО УЧАСТКА

Целью работы являлся анализ влияния сельскохозяйственных культур на баланс грунтовых вод в контуре орошаемого участка на примере Ростовской области. Полученные результаты пассивного эксперимента позволили определить, что соотношения между расходами грунтовых вод под различными сельскохозяйственными культурами определяются не только транспирационными свойствами растений, но и влиянием растительного покрова на физическое испарение. Установлено, что принцип обратной связи между расходом и инфильтрацией наблюдается только для люцерны, тогда как в случае с другими культурами эта связь выражена недостаточно четко.

Водно-экологический баланс в контуре орошаемого участка находится в прямой зависимости от вида сельскохозяйственных культур, что обусловлено физиологическими особенностями отдельного вида, а именно густоты стеблестоя, кустистости и типа корневой системы.

Ключевые слова: дисперсионный анализ, грунтовые воды, расход, орошаемый участок, сельскохозяйственные культуры.

D. V. Grushko, Yu. E. Domashenko, S. M. Vasilyev

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ANALYSIS OF INFLUENCE OF AGRICULTURAL CROPS ON FORMATION OF WATER ENVIRONMENTAL SITUATION WITHIN THE IRRIGATED PLOT

The aim of the work was to analyze the impact of crops on the balance of groundwater in the irrigated area contour on the example of Rostov region. The results of the passive experiment made it possible to determine that the ratios between groundwater discharges under various crops are determined not only by the transpiration properties of plants, but also by the impact of vegetation cover on physical evaporation. It has been found that the principle of feedback between flow rate and infiltration is observed only for alfalfa, whereas in the case of other crops this relationship is not clearly expressed. The water-ecological balance in the contour of the irrigated area is directly dependent on the type of agricultural crops, which is defined by physiological characteristics of a separate crop, namely, the density of plant stand, tilling capacity and the type of root system.

Key words: analysis of variance, groundwater, consumption, irrigated area, agricultural crops.

Введение. Разработка прогнозных зависимостей изменения водно-экологической ситуации в пределах контура орошаемого участка основывается на анализе динамики влаги почвогрунтов в зоне аэрации, режима грунтовых вод, экологических показателей химического состава грунтовых и дренажных вод, выращиваемых сельскохозяйственных культур, а также на обзоре возможных климатических трендов, влияющих на водно-гидрологический баланс орошаемого участка [1].

В гидрогеологии орошаемых ландшафтов нашли применение геоботанические индикаторы, в качестве которых рассматривают как отдельные виды сельскохозяйственных культур, так и комплекс агрофитоценозов. Особенности их развития позволяют дать характеристику типам и условиям увлажнения, механическому составу и водно-физическим свойствам почвогрунтов, режиму грунтовых вод. Контур орошаемого участка с определенным севооборотом можно представить как замкнутую систему, внутри которой наблюдаются локальные взаимосвязи осадков, испарения, впитывания и стока [2].

Целью работы являлся анализ влияния сельскохозяйственных культур на баланс грунтовых вод в контуре орошаемого участка на примере Ростовской области.

Материалы и методы. Выбор метода и способа регулирования водного режима орошаемых участков необходимо осуществлять согласно анализу источника питания водоносного горизонта, способствующего подъему уровня грунтовых вод (УГВ), определению абсолютной величины водного режима, а именно: инфильтрационного питания, бокового притока, подпора горизонта, а также вида выращиваемых сельскохозяйственных культур [3]. Для оценки влияния растительности на режим грунтовых вод выбран метод дисперсионного анализа, который позволяет установить степень взаимосвязи между факторными и результативными признаками в различных группах, отобранных случайным образом, который базируется на установлении различий значений признаков [4].

Результаты и обсуждения. По данным многолетних исследований ФГБНУ «РосНИИПМ» на лизиметрических установках выявлена значительная межгодовая изменчивость инфильтрации и расхода грунтовых вод в зоне аэрации [5–8]. Для оценки степени влияния растительного покрова на баланс грунтовых вод в условиях нестабильности проводимых исследований предложена зависимость:

$$y_{ij} = a_i + l_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad (1)$$

где y_{ij} – сезонная сумма инфильтрации (или расхода грунтовых вод) за конкретный год;

a_i – математическое ожидание для этой суммы;

l_{ij} – величина, на которую наблюдаемое конкретное значение отличается от a_i .

При этом a_i и l_{ij} независимы, имеют нулевые средние при дисперсиях соответственно σ_a^2 и σ_l^2 . Следовательно, дисперсия единичного наблюдения равна:

$$\sigma_y^2 = \sigma_a^2 + \sigma_l^2.$$

Таким образом, проверка однородности распределения по видам сельскохозяйственных культур сводится к оценке значимости σ_a^2 по выборочным данным (I) через среднеквадратическую ошибку (SS_a):

$$\hat{\sigma}_a^2 = \frac{N}{N^2 - \sum_i J_i^2} [SS_a - (I-1)\hat{\sigma}_l^2], \quad (2)$$

где $N = \sum_i J_i$, $SS_a = \sum_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$, $\bar{y}_i = \frac{\sum_j y_{ij}}{J_i}$, $\bar{y} = \sum_i \sum_j y_{ij}^2$, $\sigma_l^2 = \frac{SS_l}{N-1}$,
 $SS_l = \sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$.

При этом использовался критерий Фишера для отношения $F = \frac{SS_a}{\sigma_a^2(I-1)}$.

Для выявления неоднородности выделения вида сельскохозяйственных культур, определяющего эту неоднородность, применялся S -метод множественного сравнения [4]. Этот метод также основан на модели (1), для которой даны оценки параметров $\hat{a}_i = \bar{y}_i$. Выбор его обусловлен тем, что он нечувствителен к нарушению предпосылок нормальности распределения и равенства дисперсий сравниваемых совокупностей. В соответствии с S -методом рассматривается сумма:

$$\Psi = \sum_i c_i a_i,$$

где c_i – постоянные коэффициенты, удовлетворяющие условию $\sum_i c_i = 0$.

Доверительный интервал для Ψ выражается следующим образом:

$$\hat{\Psi} - S_\alpha \sigma_\Psi \leq \Psi \leq \hat{\Psi} + S_\alpha \sigma_\Psi, \quad (3)$$

где $\hat{\Psi} = \sum_i c_i \bar{y}_i$, $S_\alpha = \sqrt{F_{\alpha, 1, N-1}}$, $\sigma_\Psi = \hat{\sigma}_l \sqrt{\frac{\sum_i c_i^2}{J_i}}$ (F – критическое значение критерия Фишера при уровне значимости α и степени свободы $v_1 = 1$ и $v_2 = N-1$).

Гипотеза об отсутствии различий между y_j и $y_{i \neq j}$ отвергается, если доверительный интервал (3) не содержит значения $\Psi = 0$.

Результаты пассивного эксперимента, проведенного по указанной методике анализа расхода (U) и инфильтрации (J), за теплый период года (апрель – октябрь) приведены в таблицах 1 и 2. Здесь индексами 1, 2, 3, 4 и 5 обозначены: озимая пшеница, кукуруза, свекла, томаты и люцерна.

Таблица 1 – Результаты вычислений по формуле (2) для различных глубин залегания грунтовых вод H

Элемент баланса	J_i	\bar{y}_i , мм	σ_{li} , мм	Оценка	Элемент баланса	J_i	\bar{y}_i , мм	σ_{li} , мм	Оценка
$H = 1$ м									
U_1	17	391	111	$\hat{\sigma}_l = 106$	J_1	20	79	50	$\hat{\sigma}_l = 59$
U_2	21	423	103	$\hat{\sigma}_a \approx 0$	J_2	20	105	71	$\hat{\sigma}_a \approx 0$
U_3	10	436	121	$F = 0,88$	J_3	6	99	54	$F = 0,67$
U_4	4	343	69	$F_{кр}(\alpha = 0,2) = 1,6$	J_4	4	77	22	$F_{кр}(\alpha = 0,2) = 1,6$
$H = 2$ м									
U_1	19	113	52	$\hat{\sigma}_l = 68$	J_1	18	45	46	$\hat{\sigma}_l = 45$
U_2	20	135	48	$\hat{\sigma}_a = 31$	J_2	21	64	51	$\hat{\sigma}_a \approx 0$
U_3	10	190	116	$F = 3,6$	J_3	9	53	32	$F = 0,5$
U_4	4	88	55	$F_{кр}(\alpha = 0,05) = 2,8$	J_4	3	36	11	$F_{кр}(\alpha = 0,2) = 1,6$
$H = 3$ м									
U_1	16	60	36	$\hat{\sigma}_l = 42$	J_1	15	31	32	$\hat{\sigma}_l = 32$
U_2	18	62	27	$\hat{\sigma}_a = 34$	J_2	19	54	36	$\hat{\sigma}_a \approx 0$
U_3	10	130	67	$F = 8,5$	J_3	10	41	27	$F = 0,81$
U_4	4	31	37	$F_{кр}(\alpha = 0,05) = 2,8$	J_4	2	42	–	$F_{кр}(\alpha = 0,2) = 1,6$

Таблица 2 – Доверительные интервалы для Ψ , мм

H , м	\bar{y}_1	\bar{y}_2	\bar{y}_3	\bar{y}_4	\bar{y}_5	$\hat{\sigma}_l$	$N-1$	$\hat{\Psi}$	σ_Ψ	α	S_α	Доверительный интервал
Расход ($\bar{y}_i = \bar{U}_i$)												
1	391	423	436	436	882	248	67	-575	53	0,005	2,92	$-730 \leq \psi_1 \leq -420$
2	213	235	290	98	582	214	68	-450	41	0,005	2,92	$-570 \leq \psi_1 \leq -330$
3	70	72	230	41	461	209	52	-390	41	0,005	2,9	$-509 \leq \psi_1 \leq -271$
2	213	235	290	-	-	78	57	-76	24	0,05	2,01	$-214 \leq \psi_2 \leq -28$
3	70	72	230	-	-	52	51	-79	15	0,05	2,02	$-200 \leq \psi_2 \leq -48$
2	213	235	-	98	-	61	50	48	27	0,2	1,3	$4 \leq \psi_3 \leq 83$
3	70	72	-	41	-	42	45	40	17	0,2	1,3	$9 \leq \psi_3 \leq 62$
Инфильтрация ($\bar{y}_i = \bar{J}_i$)												
1	79	105	99	77	48	54	57	42	18	0,05	2	$7 \leq \psi_4 \leq 88$
2	45	64	53	36	32	42	59	18	14	0,2	1,3	$0 \leq \psi_4 \leq 346$
3	31	54	41	42	19	30	51	23	11	0,05	2	$1 \leq \psi_4 \leq 55$
$(\psi_1 = \frac{\bar{U}_1 + \bar{U}_2 + \bar{U}_3 + \bar{U}_4}{4} - \bar{U}_5; \psi_2 = \frac{\bar{U}_1 + \bar{U}_2}{2} - \bar{U}_3; \psi_3 = \frac{\bar{U}_1 + \bar{U}_2}{2} - \bar{U}_4; \psi_4 = \frac{\bar{J}_1 + \bar{J}_2 + \bar{J}_3 + \bar{J}_4}{4} - \bar{J}_5).$												

Результаты оценки, приведенные в таблицах 1, 2, позволяют сделать следующие выводы:

- при глубине УГВ 1 м существенных различий между сезонными суммами расхода в зоне аэрации при выращивании озимой пшеницы, кукурузы, свеклы и томатов не отмечено. При УГВ 2 и 3 м соотношение между этими величинами следующее:

$$U_4 < U_1 = U_2 < U_3;$$

- расход под люцерной при всех глубинах УГВ в несколько раз выше, чем под остальными культурами;

- между сезонными суммами инфильтрации под озимой пшеницей, кукурузой, свеклой и томатами не обнаруживается существенных различий, а под люцерной она значительно меньше, чем под остальными культурами, при всех УГВ;

- водно-экологический баланс в контуре орошаемого участка находится в прямой зависимости от вида сельскохозяйственных культур, что обусловлено физиологическими особенностями отдельного вида, а именно густотой стеблестоя, кустистостью и типом корневой системы.

Выводы. Анализируя полученные результаты пассивного эксперимента, можно отметить, что соотношения между расходами грунтовых вод под различными сельскохозяйственными культурами определяются не только транспирационными свойствами растений, но и влиянием растительного покрова на физическое испарение. Установлено, что принцип обратной связи между расходом и инфильтрацией наблюдается только для люцерны, тогда как в случае с другими культурами эта связь выражена недостаточно четко.

Список использованных источников

- 1 Воронков, Н. А. О гидрологической роли почв / Н. А. Воронков // Почвоведение. – 1993. – № 9. – С. 55–63.
- 2 Востокова, Е. А. Выявление и основа индикаторов / Е. А. Востокова // Индикационные географические исследования. – М., 1970. – С. 14–25.
- 3 Кац, Д. М. Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях / Д. М. Кац. – М.: Колос, 1978. – 240 с.
- 4 Шеффе, Г. Дисперсионный анализ / Г. Шеффе. – М.: Наука, 1980. – 512 с.
- 5 Васильев, С. М. Экологическая концепция оценки воздействия оросительных систем на ландшафты Нижнего Дона: монография / С. М. Васильев, В. Ц. Челахов, Е. А. Васильева. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2005. – 308 с.
- 6 Сивань, М. А. Режим грунтовых вод Багаевско-Садковской оросительной системы / М. А. Сивань // Труды Ростовской областной опытно-мелиоративной станции. – Ростов н/Д.: Рост. кн. изд-во, 1970. – Вып. 1. – С. 54.
- 7 Капустян, А. С. Особенности формирования составляющих баланса грунтовых вод орошаемой территории Нижнего Дона / А. С. Капустян, В. А. Васильченко // Совершенствование технологий и техники орошения в современных условиях землепользования: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2005. – С. 118–123.
- 8 Сенчуков, Г. А. Ландшафтно-экологические и организационно-хозяйственные аспекты обоснования водных мелиораций земель / Г. А. Сенчуков. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 276 с.

УДК 635.63

С. С. Авдеев, А. Е. Тарасенко

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Российская Федерация

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НА КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

Целью исследования стало изучение эффективности использования дополнительной влаги, подаваемой капельным способом, при выращивании лекарственных растений: расторопши пятнистой, календулы лекарственной и змееголовника молдавского. Установлено, что из всех исследуемых лекарственных растений больше всего влаги требует календула, что, видимо, связано с развитием корневой системы, которая не способна в достаточной мере брать естественную влагу, и поэтому данному растению требуется больше всего дополнительной влаги на единицу продукции.

Ключевые слова: лекарственные растения, расторопша, змееголовник, календула, сроки посева, капельное орошение, число поливов, оросительная норма.

S. S. Avdeenko, A. E. Tarasenko

Don State Agrarian University, Persianovsky, Russian Federation

WATER USE EFFICIENCY IN THE MEDICAL PLANTS CULTIVATION TECHNOLOGY BY DRIP IRRIGATION

The aim of the research was to study the efficiency of the additional moisture use supplied by the drip method when growing medicinal plants: holy thistle, calendula and Moldovian dragonhead. It has been found that of all medicinal herbs studied, calendula requires moisture the most, that is probably related to the development of the root system, which is not able to take natural moisture properly and therefore this plant requires the most additional moisture per unit of production.

Keywords: medical plants, holy thistle (Silybum marianum), dragonhead, calendula (Calendula), sowing time, drip irrigation, number of irrigations, irrigation rate.

В современном мире, как и много веков назад, потребление лекарственных растений – важная составляющая здорового образа жизни и экологической безопасности человека. В медицине значительную часть лекарственных препаратов изготавливают из дикорастущего и выращиваемого растительного сырья. Развитые страны на 60–70 % культивируют лекарственное сырье. В последние годы динамика производства лекарственного сырья в России показывает кризисное состояние отрасли. В период с 2000 по 2012 г. посевные площади под лекарственными культурами уменьшились в 1,5 раза, объемы выращивания лекарственного растительного сырья – почти в 5 раз. С целью развития данного направления Приказом Минпромторга России № 965 от 23.10.2009 предусмотрено увеличение производства лекарственных культур для сокращения импорта лекарственного растительного сырья [1].

Лекарственные растения (лат. *Plantae medicinalis*) – обширная группа растений, органы или части которых являются сырьем для получения средств, используемых в народной, медицинской или ветеринарной практике с лечебными или профилактическими целями. Наиболее широко лекарственные растения используются в народной медицине.

В качестве лекарственных растений в начале XXI в. широко используются аир, алоэ, брусника, девясил, зверобой, календула, каллизия, клюква, малина, мать-и-мачеха, мята, облепиха, подорожник, ромашка, солодка, тысячелистник, шалфей, шиповник, расторопша и многие другие.

По состоянию на начало 2010 г., по данным Международного союза охраны природы (IUCN), было описано около 320 тыс. видов растений, из них лишь небольшая часть (21 тыс. видов) используется в медицине [2].

Расширение спектра выращиваемых полезных растений многостороннего использования – лекарственных, цветочно-декоративных, кормовых с более высокими качествами, адаптированных к новым условиям, является важным направлением в развитии аграрного производства.

Основной целью работы было изучение особенностей развития лекарственных культур: змееголовника молдавского, расторопши пятнистой и календулы лекарственной – и обоснование применения агротехнических приемов их возделывания при орошении в условиях Ростовской области, а также оценка возможности их использования в декоративных целях.

Для достижения поставленной цели было предусмотрено решение следующих основных задач:

- изучить морфологические и биологические особенности рассматриваемых культур;
- установить влияние сроков посева растений на их водный режим при капельном орошении;
- определить структуру урожая и урожайность при разных сроках посева;
- изучить возможность использования культур в декоративных целях и их декоративные качества при разных сроках посева;
- определить экономическую эффективность выращивания культур в условиях Ростовской области на капельном орошении при разных сроках посева.

Решение задач осуществлялось путем постановки и проведения двухфакторного опыта, сопровождающегося учетами, наблюдениями и анализами. Опыт закладывался по трем культурам. Видовой состав: расторопша пятнистая, календула лекарственная, змееголовник. Сроки посева:

- 1-й срок посева – ранний (контроль) при температуре почвы 14–16 °С;
- 2-й срок посева – оптимальный при температуре почвы 18–20 °С;
- 3-й срок посев – поздний при температуре почвы 22–25 °С.

Площадь учетной делянки 25 м², повторность четырехкратная, ширина между рядов 0,6 м, расположение растений однострочное. Норма высева семян расторопши пятнистой – 10 кг/га, календулы лекарственной – 8 кг/га, змееголовника молдавского – 8 кг/га. Площадь под одной культурой 500 м². Общая площадь под опытом 0,25 га. Опыты закладывались на открытом солнечном участке, предшественник – зерновые культуры.

Полевые опыты закладывали на территории ООО «Гарасенко» Азовского района Ростовской области в 2016–2017 гг. на капельном орошении. Объект исследований – сорта лекарственных растений, рекомендованные для выращивания в области: змееголовника – Султан, расторопши – Дебют, календулы – Пятнашка (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта

Вид растения		
Змееголовник молдавский	Расторопша пятнистая	Календула лекарственная
Срок посева		
1-й (ранний) – 01.04	1-й (ранний) – 01.04	1-й (ранний) – 05.04
2-й (рекомендованный) – 15.04	2-й (рекомендованный) – 15.04	2-й (рекомендованный) – 17.04
3-й (поздний) – 25.04	3-й (поздний) – 25.04	3-й (поздний) – 30.04

Фенологические фазы, структуру урожая и период онтогенеза определяли по методике Н. И. Майсурадзе (1984). Биометрические измерения проводили по методике Б. А. Доспехова (1985), декоративные качества оценивались по В. В. Огневу, Е. Н. Габриловой (2010) [3–5]. Экспериментальные данные обрабатывались методом дисперсионного анализа (Б. А. Доспехов, 1985) на ПЭВМ.

При капельном орошении поливная вода из напорного трубопровода подавалась в емкость, а затем с помощью насоса и фильтров очистки через систему магистральных гибких шлангов – в тонкие рядковые поливные трубки со встроенными в них капельницами.

Начало первого полива при отсутствии возможности определения предполивной влажности почвы определялось погодными условиями в послепосевной период. В такой ситуации режим влажности в значительной степени зависел от климатических условий в период вегетации. При выпадении осадков более 10 мм очередной полив переносился на более поздний срок. Основным элементом расчета режима орошения являлось определение поливных норм для поддержания влажности примерно на уровне 80 % НВ в активном слое почвы (0,5 м) вегетационными поливами со средней поливной нормой 150 м³/га (таблица 2).

Таблица 2 – Распределение поливов по фазам вегетации лекарственных растений (среднее за 2016–2017 гг.)

Вид растения	Срок посева	Год	Число поливов по фазам				Общее число поливов, шт.	Оросительная норма, м ³ /га
			посев – всходы	всходы – бутонизация	бутонизация – цветение	цветение – плодообразование		
Расторопша пятнистая	1	2016	2	12	2	4	20	3000
		2017	1	10	2	3	16	2400
	2	2016	2	13	2	5	22	3300
		2017	1	11	2	4	18	2700
	3	2016	2	13	3	6	24	3600
		2017	1	12	2	5	20	3000
Змееголовник молдавский	1	2016	1	10	2	6	19	3000
		2017	1	12	3	8	24	3200
	2	2016	1	10	3	6	20	3200
		2017	1	12	4	8	24	3350
	3	2016	2	10	3	6	21	3350
		2017	2	12	4	8	25	3500
Календула лекарственная	1	2016	2	12	3	8	25	3750
		2017	1	10	2	6	19	2850
	2	2016	2	12	4	8	26	3900
		2017	1	10	3	6	20	3000
	3	2016	2	13	5	8	28	4200
		2017	1	11	4	6	22	3200
Среднее по культурам за 2016–2017 гг.	1	2016	1,7	11,3	2,3	6,0	21,3	3250,0
		2017	1,0	10,7	2,3	5,7	19,7	2816,7
	2	2016	1,7	11,7	3,0	6	22,7	3466,7
		2017	1,0	11,0	3,0	6	20,7	3016,7
	3	2016	2,0	12,0	3,7	6,7	24,3	3716,7
		2017	1,7	11,7	3,3	6,3	22,3	3233,3

Распределение осадков было крайне неравномерным по фазам вегетации: так, в 2016 г. за период посев – всходы выпало 14 мм осадков, в период фазы бутонизации осадки составили 32,3 мм, а в фазе цветения осадки отсутствовали. За период вегетации 2017 г. суммарное количество осадков составило всего 29,7 мм.

Выявлено, что по годам наблюдений количество вегетационных поливов было неодинаковым, что и обусловило разную оросительную норму. Из данных таблицы 2 видно, что расторопшу приходилось поливать от 16 до 24 раз в год, календулу – от 19 до 28 раз, а змееголовник – 19–25 раз.

В среднем по культурам было проведено при 1-м сроке посева 19,7–21,3 полива, при 2-м сроке посева – 20,7–22,7 полива и при 3-м сроке посева – 22,3–24,3 полива. Это дает представление о погодных условиях при разных сроках посева. Так, при самом

раннем сроке посева проводилось меньше дополнительных поливов с меньшей оросительной нормой, так как посеянные семена могут использовать запасы влаги, накопленные в почве к моменту посева. Оросительная норма в среднем по культурам составила 2816,7–3250,0 м³/га. Естественные осадки, выпавшие в начальные периоды роста, повлияли и на величину урожая, хотя дополнительный капельный полив позволяет сгладить недостаток влаги в период вегетации культур.

Мы видим, что при 3-м сроке посева и количество поливов больше, и, соответственно, оросительная норма выше (в пределах 3233,3–3716,7 м³/га). Однако не вся вода, дополнительно поданная на участки с лекарственными растениями, будет ими использована, так как в условиях высоких температур много влаги посевами теряется на испарение с поверхности незащищенной почвы и поверхности листьев для их охлаждения. При 2-м сроке посева количество поливов составило в среднем 20,7–22,7, что соответствует среднему числу в опыте. Оросительная норма данного варианта (3016,7–3466,7 м³/га) также относится к среднему показателю в опыте.

Судя по средним данным о количестве поливов по культурам и оросительной норме, 2017 г. более благоприятен, так как потребовалось проведение меньшего числа дополнительных поливов. Исходя из средней продолжительности вегетационного периода по годам и использованного объема дополнительной воды, был рассчитан среднесуточный расход дополнительной влаги в сутки (таблица 3).

Таблица 3 – Среднесуточный расход поливной воды лекарственными растениями в зависимости от срока посева

Вид растения	Срок посева	Продолжительность вегетационного периода, сут			Среднесуточный расход поливной воды, м ³ /сут		
		2016 г.	2017 г.	Среднее	2016 г.	2017 г.	Среднее
Расторопша пятнистая	1	113	112	112,5	26,5	21,4	23,95
	2	104	105	104,5	31,7	25,7	28,70
	3	94	99	96,5	38,3	30,3	34,30
Змееголовник молдавский	1	118	122	120,0	25,4	26,2	25,80
	2	105	108	106,5	30,5	31,0	30,75
	3	108	107	107,5	31,0	32,7	31,85
Календула лекарственная	1	111	108	109,5	33,8	26,4	30,10
	2	106	108	107,0	35,1	27,8	31,45
	3	93	90	91,5	45,2	35,6	40,40

Из данных таблицы 3 видно, что как по годам, так и в среднем за годы наблюдений вегетационный период лекарственных культур был наиболее продолжительным при 1-м, самом раннем сроке посева, и это касается всех трех культур. За более продолжительный вегетационный период, причем при самых благоприятных условиях, могут сформироваться более мощные, а значит и более урожайные растения, и это касается как надземной части, так и соцветия, которое именно и является лекарственным сырьем.

Со сдвигом срока посева на более поздний период растения завершают свое формирование несколько раньше. Это же касается и третьего срока посева.

Средняя продолжительность вегетационного периода при 1-м сроке посева лекарственных растений – 109,5–120,0 дней, при 2-м сроке посева – 104,5–107,0 дней, а при 3-м сроке посева – 91,5–107,5 дней. При этом самый продолжительный отмечен у змееголовника молдавского при всех сроках посева и в оба года исследований.

На основании проведенных в 2016 и 2017 гг. наблюдений нами был осуществлен расчет эффективности использования дополнительного орошения (таблица 4).

Таблица 4 – Урожайность лекарственных растений и эффективность использования ими дополнительного орошенияВ м³/т

Срок посева	Расторопша пятнистая		Змееголовник молдавский		Календула лекарственная		В среднем по растениям	
	Урожайность вегетативной массы, т/га	Расход поливной воды, м ³ /т	Урожайность семян, т/га	Расход поливной воды, м ³ /т	Урожайность соцветий, т/га	Расход поливной воды, м ³ /т	Урожай лекарственного сырья, т/га	Расход поливной воды, м ³ /т
1-й	8,84	305,4	1,81	1712,7	1,75	1885,7	4,13	1301,3
2-й	8,35	359,3	1,79	1829,6	1,71	2017,5	3,95	1402,1
3-й	6,81	484,6	1,52	2253,3	1,58	2341,8	3,30	1693,2
В среднем по сроку посева	8,0	383,1	1,71	1931,9	1,68	2081,7	3,80	1465,6

Из данных таблицы 4 мы видим, что в связи с высокой урожайностью (причем вегетативной массы) для производства единицы продукции расторопши требуется от 305,4 до 484,6 м³/т дополнительной поливной воды, обеспеченной с помощью капельного полива. Как мы заметили, при самом позднем сроке посева 30.04 растениям потребовалось больше всего дополнительной воды на единицу продукции, и наоборот, при самом раннем сроке растения наиболее полно используют потенциал запасенных зимних и весенних осадков и употребляют на создание 1 т продукции меньше всего воды.

На основе анализа уровня урожайности получаемой продукции и расхода воды на производство 1 т семян змееголовника и соцветий календулы отмечен резкий скачок количества потребляемой влаги. По змееголовнику расход воды находится в пределах 1712,7–2253,3 м³/т, а по календуле – в пределах 1885,7–2341,8 м³/т.

Лекарственные растения – это не только ценное сырье и овощная продукция, это еще и декоративные растения. Оценивая возможность использования лекарственных культур в декоративном садоводстве, можно определить некоторые их качества, которые, по нашему мнению, наиболее значимы для озеленения. Основными можно считать биологические качества (таблица 5).

Таблица 5 – Оценка биологических и эксплуатационных качеств исследуемых лекарственных растений (2017 г.) (в среднем по срокам посева)

В баллах

Вид растения	Оценка качества									
	Биологические качества					Эксплуатационные качества				
	Жаростойкость	Засухоустойчивость	Устойчивость к заморозкам	Устойчивость к почвенной среде	Сумма	Скорость роста	Способность к регенерации	Устойчивость к городской среде	Простота размножения	Сумма
Расторопша пятнистая	4	5	5	4	18	4	4	5	4	17
Змееголовник молдавский	4	4	5	4	17	4	5	5	4	18
Календула лекарственная	4	4	5	4	17	4	3	5	4	16

По данным таблицы 5, выделяется расторопша пятнистая, ее биологические качества оценены на 18 баллов, в то время как эти же качества у змеголовника и календулы – по 17 баллов. В целом данная оценка достаточно высока и позволяет рекомендовать все культуры для озеленения, причем даже в экстремальных условиях. Все растения довольно оригинальные по внешнему виду, но отличаются простотой получения товарной продукции, а значит и эксплуатационными качествами. По эксплуатационным качествам наименьшие баллы получила календула лекарственная, возможно, это связано с тем, что в производстве у нее принято только семенное размножение, в отличие от расторопши и змеголовника, у которых может присутствовать и вегетативное размножение.

Таким образом, установлено, что из всех исследуемых лекарственных растений больше всего влаги требует календула. По всей видимости, это связано с развитием корневой системы, которая не способна в достаточной мере брать естественную влагу, и поэтому данному растению требуется больше всего дополнительной влаги на единицу продукции.

Выявлено, что данные незначительно меняются по годам в зависимости от урожая и погодных условий каждого года. Установлено, что наиболее эффективно при капельном орошении в условиях Азовского района Ростовской области лекарственные растения расходуют влагу при самом раннем (в первой декаде апреля) сроке посева.

Список использованных источников

1 Рыбашлыкова, Л. П. Агроприемы повышения эффективности выращивания лекарственных культур в условиях капельного орошения на светло-каштановых почвах Северного Прикаспия [Электронный ресурс] / Л. П. Рыбашлыкова. – Режим доступа: <http://dslib.net/zemledelie/agropriemu-povysheniya-jeffektivnosti-vyrawivaniya-lekarstvennyh-kultur-v-uslovijah.html>, 2018.

2 Борисов, М. И. Лекарственные свойства сельскохозяйственных растений / М. И. Борисов. – Минск: Ураджай, 1974. – 306 с.

3 Методика исследований при интродукции лекарственных растений / под ред. Н. И. Майсурадзе. – М.: Минмедпром, 1984. – 33 с. – (Лекарственное растениеводство. Обзорная информация. Вып. 3).

4 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

5 Огнев, В. В. Методология оценки декоративных культур в урбанизированных агроландшафтах / В. В. Огнев, Е. Н. Габимова // Интеграция науки, образования и бизнеса для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: материалы междунар. науч.-практ. конф., 2–4 февр. 2010 г. – Персиановский: ДонГАУ, 2010. – Т. 2. – С. 294–296.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 626.82

М. Р. Барамыков

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВХОДНОЙ ЧАСТИ ГОРЛОВИНЫ ЛОТКА КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ

В данной статье приводятся результаты эксперимента, в котором сравнивались две конструкции входной части горловины лотка критической глубины и их влияние на зависимость напора от расхода гидрометрического сооружения. Содержание статьи включает общее описание лабораторной установки, измерительного оборудования и исследуемых конструкций с их схематическим изображением. По данным измерений построены графики зависимости напора от расхода для двух конструкций, а также кривые свободной поверхности в горловине при минимальных и максимальных расходах. Проведен анализ полученных результатов и влияния изменений конструкции входной части горловины.

Ключевые слова: лоток критической глубины, горловина, сопрягающая часть, кривая свободной поверхности, напор.

M. R. Baramykov

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

RESEARCH OF THE INLET OF THE CRITICAL DEPTH FLUME NECK

The results of an experiment where two designs of the inlet of a critical depth flume neck and their influence on the dependence of waterhead on the flow rate of the hydrometric structure are presented. The general description of the laboratory facility, measuring equipment and the studied structures with their schematic layout are included in the article. According to the measurement data the graphs of the dependence of water head on the flow rate for two structures, as well as the surface curves in the neck at minimum and maximum flow rates were constructed. The analysis of the results and the impact of changes in the design of the input part of the neck was carried out.

Keywords: critical depth flume, neck, mating part, surface curve, water head.

Введение. Среди различных типов гидротехнических сооружений, используемых в оросительных системах гидромелиоративных комплексов, необходимым элементом является гидрометрическое сооружение. Устройства данного типа позволяют собирать данные о гидравлических характеристиках, необходимых при создании современных систем управления орошением [1]. В условиях средней и высокой концентрации взвешенных наносов в водном потоке в качестве измерительных устройств применяются лотки критической глубины. В таких лотках создается сверхкритический поток в горловине боковым или донным сжатием. Сужение поперечного профиля оказывает сопротивление потоку и создает разность напоров в верхнем и нижнем бьефах сооружения. Основное влияние на формирование потока перед входом в горловину оказывает степень сжатия потока в горловине. Дополнительными факторами влияния является угол сопрягающей части подводящего канала и входа в горловину к оси канала и форма грани входной ча-

сти горловины. В каналах и лотках с прямоугольным поперечным профилем стенки сопрягающей части и грани входа в горловину возводятся вертикально. Допустимое отклонение от вертикали по нормативным документам составляет 1–3° [2].

Длина горловины тоже имеет определенные ограничения. При короткой длине горловины либо без нее гидрометрическое сооружение имеет низкое значение относительного затопления, при котором оно еще сохраняет качества измерительного устройства [3]. Большая длина горловины, помимо дополнительных материальных затрат, создает сопротивление потоку, уменьшая пропускную способность сооружения и диапазон измеряемых расходов.

В данном эксперименте было проведено исследование двух конструкций сопрягающей части горловины и подводящего канала:

- конструкция 1 – сопрягающая часть подводящего канала и входной части горловины в виде вертикальной стенки с высотой, равной высоте канала;
- конструкция 2 – сопрягающая часть отсутствует, а перед входной частью горловины установлены две вертикальные тонкие стенки с наклонными гранями, угол наклона которых к дну канала составляет 30°.

Цель данного эксперимента – сравнить указанные конструкции, их влияние на $h = f(Q)$ (где h – напор потока в подводящем канале, Q – расход, пропускаемый через гидрометрическое сооружение) и режим течения в горловине.

Исследования проводились на лабораторном лотке критической глубины с высотой стенок 0,2 м, шириной 0,3 м, длиной 6 м. Размеры горловины: ширина 0,14 м, длина 0,4 м. Лоток с горизонтальным уклоном дна. Материал лотка – оргстекло. Измерения проводились с 8–10 расходами с максимальным значением 0,0096 м³/с, которые определялись по тарированному треугольному водосливу. Измерения уровней проводились шпигельмасштабом с точностью 0,1 мм.

Вертикальные стенки в конструкции 2 расположены на расстоянии друг от друга, равном ширине горловины. Так как сопрягающие стенки канала и входной части горловины в конструкции 2 отсутствуют, то стенки канала продолжают до нижнего бьефа. Из-за угла наклона (30°) грани стенок в конструкции 2 к дну канала длина стенок по нижней части равна 0,32 м. Схематическое изображение обеих конструкций представлено на рисунке 1.

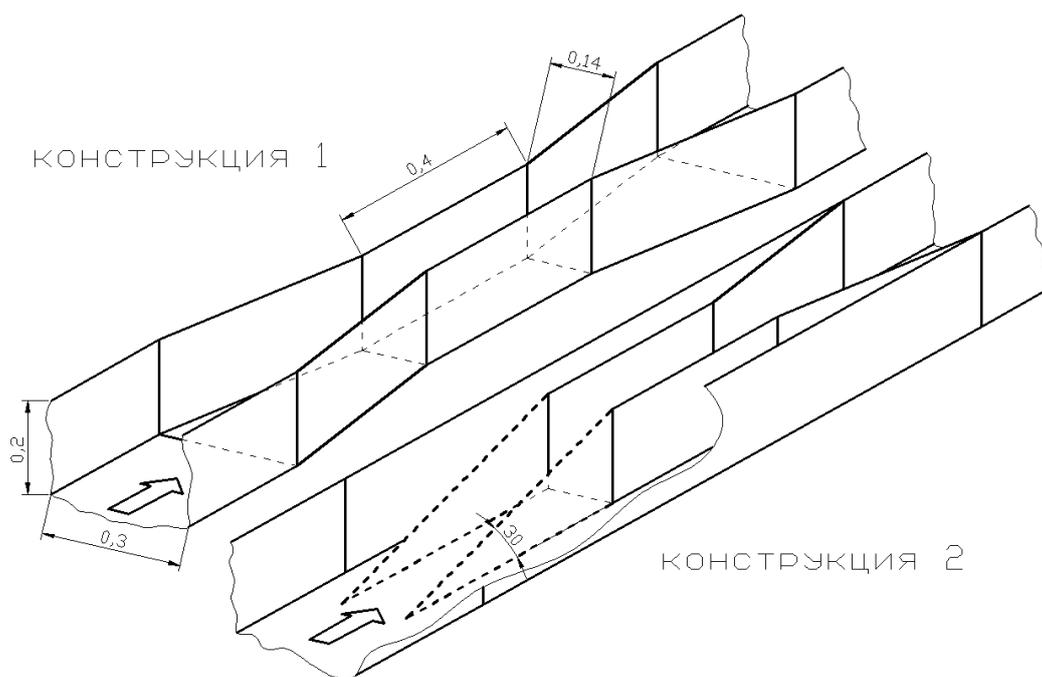


Рисунок 1 – Конструкции 1 и 2 входной части лотка критической глубины

Были проведены измерения уровня верхнего бьефа для определения зависимости напора от расхода. Сначала были проведены измерения на конструкции 1 с сужающейся формой входной части сопряжения канала и горловины. Затем были проведены измерения на конструкции 2. Минимальными измеряемыми расходами принимались расходы, при которых поток на выходе из горловины переходил в сверхкритический режим.

По полученным результатам были построены графики зависимости $h = f(Q)$ обеих конструкций (рисунок 2).

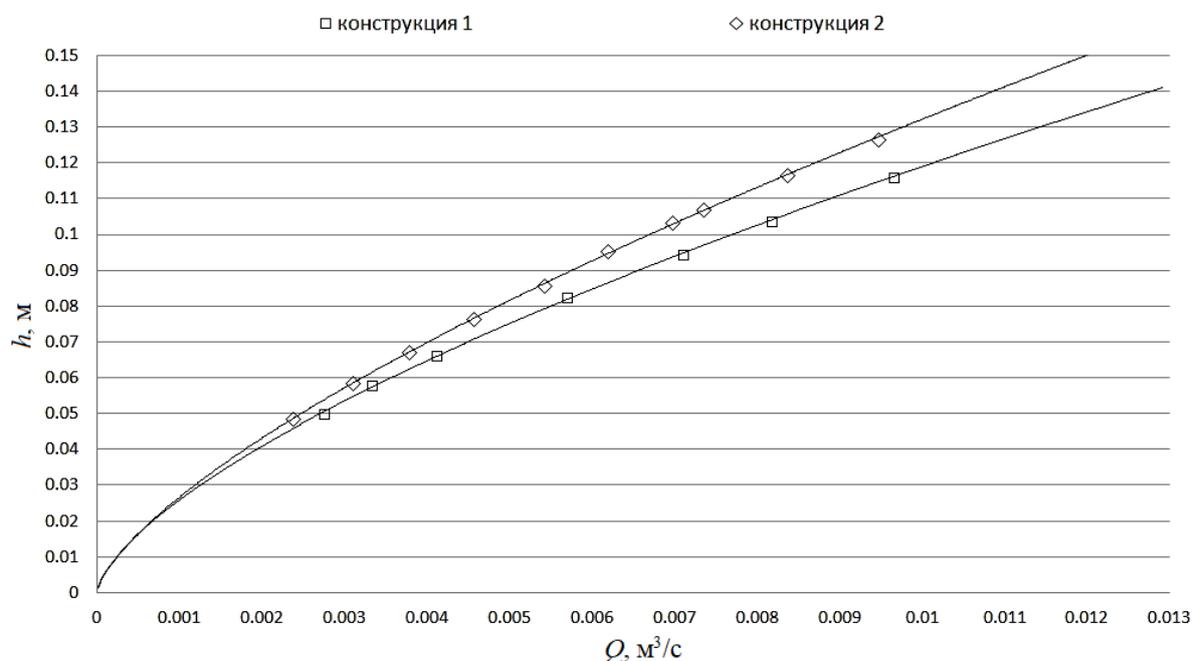


Рисунок 2 – Кривые зависимости напора от расхода

По полученным данным, представленным на рисунке 2, можно сделать несколько утверждений:

- во-первых, кривые зависимости напора от расхода показывают, что с уменьшением угла наклона грани входной части значение уровня в верхнем бьефе увеличивается при одинаковых расходах;

- во-вторых, с наклонной стенкой уменьшаются максимальные значения пропускаемых расходов, но увеличиваются минимальные значения измеряемых расходов.

Отличие между максимальными пропускаемыми расходами составляет примерно 10 %, а между минимальными измеряемыми расходами около 20 %.

Сравнение кривых $h = f(Q)$ приводит к выводу, что, несмотря на значительные отличия в углах наклона (30 и 90°) входной грани горловины, принципиальной разницы в формах кривых нет. По форме зависимости напора от расхода конструкция 2 представляется идентичной конструкции 1, но с возможно более узкой горловиной.

Конструкция 2 значительно (в 1,5–2,0 раза) увеличивает общую длину горловины, особенно в нижней области. Такое изменение приводит к возникновению в ней дополнительного сопротивления потоку, и, как следствие, при больших расходах наблюдается возникновение гидравлического прыжка во входной части [4]. Кривые свободной поверхности при максимальных и минимальных расходах показаны на рисунке 3. Отметки поверхности в горловине снимались в пяти точках по осевой линии через 0,1 м от начала горловины. Криволинейность потока в поперечном сечении не учитывалась.

Из данных рисунка 3 видно, что в конструкции 1 форма свободной поверхности изменяется равномерно, от минимального расхода к максимальному. В случае с кон-

струкцией 2 режимы течения в горловине изменяются достаточно сильно, подтверждая возникновение гидравлического прыжка при максимальном расходе.

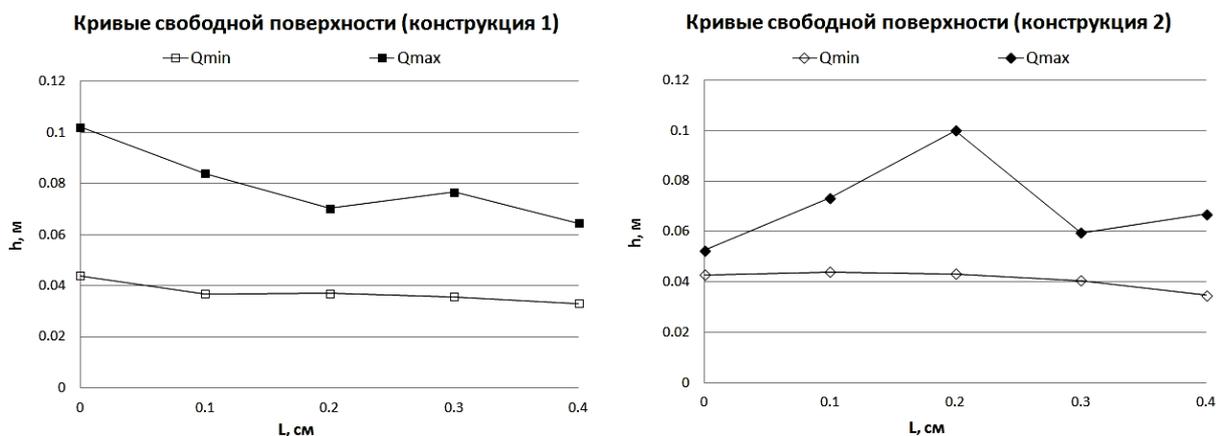


Рисунок 3 – Кривые свободной поверхности в горловине

Учитывая сложность измерения возникающей формы свободной поверхности, распределение скоростей и направлений потока, необходимо понимать, что следующие выводы могут быть скорректированы при более детальном изучении влияния на поток конструкции 2. На основании полученных результатов данного эксперимента можно сделать следующее заключение:

- по сравнению конструкций – меньшая плавность входа в конструкции 2 является одной из причин возникновения сопротивлений в горловине;
- большие материальные затраты на конструкцию 2 в случае возведения гидрометрического сооружения одновременно со строительством канала, а при встраивании в существующий канал – наоборот;
- по влиянию на зависимость между напором и расходом – увеличение диапазона минимального измеряемого расхода с конструкцией 2 с одновременным уменьшением максимального пропускаемого расхода;
- увеличение диапазона минимальных измеряемых расходов на 20 % по сравнению с уменьшением максимальных измеряемых расходов на 10 % (в конструкции 2);
- по режиму течения в горловине – увеличение длины горловины в конструкции 2 приводит к возникновению дополнительных сопротивлений, вызывающих появление гидравлического прыжка в горловине без подпора со стороны нижнего бьефа [5].

Выводы. Вертикальная стенка сопряжения подводящего канала с горловиной и вертикальность грани входной части горловины незначительно влияют на форму зависимости $h = f(Q)$ гидрометрического лотка, хотя и изменяют диапазон расходов. Обе конструкции формируют сверхкритический режим течения на выходе из горловины, что подтверждает работоспособность гидрометрического сооружения.

Конструкция 2 может быть использована при необходимости увеличить диапазон измеряемых минимальных расходов без дополнительного сужения горловины. Вероятно, характеристики конструкции 2 по пропускной способности могут быть улучшены при нахождении оптимальной длины горловины, исключая возникновение гидравлического прыжка без подпора в нижнем бьефе.

Список использованных источников

1 Принципы создания информационно-аналитической управляющей системы каскада Волжско-Камских гидроузлов / А. О. Щербаков, А. А. Талызов, И. С. Румянцев, Ф. Нестманн, Р. Кромер, Г. Х. Исмайылов, Г. Г. Ермаков // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 15–19.

2 Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков: МИ 2406-97 / ВНИИР. – 1997.

3 Discharge measurement structures / W. Boiten, M. G. Bos, D. A. Kraijenhoff van de Leur, H. Oostinga, R. H. Pitlo, A. H. de Vries, J. Wijdieks; ILRI. – 3-d rev. ed. – Wageningen, The Netherlands, 1989. – 401 p.

4 Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них / В. Н. Щедрин [и др.]; под общ. ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 361 с.

5 Кушер, А. М. К вопросу о предельном затоплении гидрометрического сооружения / А. М. Кушер, М. Р. Барамыков // Инновационные технологии в мелиорации: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». – 2011. – С. 515–518.

УДК 627.844.621.221.1

Ш. Г. Талипов, О. Я. Гловацкий, А. С. Газарян

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

ВОПРОСЫ РЕКОНСТРУКЦИИ НАСОСНО-ТУРБИНОЙ ЧАСТИ МЕЛИОРАТИВНО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

В статье приводятся основные данные модельных исследований режимов различных нагрузок насоса-турбины и пульсации под рабочим колесом. Источником этих возмущений являются вихри, возникающие при положительной закрутке потока. Характер изменения стандартов пульсации давления по длине проточного тракта подтверждает, что основным источником нагрузок являются рабочие органы насоса-турбины.

Ключевые слова: надежность, эксплуатация, насосные агрегаты, гидромашины, лопасть, проточный тракт, пульсация, давление.

Sh. G. Talipov, O. Ya. Glovatskiy, A. S. Gazaryan

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

THE RECONSTRUCTION ISSUES OF THE PUMP-TURBINE UNIT OF THE RECLAMATIVE-WATER INDUSTRY COMPLEX

The main data of simulation studies of various pump-turbine loads and pulsations modes under the impeller are presented. The source of these perturbations is the vortices arising at the positive whirl. The behavior of pressure pulsation standards along the water conveyance system confirms that the major source of loads is the working elements of the turbine pump.

Key words: reliability, operation, pump units, hydraulic machines, blade, water conveyance system, pulsation, pressure.

В Республике Узбекистан эксплуатируется более 1600 насосных станций (НС) и 5000 насосных агрегатов (НА). Изучение и анализ технического состояния объектов НС показало, что используются в основном энергоемкие старые НА. Проблемы эксплуатации НА аналогичны проблемам эксплуатации турбин на ГЭС. Новым направлением является проектирование гидроаккумулирующих станций (ГАЭС). На практике встречаются случаи их длительной работы при сильно увеличенных по сравнению с проектными гидравлических потерях во всасывающей линии, при механических повреждениях отдельных элементов.

Вероятность появления тех или иных отклонений от нормальных условий эксплуатации и степень опасности этих особых режимов различны для насосно-турбинной части разных типов и определяются их размерами, а также назначением. Например, повышение напора сверх максимального расчетного значения не представляет практически никакой опасности для небольших центробежных насосов и радиально-осевых турбин, но крайне нежелательно для крупных образцов.

В настоящее время в Республике Узбекистан около 70 % земель орошается с помощью центробежных насосов, их бесперебойная работа необходима для успешного развития сельского хозяйства. Также основные турбины на ГЭС радиально-осевого типа.

Научно-исследовательская работа, направленная на обеспечение бесперебойной работы агрегатов, своевременное определение рабочего состояния, имеет особое значение при выполнении Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 гг., в которой указано преобладающее значение дальнейшего развития мелиоративных и ирригационных объектов для увеличения уровня национальной экономики.

К настоящему времени около 25 % НС и ГЭС Республики Узбекистан находятся в эксплуатации более 30 лет, а 50 % проработали более 20 лет, и, следовательно, оборудование этих станций также приближается к выработке своего нормативного срока службы [1].

В результате форсировки режимов работы гидромашин и изменения режимов работы ГЭС ухудшилось энергетическое использование водотоков, так как средне-взвешенный по выработке КПД оказался на 5–10 % ниже максимально возможного для данного типа гидромашин.

Наряду со снижением эффективности использования водотока и смещением работы гидромашин в зону более низких значений КПД и повышенных динамических нагрузок наблюдается тенденция к снижению надежности гидроагрегатов: рост интенсивности отказов лопастей, возрастание скорости разрушения подшипников, усиление кавитационной эрозии проточного тракта гидромашин, что отмечалось нами для НА [2].

Повышение эффективности и надежности гидросилового оборудования со сроком службы, превышающим нормативный, неизбежно потребует его замены. Необходимость замены диктуется не только физической изношенностью основных элементов агрегатов, но и тем обстоятельством, что они морально устарели по отношению к современным типам гидромашин.

Вопросы, связанные с реконструкцией и техническим перевооружением гидромашинного оборудования, наиболее целесообразно решать в рамках комплексной реконструкции. Это направление должно стать основным в XXI в. и прийти на смену модернизации отдельных узлов оборудования, которая проводилась с целью обеспечения нормативной эксплуатационной готовности. Для успешного решения вопросов замены гидромашин при реконструкции и техническом перевооружении необходимо:

- оценить эффективность использования водотока существующим гидромашинным оборудованием при сложившихся режимах работы и выбранных параметрах (частоте вращения n и диаметре рабочего колеса);

- определить оптимальные требования к параметрам нового гидромашинного оборудования.

Выполнить предложенное позволяет приведенная ниже методика.

Рекомендации авторов учитываются при разработке технологической части проектов строительства новых и расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих ГЭС и ГАЭС с агрегатами мощностью не более 5 МВт. Рекомендации могут использоваться при разработке проектов малых ГЭС мощностью менее 10 МВт.

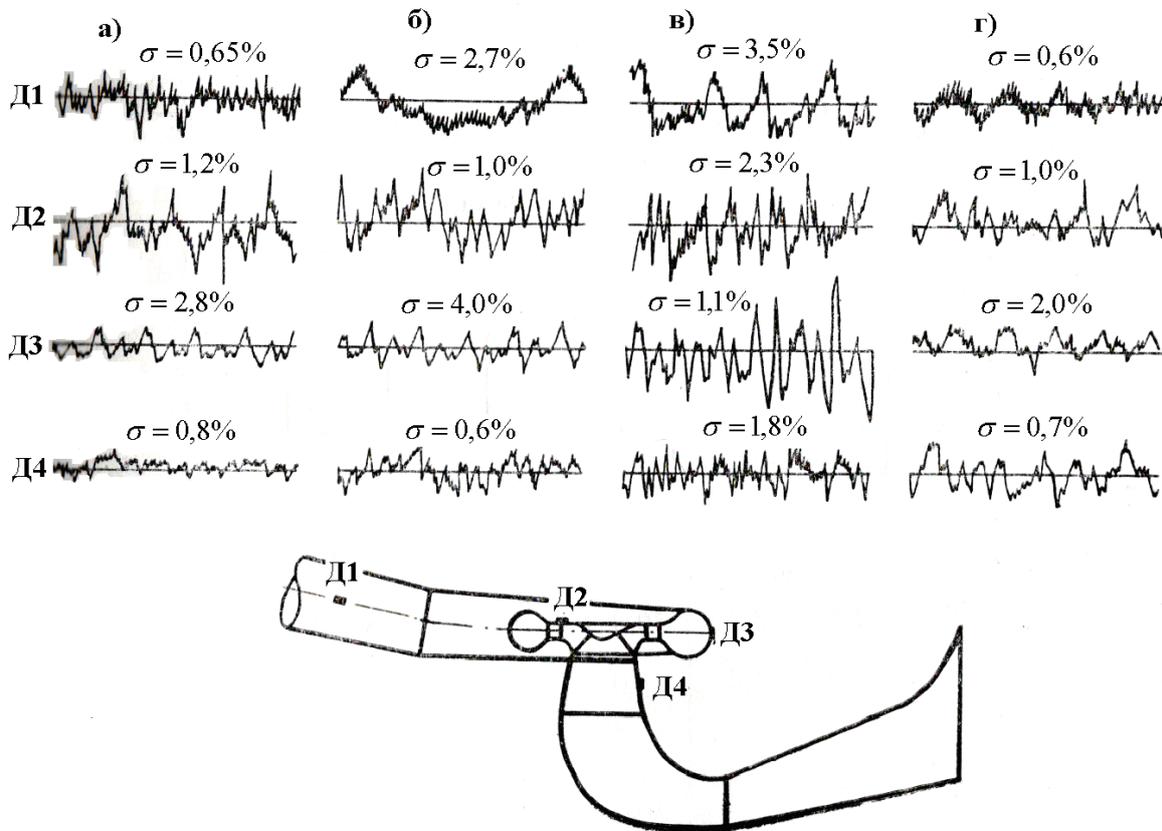
При равных показателях надежности и технико-экономических показателях с учетом эксплуатационных затрат принимается наибольшая технически возможная

мощность из соображений унификации оборудования как по условиям изготовления, так и по условиям эксплуатации.

Гидравлические потери обусловлены вязкостью жидкости. К ним относятся также потери энергии потока, покидающего турбину на выходе из отсасывающей трубы. Гидравлические потери различаются по месту происхождения: в спиральной или иной подводящей камере, в направляющем аппарате, в рабочем колесе, в отсасывающей трубе (в т. ч. и на выход из трубы). Гидромеханическое течение жидкости в каждом из этих органов: в кольцевом конфузоре спиральной камеры, в конфузоре неподвижной решетке направляющего аппарата, во вращающейся решетке рабочего колеса, наконец, в криволинейном диффузоре отсасывающей трубы – различно. Поэтому гидравлические потери в проточных органах гидромашин имеют существенно отличающийся характер и подчиняются различным закономерностям. Более того, в одном и том же органе могут иметь место потери различных видов, как, например, профильные и концевые потери в рабочем колесе, внутренние гидравлические потери и выходные потери.

Опыт создания и эксплуатации обратимых агрегатов ГАЭС показал, что насосы-турбины характеризуются ростом гидродинамических нагрузок, расширением их спектра, большей вероятностью возникновения резонансных явлений в блоках ГАЭС. Это требует более тщательного анализа спектральных характеристик потока и динамических свойств конструкций, являющихся основой динамического расчета водоводов и здания ГАЭС. Исходные данные для такого расчета могут быть получены по характеристикам пульсации давления, замеренным на границах потока в различных элементах проточного тракта.

Исследования пульсации давления выполнены на модели блока ГАЭС (рисунок 1) с радиально-осевым рабочим колесом диаметром 357 мм.



а) турбинный режим: $N = 200$ МВт, $H = 34$ м; б) то же, $N = 120$ МВт, $H = 34$ м;
 в) турбинный разгонный режим: $a_0 = 500$ мм; г) насосный режим: $Q = 104$ м³/с, $H = 35$ м

Рисунок 1 – Точки измерения и осциллограммы пульсации давления

Обработка осциллограмм проведена с определением максимальных амплитуд (2А), стандартов пульсации давления (σ).

Для определения коэффициента сопротивления рабочего колеса C_{xp} необходимо знать распределение скоростей по поверхности профиля, а для этого требуется, в свою очередь, решение трудоемкой прямой задачи обтекания решетки профилей. Вместе с тем часто на практике оказывается достаточной приближенная оценка профильных потерь в гидромашинной решетке. С этой целью на основании проведенных расчетов построен осредненный график профильных потерь, который учитывает только основной параметр решетки – густоту l/t (рисунок 2).

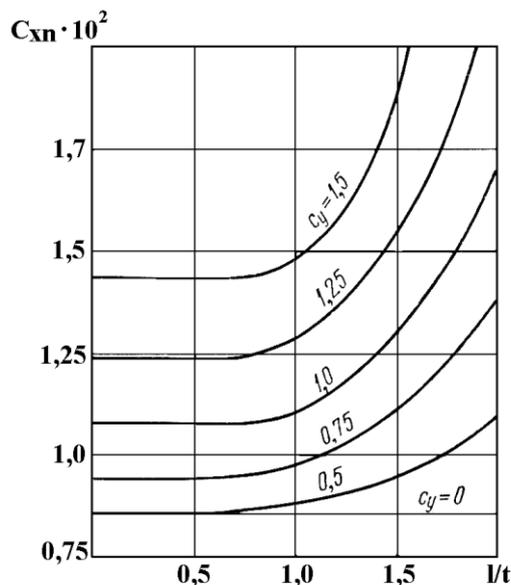


Рисунок 2 – Осредненный график профильных потерь

Другие геометрические характеристики: угол установки профиля в решетке, его толщина и кривизна и пр. – предполагаются некоторыми осредненными, обычно присущими решеткам среднего цилиндрического сечения рабочих колес.

Проведенные для двух рабочих колес различной быстроходности расчеты показали, что при переходе от втулочного сечения к периферийному значение C_{xp} при заданном режиме уменьшается в 2–3 раза, а значение скорости ω увеличивается примерно в 2 раза. Величина же относительной потери в решетке данного цилиндрического сечения оказывается вследствие более быстрого роста величины ω по сравнению с уменьшением C_{xp} для периферийных сечений большей в 2–4 раза, чем для втулочных сечений. Таким образом, периферийные сечения рабочего колеса играют значительно большую роль в формировании профильных потерь, чем втулочные сечения.

Расчеты показали, что среднее значение потерь в РК очень близко к значению потерь, подсчитанных по среднему цилиндрическому сечению, и отличается от последних не более чем на 10 %.

Отсюда следует вывод, что оценку профильных потерь в различных рабочих колесах можно производить по значению потерь в среднем цилиндрическом сечении колеса, не проводя расчетов по всем сечениям колеса.

В силу неразрывности течения во внешнем потоке возникает обратное течение жидкости, которое вместе с движением пограничного слоя межлопастного канала приобретает пространственный характер.

Концевые потери являются в данном случае результатом резкого взбухания пограничного слоя на спинке лопасти вблизи стенок вследствие накапливания подторможенной жидкости, перетекающей по стенкам и стекающей на лопасти.

Для расчета этих потерь необходимо развитие теории пространственного пограничного слоя применительно к течениям в решетках.

Трудности теоретического изучения вопроса привели к постановке обширных экспериментальных исследований, в результате которых получен материал для количественной оценки концевых потерь. Так, в наших опытах было впервые обнаружено, что для данной решетки лопастей абсолютная величина концевых потерь не зависит от длины лопасти.

Отсюда непосредственно следовало, что коэффициент концевых потерь обратно пропорционален удлинению (относительному размаху) лопасти $\lambda = L/b$ (L – характерный размер решетки, например длина профиля; b – длина (размах) лопасти).

В соответствии с экспериментальными данными О. Я. Гловацкого рекомендована эмпирическая формула для коэффициента концевых потерь в турбинных решетках, учитывающая зависимость его от удлинения:

$$\lambda = \xi \frac{L}{b},$$

где ξ – приведенный коэффициент концевых потерь, равный 0,07–0,18.

Исследования САНИИРИ позволили установить обобщенную эмпирическую зависимость концевых потерь в решетках от режима обтекания, характеризуемого углами входа и выхода потока [2].

Эти же опыты показали, что на коэффициент концевых потерь существенное влияние оказывает величина зазора. Объяснить это можно наличием обоих вторичных направлений – как через зазор, так и в канале вдоль ограничивающих стенок. В случае очень малых зазоров, так же как и при отсутствии зазора, основная доля потерь обусловлена утолщением пограничного слоя на лопасти. Потери кинетической энергии вторичного течения здесь невелики. При увеличении зазора доля потери энергии на образование вихрей растет и имеет уже превалирующее значение. В области не очень больших относительных зазоров δ , имеющих практический смысл, зависимость концевых потерь H_k от δ оказывалась близкой к линейной.

Наличие переменных зазоров значительно усложняет и без того сложную картину концевых явлений в гидромашине.

Во-первых, большую роль начинают играть потери вследствие утечек жидкости через зазоры. Во-вторых, что еще важнее, параметры машин становятся переменной величиной, зависящей от угла разворота лопастей.

Выводы

1 Модельные исследования показали, что в режимах частичных нагрузок гидромашин максимальное значение спектральной плотности пульсации под рабочим колесом наблюдается при низкой частоте. Источником этих возмущений являются вихри, возникающие при положительной закрутке потока за рабочим колесом.

2 Анализ экспериментальных материалов показал, что для условий исследуемых режимов частичной нагрузки турбины ($H = 34$ м, $N = 120$ МВт), пониженной подачи насоса ($Q = 54$ м³/с, $H = 35$ м) при разгоне (аварийной ситуации) они должны являться поверочными для динамического расчета водоводов.

Список использованных источников

1 Печейкина, Е. А. Исследование гидродинамических характеристик потока в переходных процессах насосно-турбинной части ГАЭС / Е. А. Печейкина, Ш. М. Шарипов, О. Я. Гловацкий // Современные проблемы в сельском и водном хозяйстве: сб. науч. тр. – Ташкент, 2017. – С. 330–333.

2 Новые конструкции и технологии для водо- и энергосбережения в системах машинного водоподъема / Ш. Р. Рустамов, О. Я. Гловацкий, С. У. Жанкабылов, С. К. Гадаев // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2017. – № 3–4. – С. 143–147.

УДК 626.83

М. А. Шомайрамов

Министерство водного хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

О. Я. Гловацкий

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

В статье излагаются результаты разработки устройств с гидравлическими средствами автоматизации процессов останова насосных станций на сифонных водовыпусках, которые применены на крупных машинных каналах. Наиболее совершенными являются гидравлические устройства для срыва вакуума, обеспечивающие энергосберегающие и надежные методы эксплуатации. Чтобы уменьшить влияние гидравлических устройств для срыва вакуума на характеристику сифона, разработаны новые конструкции.

Ключевые слова: надежность, эксплуатация, насосные агрегаты, напорные трубопроводы, водовыпуски.

M. A. Shomayramov

Ministry of Water Resources, Tashkent, Republic of Uzbekistan

O. Ya. Glovatskiy

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

HYDRAULICS AUTOMATION TOOLS DEVELOPMENT AT PUMP STATIONS UNSTEADY OPERATING REGIME

The development results of the tools with hydraulic means of the pump stations shut-down process automation on siphon intakes which are applied on large machine canals are presented. The hydraulic tools for vacuum breaking actions providing energy-saving and reliable operation methods are the most advanced. To reduce the influence of hydraulic tools for vacuum breaking actions on the siphon characteristics new designs have been developed.

Keywords: reliability, operation, pump units, pressure pipelines, water intakes.

Сифонные водовыпуски на насосных станциях (НС) впервые появились в середине прошлого столетия. Однако широкого распространения в этот период они не получили, так как не был надежно решен вопрос о зарядке и разрядке сифона во время его работы [1]. Многообразие типов НС, разбросанных по всей территории Республики Узбекистан, оснащение их различным оборудованием создают значительные трудности в эксплуатации насосных агрегатов (НА), затворов, электрической аппаратуры для управления режимами сопрягающих сооружений. Эффективность внедрения узлов автоматизации, влияющих на работу агрегата, при нестационарных режимах работы НС рассмотрена на конкретных объектах Узбекистана. В настоящее время НС проектируются в основном без учета эксплуатации гидравлических устройств для срыва вакуума (ГУСВ) нового типа с интенсификаторами процесса срыва вакуума, которые позволяют расширить диапазон применения средств автоматизации.

При оценке работы крупной НС при неустановившихся неблагоприятных режимах можно использовать формулу для расчета готовности объекта:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{б.о.}}}{T_{\text{б.о.}} + T_{\text{в}}},$$

где $T_{\text{б.о.}}$ – среднее время работы;

$T_{\text{в}}$ – время восстановления НС (или другого элемента).

Авторы предлагают посредством поэлементного анализа методов управления средств автоматизации технологическими режимами сопрягающих сооружений с переходными процессами указать «порог» эффективной эксплуатации НА.

Расчеты переходных режимов крупных НА проводятся для определения экстремальных значений параметров насоса в переходном режиме. Однако в настоящее время пока еще нет данных об обоснованном применении средств автоматизации, обеспечивающих надежную защиту как трубопроводов, так и сопрягающих сооружений НС, полностью ликвидирующих опасность возникновения серьезных аварий и простоев.

Эти работы приобретают особую важность ввиду оттока воды из напорных трубопроводов НС при их повреждении и течи в компенсаторах. Примером этого является НС «Пай», на которой проводились натурные испытания. НС оборудована тремя насосами Д 6300-80 с двигателями СДН 2-17-44-8 мощностью $N = 1600$ кВт и одним насосом Д 3200-75 с двигателем СДН 2-13-52-6 мощностью $N = 800$ кВт. Насосы подают воду в напорные трубопроводы $D_{\text{у}} = 1400$ мм и $D_{\text{у}} = 1200$ мм длиной соответственно 2400 и 2200 м.

При проектировании напорного бассейна необходимо предусматривать сброс избыточной воды, устройства для впуска воздуха в турбинные водоводы при их аварийном или эксплуатационном опорожнении и выпуска воздуха из водоводов при их наполнении водой. Необходимо для неустановившихся режимов обеспечивать поступление воды в напорные трубопроводы без засасывания воздуха и с минимальными потерями напора, должна быть исключена возможность образования вакуума в водоводах при любом режиме работы.

При проектировании средств автоматизации водоводов и сооружений следует выполнять гидравлические расчеты, а при необходимости проводить исследования для определения потерь напора по длине водовода, наивысшего и наименьшего уровня воды при неустановившемся движении воды.

Использование универсальных характеристик при исследованиях переходных процессов определяет переход от приведенных параметров в ходе расчета к действительным. Поэтому для анализа условий работы какой-либо конкретной НС графическими или численными методами рационально использовать рабочие характеристики насоса, т. е. пересчитанные на определенный диаметр и частоту вращения, тем более что, как будет показано ниже, существуют графические методы, облегчающие построение характеристик.

При переходе к рабочим характеристикам возможно как совмещение зависимостей $H = f(Q)$ и $M = f(Q)$, так и их раздельное использование. Для протекания переходных процессов большое значение имеет форма напорной характеристики.

Избыток в системе напора H по сравнению с требуемым вызывает увеличение кинетической энергии воды в системе, скорость движения и подача возрастают, что ведет к выпадению системы из равновесия. Недостаток в системе напора H по сравнению с требуемым $H_{\text{тр}}$ может быть компенсирован только за счет кинетической энергии воды в системе. Скорость движения воды при уменьшении H падает, подача уменьшается, в результате чего достигается равновесие системы. Следовательно, критерием устойчивой работы системы является знак разности напора ΔH при увеличении подачи.

Неустановившийся режим работы насоса недопустим по соображениям надежности работы НС, поэтому при выборе насоса нужно стремиться к тому, чтобы заданный режим работы насоса лежал в поле рекомендуемой работы насоса. В настоящее время в

НИИИВП уделяется большое внимание разработке надежности эксплуатации ирригационных НС и водосбережения на них для получения стабильных характеристик [2].

Натурные исследования переходных процессов средств автоматизации, возникающих при отключениях основных НА, установили влияние водовоздушных резервуаров, клапанов-вантузов на протекание переходных процессов.

Техническая эксплуатация средств автоматизации НС ирригационных систем, водоснабжения и водоотведения должна обеспечивать бесперебойную и надежную работу всех агрегатов при высоких технико-экономических показателях. Для рационального использования, обеспечения бесперебойной и экономичной работы НС необходим учет, контроль и анализ складывающихся условий работы, организация оптимальных режимов, обеспечивающих интенсификацию работы НА, внедрение прогрессивных методов управления переходными процессами и их регулирования на основе современных достижений науки и техники, максимальная автоматизация этих процессов, исключение потерь воды и непроизводительных затрат электроэнергии.

При изменении режимов работы НС в их элементах возникают гидромеханические переходные процессы. По частоте повторения и месту, занимаемому в рабочем процессе станции, их можно разделить на основные и особые. Основные переходные процессы: «нормальный» пуск НА, зарядка и разрядка сифонного водовыпуска или открытие и закрытие затвора, изменение подачи насоса с помощью разворота лопастей рабочего колеса или изменение частоты вращения агрегата, «нормальная» остановка агрегата – являются необходимой частью рабочего процесса станции и повторяются каждый раз при изменении режима ее работы [3].

К особым переходным процессам относятся работа насоса в неустойчивой зоне характеристики, в так называемом режиме «седла», или «помпаж»; «потеря привода» – отключение двигателя насоса от сети без отключения напорного водовода от верхнего бьефа; пуск насоса при закрытом клапане срыва вакуума на сифонном водовыпуске. Указанные режимы не являются обязательными для эксплуатации НС, однако они встречаются вследствие гидравлического удара при пуске насоса, ухудшения действительных характеристик насосов против расчетных, вследствие неисправностей, возникающих в энергосистеме и непосредственно на НС, или ошибок эксплуатационного персонала и, наконец, из-за недоучета возможных колебаний нижнего бьефа НС.

Пульсации давления в проточном тракте, нагрузки, воспринимаемые гидромеханическим оборудованием и элементами конструкций НС, напряжения и вибрации, возникающие в них, при переходных процессах значительно превосходят их средние значения в рабочих режимах и, несмотря на кратковременность их приложения, являются определяющими при расчете средств автоматики НС.

Нормальная остановка НА осуществляется отключением агрегата от сети с отделением напорного трубопровода от верхнего бьефа. В НС с сифонными водовыпусками или затворами на конце индивидуальных водоводов это отделение может производиться заблаговременно, одновременно с отключением насоса или с некоторой задержкой. Вода из напорного водовода стекает в процессе остановки в нижний бьеф. Отсутствие запорных устройств у насоса делает режим остановки наиболее неблагоприятным из нормальных переходных режимов работы агрегата, поскольку опорожнение трубопровода вызывает вращение НА в обратную сторону, сопровождающееся значительными динамическими нагрузками.

В НС с длинными полого лежащими водоводами их опорожнение может затянуться настолько, что будет представлять опасность для прочности насоса. В этих компоновках для облегчения остановки предусматривают арматуру (обратные клапаны, дисковые затворы), предотвращающую слив воды из трубопровода. Обратные клапаны закрываются при смене направления движения воды, и закрытие их сопровождается гидравлическим ударом, требующим увеличения прочности напорного трубопровода.

В общем случае в процессе останова агрегат может проходить следующие этапы:

- повышение напора при срыве вакуума в сифоне или прикрытии затвора;
- отключение двигателя от сети и снижение частоты вращения в тормозном насосном режиме до момента смены направления движения воды;
- режим противотока, в котором при насосном направлении вращения насоса поток движется из напорной на всасывающую сторону насоса. Этот режим заканчивается остановкой насоса и реверсом направления его вращения;
- турбинный режим, в котором насос раскручивается в обратную сторону до наступления соответствия частоты вращения напору;
- разгонный режим;
- тормозной турбинный режим, заканчивающийся при стекании воды из напорного трубопровода или закрытии обратного клапана;
- обратный насосный режим, в котором происходит подача воды в нижний бьеф и полная остановка насоса.

Управление потоком при пуске и остановке насоса наиболее целесообразно осуществлять гидравлическими устройствами на водовыпусках.

При заполнении напорного трубопровода водой основная масса воздуха обычно выходит через основной элемент ГУСВ – воздуховодную трубу (ВТ). После затопления ее входного сечения оставшийся воздух в сифонном водовыпуске выбрасывается через клапаны-вантузы, при пуске насоса давлением воздуха преодолевается вес тарели клапана со штоком и они, поднимаясь до упора, обеспечивают свободный выход воздуха. После прохождения волны положительного давления тарель под действием собственного веса возвращается в исходное положение. Этот принцип использован в дальнейшем во всех новых конструкциях ГУСВ. Однако необходимо решить задачу увеличения диапазона срабатывания при минимизации разгонной частоты вращения и пульсации давлений.

Максимального значения пульсации давления в проточном тракте насосов типа ОПВ достигают у верхних кромок лопастей рабочего колеса в разгонном режиме вследствие ударного обтекания лопастей. Величина их пропорциональна разгонной частоте вращения, т. е. увеличивается с уменьшением угла установки лопастей.

Наибольший интерес из устройств для срыва вакуума в сифоне представляет аэрационная или ВТ. Вертикально расположенная труба устанавливается на восходящей линии сифона. Площадь поперечного сечения ее принимается равной 3–8 % от площади сечения трубопровода.

Для условий крупных НС допустимые колебания уровней воды в верхнем бьефе, когда при прямом токе воды не происходит подсоса воздуха в сифон через ВТ, составляют обычно до 1,5 м и уточняются гидравлическим расчетом.

В результате аналитических расчетов процессов, связанных с гидравлическим ударом в водовыпускных сооружениях, которые были выполнены для Джалалабадской (в Афганистане), Каршинской (КМК) и Саяцкой НС (АБМК), была обоснована принципиально новая конструкция ГУСВ на восходящей ветви сифона. Все последующие конструкции ГУСВ использовали принцип поступления воздуха под действием атмосферного давления в проточную часть сифона при разрыве сплошности потока в момент останова потока на гребне сифона. Схема управления потоком за счет установки аэрационной трубы на восходящей части сифона на НС представлена на рисунке 1.

Из нижнего бьефа 1 насос 2 подает воду по напорному трубопроводу 3 в машинный канал 7. Сопряжение напорного трубопровода с машинным каналом выполнено с помощью сифона 6. Аэрационная труба 4 установлена в точке М на восходящей части сифона 5. А – В – линия горизонта воды в верхнем бьефе.

В целях повышения надежности эксплуатации НС КМК внедрено совершенное ГУСВ, отличающееся тем, что конструкция ГУСВ обеспечивает возможность умень-

шить напор насоса. Экономическим следствием этого является снижение эксплуатационных затрат НС, экономия электрической энергии.

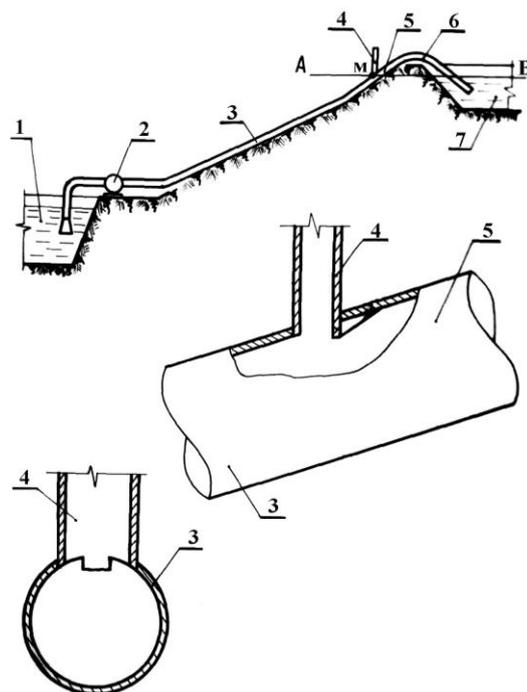


Рисунок 1 – Схема установки аэрационной трубы

Значение экономического эффекта от использования ГУСВ может уточняться в зависимости от стоимости электроэнергии и объема использования устройств.

Выводы

1 Эффективность внедрения узлов автоматизации, влияющих на работу агрегата, рассмотрена на конкретных объектах Узбекистана. В результате проведенных исследований обоснована необходимость совершенствования эксплуатации сифонных водовыпусков НС с устройствами срыва вакуума на основе научного анализа современного состояния их эксплуатации. ГУСВ с новыми элементами позволяют расширить диапазон их применения на сифонных водовыпусках НС.

2 Новые конструкции ГУСВ испытаны на модели НС. В результате аналитических расчетов обоснована новая конструкция ГУСВ на восходящей ветви сифона. Для управления структурой потока при неустановившихся процессах предложено установить по длине водовыпуска специальные интенсификаторы, позволяющие увеличить диапазон работы ГУСВ на 10–12 %. Внедрение их на крупных НС республики и полученный положительный эффект доказывают перспективность научной и конструктивной разработки.

Список использованных источников

1 Шомайрамов, М. А. Конструкции сифонных водовыпусков с устройствами срыва вакуума / М. А. Шомайрамов // Сельское хозяйство Узбекистана. – 2008. – № 3. – С. 25–26.

2 Гловацкий, О. Я. Новые методы повышения надежности эксплуатации сифонных водовыпусков насосных станций с гидравлическими устройствами для срыва вакуума / О. Я. Гловацкий, М. А. Шомайрамов // Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель: сб. материалов юбилейн. междунар. конф. / ВНИГИМ им. А. Н. Костякова. – М., 2014. – С. 238–243.

3 Rustamov, Sh. R. Constructive peculiarities of modernized centrifugal pump / Sh. R. Rustamov, N. R. Nasirova // European science review. – 2018. – № 3–4. – P. 278–280.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.6.006

В. В. Слабунов, О. В. Воеводин

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТИПОВОЙ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

Цель исследования – анализ нормативно-правовой базы применения типовой проектной документации для автоматизированного проектирования мелиоративных систем и сооружений. Объект исследования – нормативно-правовая база в области проектирования сооружений. Предмет исследования – типовая проектная документация на мелиоративные объекты. В результате исследования выявлены особенности применения типовой проектной документации, рекомендованы нормативные документы в области стандартизации для применения при автоматизации проектирования мелиоративных систем.

Ключевые слова: автоматизация, нормативно-правовая база, проект, типовой проект, проектирование, документация.

V. V. Slabunov, O. V. Voevodin

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ANALYSIS OF LEGAL AND REGULATORY BASE OF STANDARD PROJECT DOCUMENTATION APPLICATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN OF RECLAMATION SYSTEMS AND STRUCTURES

The purpose of the study is to analyze the legal and regulatory framework of the standard project documentation use for computer-aided design of reclamation systems and structures. The object of the study is the regulatory framework in the area of structural design. The subject of the study is a standard project documentation for reclamation objects. As a result of the study the peculiarities of the standard project documentation were identified, regulatory documents in the field of standardization were recommended for use in the automation of the design of land reclamation systems.

Key words: automation, legal and regulatory framework, project, standard project, design, documentation.

Осуществление государственной политики в области мелиорации требует эффективной организации, в частности при проектировании (реконструкции) мелиоративных систем и сооружений, являющихся одним из основных элементов обеспечения получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур. На данный момент более 50 % мелиоративных систем находятся на технически низком уровне вследствие продолжительного недофинансирования отрасли и несвоевременного проведения мероприятий по модернизации. При реконструкции (модернизации), а также строительстве новых мелиоративных систем и сооружений необходимо использовать современ-

ные (передовые) технологии и конструктивные решения, обеспечивающие соблюдение действующих норм и требований по энергоэффективности и экологической безопасности. Необходимо отметить, что накоплен большой опыт проектирования мелиоративных систем, отображенный в типовых конструктивных решениях. Осуществить выбор в соответствии с современными требованиями возможно с помощью «интеллектуальных» автоматизированных систем проектирования на стадиях предпроектных проработок и проектирования мелиоративных систем и сооружений. Однако необходимо «разобраться», что является типовой проектной документацией и в каком правовом поле она находится на сегодняшний день.

Необходимо начать с того, что до 2002 г. регламентация положений по типовой проектной документации была изложена в СН 227-82 [1], а уже с начала 2002 г. требования данного нормативного документа были преобразованы в нормативный документ более высокого статуса – СНиП 11-03-2001 [2]. Так, данным СНиПом установлено, что к типовой проектной документации относятся типизированные и унифицированные конструктивные решения для многократного использования, они могут быть следующих видов [2]:

- типовые строительные конструкции, изделия и узлы (типовые серии) для многократного применения, т. е. серийного использования и производства в строительных организациях (предприятиях);
- типовые проекты сооружений с учетом привязки к конкретным условиям строительства или для разработки проектов индивидуального строительства;
- типовые материалы, используемые проектировщиками как методическое обеспечение при проектировании сооружений.

После присвоения проектной документации статуса типовой федеральным органом по архитектуре и градостроительству она включалась в Фонд типовой проектной документации. Необходимо отметить, что структура Фонда типовой проектной документации была аналогична структуре Строительного каталога, утвержденного Постановлением Госстроя России от 30.08.2000 № 84 [3]. В свою очередь типовые материалы и серии, используемые при проектировании, включались в строительный каталог СК-3, а непосредственно типовые проекты сооружений (конструкций) – в каталог СК-2.

С введением в действие Градостроительного кодекса РФ [4], а также положений Приказа Минрегиона РФ от 09.07.2007 № 62 [5] «... типовая проектная документация – применяемая повторно проектная документация объекта капитального строительства в составе следующих разделов (включая все чертежи, схемы и т. д.): архитектурные решения; конструктивные и объемно-планировочные решения, за исключением решений по фундаментам; сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений, за исключением решений по внешним инженерным сетям, а также применяемая типовая проектная документация объекта капитального строительства, в которую внесены изменения, не затрагивающие характеристики конструкций, элементов конструктивных систем объекта капитального строительства, влияющих на безотказность их работы и способность сохранять эксплуатационные качества объекта капитального строительства в течение срока службы такого объекта (далее – модифицированная типовая проектная документация, не затрагивающая конструктивных и других характеристик надежности и безопасности объектов капитального строительства), разрабатывается в соответствии со статьей 48 Градостроительного кодекса Российской Федерации с учетом особенностей, установленных настоящим Положением». В соответствии с вышеизложенным к данной проектной документации относится только документация на сооружение в целом и не относится документация на отдельные

ее элементы. Однако существование данного определения типовой проектной документации вскоре было отменено Приказом Минрегиона России от 31.01.2011 № 27 [6].

В результате внесенных поправок в Постановление Правительства РФ от 05.03.2007 № 145 [7] к «...типовой проектной документации или проектной документации повторного применения относится проектная документация в течение семи лет с момента получения первичного положительного заключения государственной экспертизы до даты подачи заявления о проведении государственной экспертизы результатов инженерных изысканий, «нулевого цикла» и сетей инженерно-технического обеспечения». В развитие положений о применении и использовании типовой проектной документации было утверждено Постановление Правительства РФ от 12.11.2016 № 1159 [8].

На данный момент, в соответствии с изменениями, внесенными Федеральным законом № 368-ФЗ [9], выделяются такие виды проектной документации: «...проектная документация повторного использования, экономически эффективная проектная документация повторного использования и модифицированная проектная документация».

В соответствии с данными изменениями к проектной документации повторного использования относится [9] «...проектная документация объекта капитального строительства, которая получила положительное заключение экспертизы проектной документации и может быть использована при подготовке проектной документации для строительства аналогичного по назначению и проектной мощности объекта капитального строительства».

В свою очередь к модифицированной проектной документации относится [9] «...проектная документация, в которую после получения положительного заключения экспертизы проектной документации внесены изменения, не затрагивающие конструктивных и других характеристик безопасности объекта капитального строительства».

Существенным плюсом в данном случае является то, что проведение экспертизы разделов модифицированной проектной документации и проектной документации повторного использования не требуется, при условии что в данные разделы не были внесены изменения.

Одним из важных изменений, внесенных в п. 48.2 Градостроительного кодекса РФ, является то, что для бюджетных объектов, а в нашем случае ими являются все государственные мелиоративные системы и сооружения, при проектировании установлено обязательное применение экономически эффективной проектной документации (в случае наличия таковых).

Далее встает вопрос, каким образом возможно использовать типовую проектную документацию на мелиоративные сооружения и каков ее правовой статус.

В соответствии с положениями Постановления Правительства РФ от 27.09.2011 № 791 [10] и Приказа Минрегиона России от 29.03.2013 № 106 [11] формируется реестр типовой проектной документации, имеющий «...лучшие показатели соотношения стоимости строительства объекта капитального строительства, ... ресурсопотребления на единицу мощности». Необходимо также отметить тот факт, что на данный момент все проекты, согласно законодательству РФ, являются авторскими и требуют заключения соответствующего соглашения об использовании с правообладателем проекта. Также в связи с разработкой технических регламентов, в частности № 384-ФЗ [12], внесение изменений в доказательную нормативную базу требований этого регламента (перевод СНиПов в СП, разработка и внесение изменений в действующие СП) потребует согласования выполнения требований в имеющихся типовых проектах конструктивных и технологических решений. Немаловажным фактором при применении типовой проектной документации является ее оформление, так как с момента ее принятия требования изменялись и на данный момент они должны соответствовать ГОСТ Р 21.1101-

2013 [13], хотя данный стандарт не является обязательным, но применяется на добровольной основе для соблюдения требований Федерального закона № 384-ФЗ.

Данные положения могут существенно ограничить применение имеющейся типовой проектной документации на мелиоративные сооружения, так как разработка их в основном была проведена более двадцати лет назад.

Далее рассмотрим, каким образом возможно применение имеющейся типовой проектной документации для проектирования мелиоративных систем и сооружений.

Так, в соответствии с Приказом Минстроя России от 29.12.2014 № 926/пр [14] предполагается поэтапный ввод в действие проектной документации, основанной на применении BIM-технологий, т. е. проектная документация может выполняться на основе информационного моделирования сооружения (конструкции) и подлежит экспертизе наравне с другой проектной документацией.

Подход к проектированию системы (сооружения) через ее информационное моделирование предполагает прежде всего анализ и выбор в процессе проектирования всей технологической, архитектурно-конструкторской, экономической и иной информации о системе (сооружении) и рассматривает ее как единый объект. В свою очередь, информационной базой (базой данных) могут служить имеющиеся типовые проекты сооружений, имеющие определенную классификацию по назначению и показателям (геометрические размеры, пропускная способность и т. п.). В рамках плана внедрения технологий информационного моделирования, утвержденного Приказом Минстроя России № 151/пр [15], разработаны документы в области стандартизации, основанные на соответствующих стандартах ISO по BIM-технологии.

Данная область представлена 15 национальными стандартами (определяющими: термины и определения; принципы разработки требований к результатам работ по информационному моделированию зданий и сооружений; методологию и формат создания интегрированных ссылок на процессы и данные, необходимые при информационном моделировании; требования и подходы к организации библиотек электронных компонентов с учетом требований комплексного информационного моделирования; структуру и содержание баз данных, а также унификацию их использования; основу организации представления проектной информации; основу для разработки классификационных систем; спецификации модели классификации; требования к эксплуатационной документации; описание данных для математического моделирования процессов жизненного цикла; описание архитектуры; процессы управления жизненным циклом систем) и дополняющими их требованиями положениями трех сводов правил, регламентирующими: формирование информационной модели сооружения; правила взаимодействия моделей сооружений и алгоритмов расчета; правила информационного представления структурных элементов модели.

Необходимо отметить, что данные нормативные документы введены в действие относительно недавно, в течение последних лет, и еще нет достаточной практики их использования.

Необходимо также отметить, какие изменения в области типового проектирования происходят в настоящее время и ожидаются в будущем. Так, в соответствии с положениями, отраженными в Приказе Минстроя России от 13.03.2015 № 170/пр [16], должна быть создана новая система типового проектирования, которая в свою очередь потребует внесения изменений в действующую нормативную документацию и разработки новых нормативно-правовых актов и документов в области стандартизации. Так, на данный момент проходит процесс публичного обсуждения проекта СП «Типовая проектная документация» [17], который должен регламентировать все процессы организации (от разработки до распространения) типовой проектной документации.

Вывод. На основе вышеприведенного отметим, что данное направление в проектировании – BIM-технологии – в нашей стране является «молодым» (разработаны нормативные документы в данной области в 2016–2017 гг.) и в большей степени ориентировано на капитальные сооружения, а так как мелиоративные системы в основном представлены линейными сооружениями, которые имеют значительные отличия на всех стадиях жизненного цикла и не позволяют применять в большинстве случаев подходы, ориентированные на капитальные сооружения, то это потребует создания практически с нуля методических подходов к созданию таких систем. Использование «напрямую» уже имеющейся типовой документации вызовет трудности, так как необходимо ее приведение в соответствие современным нормативным требованиям, а также проведение ее оцифровки и утверждение в статусе «типовой».

Список использованных источников

1 Инструкция по типовому проектированию: СН 227-82: введ. в действие с 01.06.82; отменены Госстроем России 29.11.01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

2 Типовая проектная документация: СНИП 11-03-2001: введ. в действие с 03.11.01; отменены Госстроем России 02.09.02 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

3 О функционировании системы Строительного каталога: Постановление Государственного комитета Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 30 августа 2000 г. № 84: по состоянию на 17 декабря 2003 г. // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

4 Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ: по состоянию на 31 декабря 2017 г. // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

5 Об утверждении критериев отнесения проектной документации к типовой проектной документации, а также к модифицированной типовой проектной документации, не затрагивающей конструктивных и других характеристик надежности и безопасности объектов капитального строительства: Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 9 июля 2007 г. № 62 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

6 О признании утратившим силу приказа Министерства регионального развития Российской Федерации от 9 июля 2007 года № 62 «Об утверждении критериев отнесения проектной документации к типовой проектной документации, а также к модифицированной типовой проектной документации, не затрагивающей конструктивных и других характеристик надежности и безопасности объектов капитального строительства»: Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 31 января 2011 г. № 27 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

7 О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий: Постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2007 г. № 145 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

8 О критериях экономической эффективности проектной документации: Постановление Правительства Российской Федерации от 12 ноября 2016 г. № 1159 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

9 О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 3 июля 2016 г. № 368-ФЗ: по состоянию на 3 августа 2018 г. //

ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

10 О формировании реестра типовой проектной документации и внесении изменений в некоторые постановления Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 27 сентября 2011 г. № 791 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

11 Об утверждении Правил формирования и ведения реестра типовой проектной документации, а также состава информации о проектной документации, которая подлежит внесению в реестр, и формы ее представления: Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 29 марта 2013 г. № 106 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

12 Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. № 1047-р: по состоянию на 26 декабря 2014 г. // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

13 ГОСТ 21.001-2013. Система проектной документации для строительства (СПДС). Общие положения. – Введ. 2015-01-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

14 Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства: Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29 декабря 2014 г. № 926/пр // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

15 О внесении изменений в План поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства, утвержденный приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 926/пр от 29 декабря 2014 года: Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 04 марта 2015 г. № 151/пр // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

16 Об утверждении Плана формирования системы типового проектирования в сфере строительства: Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 13 марта 2015 г. № 170/пр // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

17 Проект СП «Типовая проектная документация»: разработчик Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

УДК 626.823.6:626.82

А. Е. Шепелев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПУНКТОВ ВОДОУЧЕТА НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ МИНСЕЛЬХОЗА РОССИИ

В статье проведен анализ результатов мониторинга пунктов водоучета на оросительных и осушительных системах Минсельхоза России по 60 субъектам Российской Федерации. Определены обязательные требования, предъявляемые к пунктам водоучета с целью использования их на мелиоративных системах, которые позволяют

обеспечить рациональное использование оросительных систем, соблюдение природоохранных мероприятий, улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель. Установлены субъекты Российской Федерации, которые нуждаются в строительстве пунктов водоучета. Определено необходимое количество пунктов водоучета, а также потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России по условиям применения.

Ключевые слова: пункт водоучета, потребность, мелиоративная система, открытая сеть, закрытая сеть, субъект Российской Федерации.

A. E. Shepelev

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

NEEDS ANALYSIS OF WATER ACCOUNTING STATIONS CONSTRUCTION ON RECLAMATION SYSTEMS OF RF MINISTRY OF AGRICULTURE

The results of monitoring water accounting points in irrigation and drainage systems of the Ministry of Agriculture of Russia for 60 subjects of the Russian Federation are analyzed. The compulsory requirements for water accounting stations with the aim of their use on reclamation systems which will allow to ensure rational use of irrigation systems, observance of nature conservation measures, improvement of reclamation state of irrigated lands. are determined. The subjects of the Russian Federation which require the construction of water accounting points were determined. The necessary number of water accounting points, as well as the need for construction water accounting stations on reclamation systems of Ministry of Agriculture of Russia are defined in terms of application conditions.

Key words: water accounting point, need, land, reclamation system, open network, closed network, subject of the Russian Federation.

Обеспечение надежного и точного водоучета – это обязательное условие рационального использования оросительных систем, соблюдения природоохранных мероприятий, улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель [1–4].

Как показывают результаты мониторинга текущего состояния пунктов водоучета на оросительных и осушительных системах Минсельхоза России, уровень технического состояния мелиоративных систем и объектов водоснабжения остается низким [2, 5].

Большинство пунктов водоучета считаются таковыми лишь номинально, так как находятся в неудовлетворительном состоянии. Большая часть построенных ранее пунктов водоучета на оросительных и осушительных системах деформированы или разрушены и не отвечают требованиям своего назначения как средство измерения расхода воды [5, 6].

Анализ результатов мониторинга пунктов водоучета на оросительных и осушительных системах Минсельхоза России показывает, что из 60 субъектов РФ только семь нуждаются в строительстве пунктов водоучета (таблица 1). Общая потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах составляет 186 единиц (рисунок 1).

Таблица 1 – Потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России

Наименование субъекта Российской Федерации	Количество пунктов водоучета на открытой сети	Количество пунктов водоучета на закрытой сети
1	2	3
Астраханская область	20	15
Волгоградская область	14	28

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Забайкальский край	10	0
Республика Калмыкия	5	5
Краснодарский край	66	0
Курганская область	0	2
Чеченская Республика	21	0
Итого	136	50

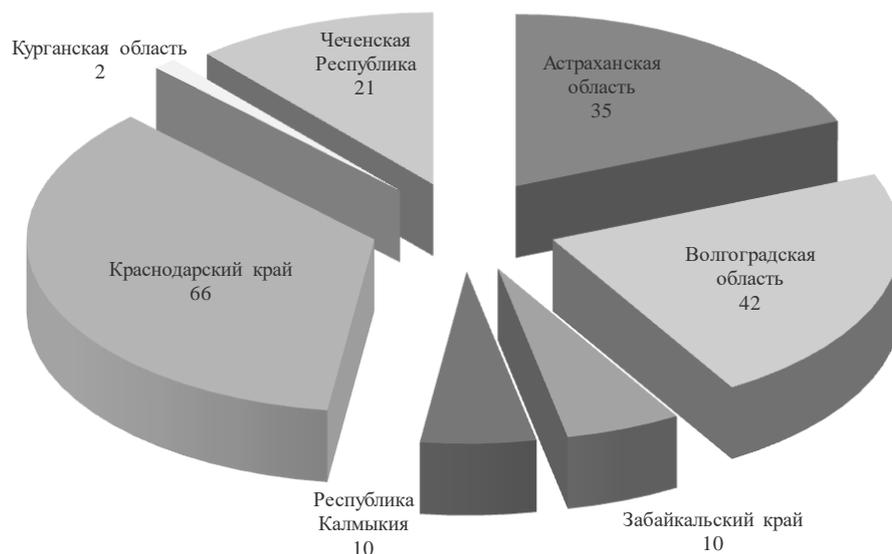


Рисунок 1 – Общая потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России

Из данных об общей потребности в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России видно, что наиболее нуждающимся (т. е. более 90 %) в строительстве пунктов водоучета является юг страны (рисунок 2), а именно Астраханская, Волгоградская область, Краснодарский край и т. д.

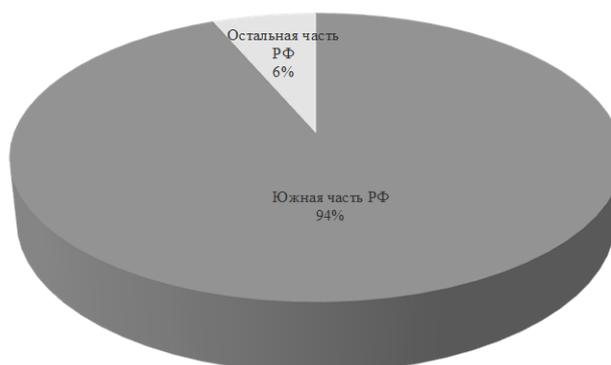


Рисунок 2 – Потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России по субъектам Российской Федерации

Также сведения о мониторинге мелиоративных систем показывают, что пункты водоучета разделены по условиям применения:

- для открытой сети;
- для закрытой сети.

Общая потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах с открытой сетью, по данным 2018 г., составляет 136 единиц, с закрытой се-

тью – 50 единиц. Анализ показывает, что потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах с открытой сетью более существенна и составляет около 2/3 от общей необходимости в строительстве пунктов водоучета (рисунок 3).

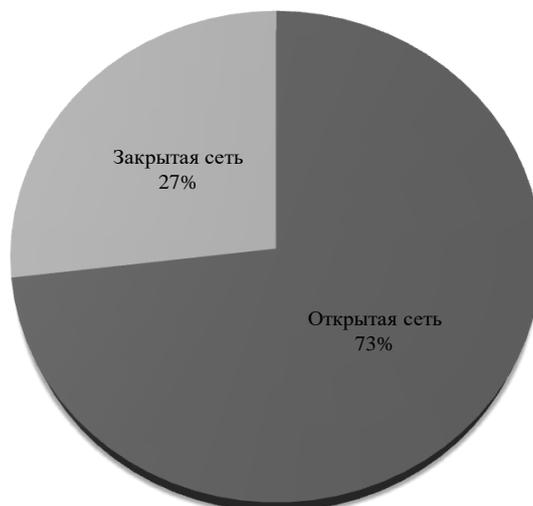


Рисунок 3 – Соотношение потребности в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России

Потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России по субъектам Российской Федерации и условиям применения представлена на рисунке 4.

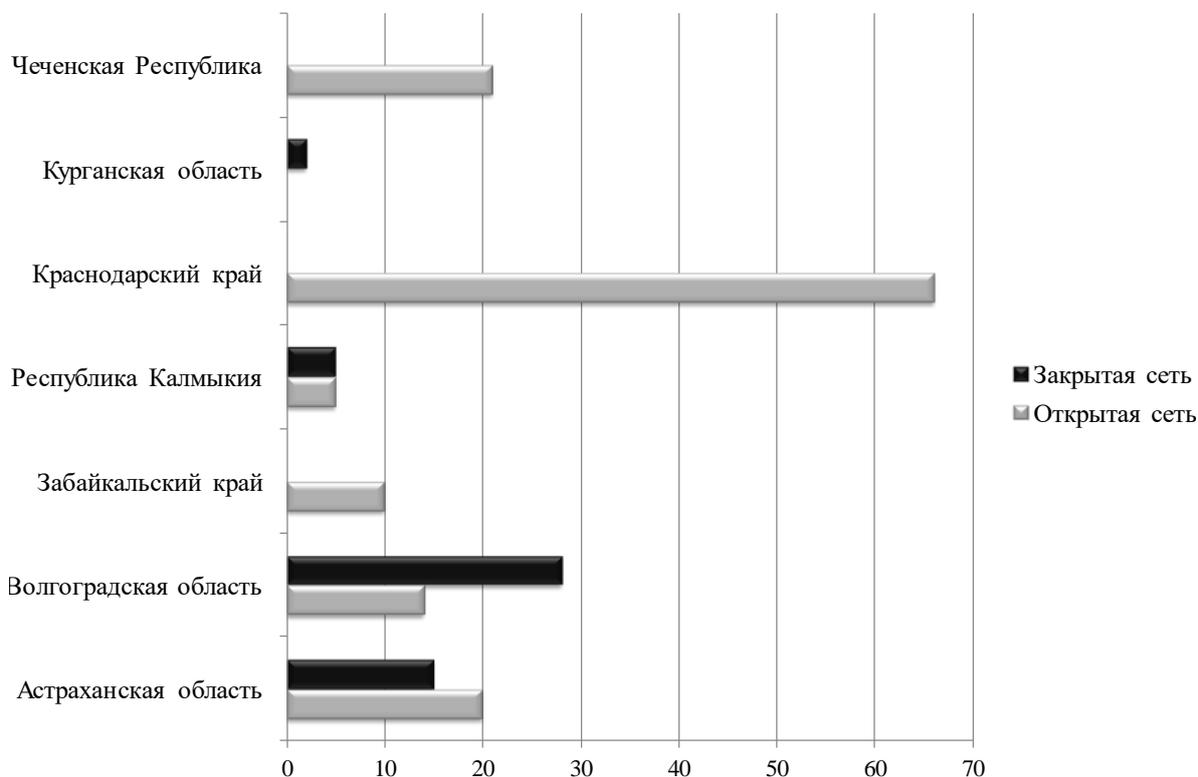


Рисунок 4 – Потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России по субъектам Российской Федерации и условиям применения

Анализ мониторинга пунктов водоучета на мелиоративных системах Минсельхоза России показывает следующее:

- из 60 субъектов Российской Федерации только семь нуждаются в строительстве пунктов водоучета;
- общая потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах составляет 186 единиц;
- наиболее нуждающимися являются южные субъекты Российской Федерации, а именно Астраханская, Волгоградская область, Краснодарский край и т. д.;
- потребность в строительстве пунктов водоучета на мелиоративных системах с открытой сетью более существенна (по сравнению с закрытой сетью) и составляет около 2/3 от общей необходимости в строительстве пунктов водоучета.

Список использованных источников

- 1 Системные принципы водоучета и управления водораспределением на оросительной сети / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 235 с.
- 2 Филиппов, Е. Г. Технические требования к пунктам водоучета / Е. Г. Филиппов // Принципы рационального водообеспечения агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ, ВНИИОЗ. – М., 1997. – С. 120–137.
- 3 О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ: по состоянию на 5 апреля 2016 г. // Техэксперт 2018 [Электронный ресурс]. – ИС «Техэксперт», 2018.
- 4 Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ: по состоянию на 3 августа 2018 г. // Техэксперт 2018 [Электронный ресурс]. – ИС «Техэксперт», 2018.
- 5 Чураев А. А. К проблеме оснащения мелиоративных систем средствами водоучета / А. А. Чураев, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2010. – Вып. 44. – С. 59–63.
- 6 Вайнберг, М. В. Приборное обеспечение водоучета для напорных трубопроводов оросительных систем / М. В. Вайнберг // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 50–56.

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

УДК 631.6:631.1

С. А. Манжина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ВНУТРИ АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПАРКОВ

Целью исследования являлось изучение возможности применения методов математического моделирования для составления ресурсного баланса в процессе деятельности сельхозтоваропроизводителей в составе агромелиоративного парка. Предложенная модель включает технологическую матрицу распределения ресурсов по производственным участкам агромелиоративного парка, с помощью которой можно осуществлять оптимизацию эксплуатационных затрат. Используя описанную модель, с той или иной степенью точности можно решить ряд типичных оптимизационных задач, возникающих в ходе реализации практически каждого сельскохозяйственного производства. На основе предложенной модели можно создать компьютерную программу системы поддержки принятия решения (СППР).

Ключевые слова: агромелиоративный парк, производственный участок, производственный ресурс, модель распределения ресурсов.

S. A. Manzhina

Russian Scientific Research Institute of Land Reclamation Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ON FORMATION OF OPTIMIZATION PROBLEMS OF THE RESOURCE ALLOCATION INSIDE AGRO-RECLAMATION PARKS

The aim of the research was to study the possibility of applying the mathematical modeling methods for the resource balance compilation in the course of agricultural producers' activity in the agro reclamation park. The proposed model includes a technological matrix of resource allocation in the production areas of the agro reclamation park, with which it is possible to carry out optimization of operating costs. Using the described model you can solve with different degrees of accuracy a number of typical optimization problems arising in the implementation of almost every agricultural production. On the basis of the proposed model it is possible to create a computer program for the decision support system (DSS).

Key words: agro reclamation park, production area, production resource, resource allocation model.

Введение. В аграрной сфере основной площадкой для развития малого бизнеса и реализации стартапов может стать агромелиоративный парк, организация которого может быть осуществлена с использованием передовых практик реализации промышленных, промышленных и аграрных (агротехно- и агропромышленных) парков, накопленных в нашей стране и за рубежом. Предложенный термин «агромелиоративные парки» предполагает наличие в его составе мелиоративных систем и аграрного производства, базирующегося на этих системах.

Принципы создания агромелиоративных парков должны включать в себя следующие направления:

- территориальная ориентация при определении потребностей с учетом имеющихся лимитов ресурсов, используемых в производственной деятельности агромелиоративных парков;
- подчинение частных критериев оптимальности отдельных технико-экономических задач производства в рамках агромелиоративного парка общему критерию оптимальности (минимизации производственных затрат при максимально возможном объеме товарной продукции) или их согласованность;
- максимально возможная ландшафтная и экологическая органичность планируемого агромелиоративного парка, и в частности оросительных систем;
- социально-экономическая гибкость планируемого производства в соответствии с тенденциями соотношения спроса и предложения на рынках сбыта товаров и услуг;
- оптимизация соотношения цены и качества производимого товара, поставляемых услуг.

Для достижения соблюдения обозначенных принципов в процессе производственной деятельности исследованы возможности применения методов математического моделирования, которые в дальнейшем будут положены в основу программного продукта – системы поддержки принятия решения (СППР) по оптимизации ресурсных и финансовых потоков на производственной площадке агромелиоративных парков.

Материалы и методы. Для обоснования условий формирования агромелиоративных парков был использован системный и ситуационный подход. Оптимизация ресурсозатрат описана с помощью методов математического и имитационного моделирования. Использовались труды российских ученых [1–8] и методические рекомендации, согласованные с Минэкономразвития России [9].

Результаты и обсуждения. Реализация проектов агромелиоративных парков включает в себя три основных этапа: прединвестиционный этап, этап инвестирования и этап эксплуатации или функционирования (производственной деятельности). На рисунке 1 приведена схема этапов подготовки инвестиционных проектов агромелиоративного парка.



Рисунок 1 – Этапы подготовки инвестиционных проектов агромелиоративного парка

В основе создания агромелиоративных парков должна лежать идея увеличения эффективности агропроизводства региона, что может быть достигнуто оптимизацией производства по всем направлениям.

Для достижения намеченных целей создания агромелиоративного парка используется постановка задачи распределения ресурсов при условии, что суммарный объем ресурсов, имеющихся в наличии, ограничен. С учетом этого критерия необходимо добиться достижения минимума приведенных эквивалентных затрат при производстве и доставке ресурса.

Решение производится методом целенаправленного перебора. В данном случае решается дискретная и целочисленная задача математического программирования.

В целях постановки задачи сформулируем следующие критерии. В агромелиоративном парке имеются N ($j=1, 2, \dots, N$) сельскохозяйственных участков (исходя из того, что земля в сельском хозяйстве является средством производства, далее – производственных участков), т. е. множество участков $j=1, 2, \dots, N$. Для каждого участка в процессе выращивания сельскохозяйственных культур необходимо использовать определенные количества различных производственных ресурсов ($I_i, i=1, 2, \dots, M$), потребность в которых дифференцирована по участкам в зависимости от состояния почв, вида культур и технологии их возделывания. К производственным ресурсам относим оросительную воду, минеральные и органические удобрения, химические вещества для борьбы с вредителями, мелиоранты, семена, технические средства ведения хозяйственной деятельности, электроэнергию, рабочую силу (кадры), ГСМ и пр. При этом I_i – это дискретные числа, представляющие собой предельные объемы i -го ресурса, которые можно выделить на нужды производственной деятельности агромелиоративного парка.

Необходимое количество (потребность) i -го ресурса для каждого участка агромелиоративного парка выразим через показатель A_j . При этом общая потребность в ресурсе на всех производственных участках агромелиоративного парка будет A_0 .

Для описания распределения M производственных ресурсов по N участкам агромелиоративного парка задана технологическая матрица L , элементы l_{ij} которой означают эффективность применения I_i объема ресурса на j -м участке. Также будем считать, что

$$0 \leq l_{ij} \leq I_i.$$

Требуется так распределить заданные величины ресурса I_i на N участков, чтобы минимизировать эксплуатационные затраты при ограниченном суммарном объеме ресурса I_0 , который будет потреблен при производственной деятельности всего агромелиоративного парка.

Математически задача формулируется в следующем виде:

$$\sum_{j=1}^N l_{ij} \cdot \varepsilon_{ij} \rightarrow \min$$

при

$$\sum_{j=1}^N I_i \cdot \varepsilon_{ij} \leq I_0,$$

$$\sum_{j=1}^N A_j = A_0,$$

$$\sum_{i=1}^M \varepsilon_{ij} = 1 \text{ для } j=1, 2, \dots, N,$$

где ε_{ij} – целочисленная переменная, принимающая значение 1, если объем ресурса I_i направляется на j -й участок, и значение 0 – в противном случае.

Учитывая все сформулированные условия производства на участках агромелиоративного парка, составим технологическую матрицу (таблица 1).

Таблица 1 – Технологическая матрица распределения ресурсов внутри агромелиоративного парка по производственным участкам

i	j				Ресурсы I_i
	1	2	...	N	
1	l_{11}	l_{12}	...	l_{1N}	I_1
2	l_{21}	l_{22}	...	l_{2N}	I_2
3	l_{31}	l_{32}	...	l_{3N}	I_3
...
$m-1$	$l_{m-1,1}$	$l_{m-1,2}$...	$l_{m-1,N}$	I_{m-1}
M	$l_{M,1}$	$l_{M,2}$...	$l_{M,N}$	I_M
Потребности участков A_j	A_1	A_2	...	A_N	I_0 A_0

В конечном итоге общие затраты на функционирование агромелиоративного парка будут описываться в следующем виде:

$$L_{ij} = \frac{\left\{ \sum_{t=1}^{T_j} \left[\frac{\sum_{ij} (C_{ij}^t + S_{ij} + K_j^t)}{(1+r)^t} \right] \right\} \cdot (r \cdot (1+r)^{T_j})}{[(1+r)^{T_j} - 1]}, \quad (1)$$

где T_j – жизненный цикл j -го производственного участка агромелиоративного парка, лет;

C_{ij}^t – эксплуатационные затраты при потреблении i -го ресурса на j -м производственном участке агромелиоративного парка в t -период, руб./год;

S_{ij} – транспортные расходы на доставку i -го ресурса на j -й производственный участок агромелиоративного парка, руб.;

K_j^t – капитальные вложения в создание j -го производственного участка агромелиоративного парка в t -период, руб.;

r – норма дисконта.

В качестве примера использования предложенной модели рассмотрим потребление ресурсов в агромелиоративном парке применительно к условиям степной зоны Южного федерального округа. Примем четырехпольный севооборот с составом культур: 1) картофель, 2) капуста, 3) свекла, 4) горох. Размер полей примем равным 100 га. Перечень потребляемых ресурсов приведен в сокращенном варианте в соответствии с «Методическими рекомендациями по бухгалтерскому учету затрат и выхода продукции в растениеводстве», утвержденными Минсельхозом России 22.10.2008 [10]. Нормы полива культур взяты из укрупненных норм для года 75%-ной обеспеченности [11]. Нормы потребления ресурсов берем по среднестатистическим данным (определены автором). Стоимость ресурсов взята по среднестатистическим данным по состоянию на 2018-й расчетный год. Величина субсидий рассчитывалась в соответствии с Поста-

новлением Правительства Ростовской области от 25 мая 2017 г. № 377 [12]. Расчеты сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Моделирование распределения ресурсов на примере четырехпольного севооборота на 1 год

В руб.

<i>i</i>	<i>j</i>				Ресурсы	Пояснения по заполнению
	1	2	3	4		
1 Семена, т руб.	300 60000	0,015 3000	0,015 3000	2 9000	– 75000	Стоимость семян + транспортные затраты
2 Вода, м ³ руб.	505400 1010800	399000 798000	399000 798000	399000 798000	1702400 3404800	Стоимость услуг по подаче воды
3 Минеральные удобрения (НРК), норма внесения, т руб. Субсидии, руб. Итого, руб.	12 300000 75000 225000	18 360000 90000 270000	– – – –	– – – –	30 660000 165000 495000	Цена удобрений по видам, по каждому поставщику + затраты на внесение
4 Органические удобрения: - навоз, т руб. - солома - компост	4000 40000 – –	– – – –	– – – –	– – – –	4000 40000 – –	Цена удобрений (в случае их приобретения) или затраты на производство + на внесение
5 Фонд оплаты труда наемных работников, чел. руб.	2 240000	2 240000	2 240000	2 200000	8 920000	Перечень работ, трудозатраты
6 Капитальные затраты на оросительную систему, руб.	–	200000	300000	–	500000	
7 Прочее	50000	50000	50000	50000	200000	
Потребности участков A_j в ресурсах, руб. (без п. 6, 7)	1575800	1311000	1041000	1007000	4934800	

Общие затраты за 1 год, исходя из жизненного цикла участка в 10 лет, определим по формуле (1):

$$L_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T_j} \left[\frac{\sum_{ij} (4934800 + 200000 + 500000)}{(1+3,1)^t} \right] \cdot (3,1 \cdot (1+3,1)^{10})}{[(1+3,1)^{10} - 1]} = 426046168 \text{ руб.}$$

Предложенная модель позволяет получить картину ресурсного планирования как по отдельным производственным участкам, так и по агромелиоративному парку в целом. Используя описанную модель, с той или иной степенью точности можно ре-

шить следующие типичные задачи, возникающие в ходе реализации практически каждого сельскохозяйственного производства:

- оценка необходимого количества производственных ресурсов для выращивания конкретных сельскохозяйственных культур;
- подбор севооборота в соответствии с имеющимися лимитами производственных ресурсов;
- оптимизация сельскохозяйственного производства по условию минимума издержек – максимума товарной продукции;
- подбор ассортимента производства, исходя из наибольшей прибыльности товарной продукции при длительном использовании производственных участков;
- оперативное управление распределением ресурсов между производственными участками.

Выводы. В настоящее время в процессе принятия решения по формированию бюджета и направления деятельности сельскохозяйственного производства в рамках как одного фермерского хозяйства, сельскохозяйственной организации, так и планируемых к созданию агромелиоративных парков необходимо применять математический инструментарий, который может быть реализован при составлении программ поддержки принятия решения – СППР.

Список использованных источников

- 1 Липсиц, И. В. Инвестиционный проект, методы подготовки и анализа / И. В. Липсиц, В. В. Коссов. – М.: Бек, 1996. – 304 с.
- 2 Липсиц, И. В. Экономический анализ реальных инвестиций: учеб. пособие / И. В. Липсиц, В. В. Коссов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Экономистъ, 2004. – 347 с.
- 3 Фролова, Л. В. Формирование бизнес-модели предприятия: учебник / Л. В. Фролова, Е. С. Кравченко. – Киев: Центр учеб. лит., 2012. – 384 с.
- 4 Голуб, А. А. Экономика природопользования / А. А. Голуб, Е. Б. Струкова. – М.: Аспект Пресс, 1995. – 188 с.
- 5 Лапин, А. В. Экономический потенциал предприятия / А. В. Лапин. – Сумы: Унив. кн., 2004. – 309 с.
- 6 Манжина, С. А. Модель формирования производственной программы / С. А. Манжина // Математическое моделирование экономических и экологических систем: сб. науч. тр. IV Всерос. симп. / КИЭП. – Кисловодск, 2000. – С. 14–17.
- 7 Ревякин, А. М. Математические методы моделирования в экономике: учеб. пособие / А. М. Ревякин, И. В. Бардушкина. – М.: МИЭТ, 2013. – 328 с.
- 8 Матвеев, А. А. Модели и методы управления портфелями проектов / А. А. Матвеев, Д. А. Новиков, А. В. Цветков. – М.: ПМСОФТ, 2005. – 206 с.
- 9 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации сельскохозяйственных земель: РД-АПК 300.01.003-03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200038940>, 2018.
- 10 Методические рекомендации по бухгалтерскому учету затрат и выхода продукции в растениеводстве: утв. Минсельхозом РФ 22.10.08 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93409/, 2018.
- 11 Укрупненные нормы водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур Центрального, Приволжского, Уральского, Сибирского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов: стандарт организации СТО (проект, 2-я редакция) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mcx-dm.ru/sites/all/files/normi_vodopotrebnosti.pdf, 2018.
- 12 О порядке предоставления субсидий сельскохозяйственным товаропроизводителям (кроме граждан, ведущих личное подсобное хозяйство) на возмещение части затрат на текущий ремонт и планировку оросительных систем, расчистку коллекторно-

дренажной сети, приобретение и доставку фосфогипса, приобретение гербицидов, ленты капельного орошения, необходимого оборудования и специализированной техники для удаления сорной растительности на мелиоративных каналах (с изменениями на 21 июня 2018 г.): Постановление Правительства Ростовской области от 25 мая 2017 г. № 377 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/446580166>, 2018.

УДК 378:631.6

Л. Н. Медведева, В. П. Горобей

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

А. В. Медведев

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Волгоград, Российская Федерация

ИНТЕРАКТИВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, ИННОВАЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ИДЕЙ НА МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ ПАРКОВ

В исследовании представлены материалы, показывающие возможности мелиоративного парка в развитии инноваций, интеграции научных, образовательных и производственных структур с целью дальнейшего развития мелиоративной отрасли и агропромышленного комплекса. Показано, что разрабатываемые инновационные научно-технические решения и интерактивное образование в процессе планирования, прогнозирования и управления могут быть эффективными на уровне как виртуальных, так и обычных территориальных структур мелиоративных парков. Дальнейшие процессы интеграции образовательных учреждений, научно-исследовательских институтов, производственных организаций и сельскохозяйственных предприятий на площадке мелиоративного парка позволяют готовить и воспитывать специалистов, обладающих высокими профессиональными компетенциями.

Ключевые слова: мелиоративные парки, инновация, подготовка кадров, образование, компетенции, НИИ, наука, агропроизводство, интеграция.

L. N. Medvedeva, V. P. Gorobey

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

A. V. Medvedev

All-Russia Research Institute of Irrigative Agriculture, Volgograd, Russian Federation

INTERACTIVE EDUCATION, INNOVATIVE DESIGN AND COMMERCIALIZATION OF IDEAS ON THE MATERIAL AND TECHNICAL BASIS OF TERRITORIAL RECLAMATION PARKS

The materials showing the possibilities of the land reclamation park in the innovations development, the integration of scientific, educational and production structures with a view to further development of land reclamation industry and the agro-industrial complex are presented. It is shown in research that the developed innovative scientific and technical solutions and interactive education in the process of planning, forecasting and management can be effective both at the level of virtual and conventional territorial structures of land reclamation parks. Further processes of educational institutions, research institutes, production organizations and agricultural enterprises integration on the basis of land reclamation park allow the training and education of specialists with high professional competencies.

Key words: land reclamation parks, innovation, training, education, competences, research institutes, science, agroproduction, integration.

Введение. Дальнейшее повышение эффективности сельского хозяйства в России возможно в векторе поступательной модернизации, внедрения наиболее доступных технологий и дальнейшего развития мелиоративной отрасли. Сохранение и восстановление плодородия почв, строительство и реконструкция магистральных каналов, применение высокопроизводительной и эффективной техники, увеличение мелиорированных земель в рамках реализации государственной подпрограммы «Развитие мелиорации земель России на период до 2020 года» требуют поиска инновационных форм обновления экономической жизни на сельских территориях [1].

Мелиорация, как природопреобразующая отрасль, приводит к фундаментальным длительным изменениям на Земле, сохраняющимся десятки и даже сотни лет. Забота о водных и земельных ресурсах и их сбережении является не только делом отдельных пользователей или владельцев, но и общегосударственным делом, что находит свое отражение в нормативно-правовой базе: Законе РФ «О мелиорации земель», государственной подпрограмме «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения», проекте «Стратегия инновационного развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года», приказе «О Прогнозе научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года» [1–4]. Государственная власть берет на себя обязательство планировать, координировать и контролировать мелиоративные работы, осуществляемые как за счет государственных (местных, региональных и федеральных), так и за счет частных инвестиций.

Совокупность мероприятий по преобразованию агроландшафтов должна основываться не на оптимизации частных полезностей, что обычно и делается, а на доказательстве повышения общей полезности с учетом последних достижений науки и практики. В создании устойчивых агроландшафтов, появлении новых организационно-экономических форм хозяйствования и инфраструктурной поддержки в АПК ведущая роль должна отводиться научным организациям и университетам.

Материал и методы. Теоретико-методологической и информационной базой настоящего исследования послужили труды российских и зарубежных ученых: В. Н. Щедрина, А. В. Колганова, В. И. Стымковского, Т. И. Шишеловой, И. Г. Ушачева, А. П. Балашова, К. Mohrman, W. H. Ma, D. Baker [5–13], статистические и научные обзоры, ресурсы интернета. В изложении представлены организационно-экономические и методические подходы в обосновании развития сельских территорий, мелиорации, научно-кадрового потенциала. Применялись сравнительно-статистический, документальный, системно-структурный и типологический научные подходы.

Результаты и обсуждение. Важнейшими факторами повышения эффективности мелиорации земель, роста производительности труда, рационального использования водных ресурсов являются ускорение научно-технического прогресса, внедрение передового опыта.

Научно-технический прогресс привел к существенным изменениям в науке, технике и образовании, что обосновало и их дальнейшее сближение, направленность на повышение качества жизни человека. В современном мире все больше говорят не только об интеграции перечисленных компонентов, но и об их взаимном проникновении. Интеграция образования, науки и производства (агропроизводства) воплощается в органической связи этих составляющих, с опережающей ролью науки, которая задает следование вектору, обеспечивающему появление нового стандарта в профессиональном образовании – «модели руководителя XXI века» [11]. Процесс интеграции науки и производства (агропроизводства) захватывает все больше уровней образования и управления. Территориальные формы интеграции образования, науки и производства (агропроизводства) являются зримым воплощением взаимодействия важнейших сфер жизнедеятельности человеческого общества, в частности инфраструктуры поддержки молодежного предпринимательства.

В отечественной науке территориальное соединение научных институтов со значительным производственным потенциалом характеризуется если не синонимичными, то несущими сходный смысл понятиями – научно-производственный комплекс, научно-производственная площадка, научно-производственное объединение. В свою очередь данные объединения (наука и производство) являются стратегически важными звеньями в «Стратегии мелиорации – 2030» [5]. *Технополисы и технопарки* являются территориальными формами организации предпринимательских систем, имеющими в своей структуре образовательно-воспитательные организации, научные лаборатории, малые организации, генерирующие инновации и самореализацию молодых ученых и студентов. Образовательный компонент в технопарковых структурах является фактором, обеспечивающим научный интерес студентов, аспирантов, молодых преподавателей. В технопарках придание практического смысла образовательному процессу обеспечивается за счет применения стимулов материальной заинтересованности студентов и преподавателей, что позволяет получить эффект синергии в научно-исследовательской и коммерческой деятельности, а также произвести отбор направлений и профилей образования, наиболее востребованных в течение времени. На площадке технопарка постоянно осуществляется процесс отбора новых перспективных форм обучения, идет интеграция национальных и региональных образовательных программ, ведется поиск перспективных форм обучения [8, 13].

Как известно, процесс интеграции образования, научной и практической деятельности в зарубежных университетах наиболее активно складывался во второй половине XX – начале XXI в. Апробированные модели интеграции доказывали свою жизнеспособность и перспективность и только потом внедрялись в практику. Пилотные разработки студентов – участников технопарков, получившие положительные экспертные заключения, доходили до конвейерного потока, обеспечивая дальнейшее развитие НТП и получение многомиллионных прибылей корпорациями [8, 12].

Современный проект мелиоративной системы представляет собой решение, увязанное с различными направлениями НТП и народного хозяйства: конструктивные проекции систем, мелиоративно-водохозяйственное строительство, управление объектами мелиорации и их эксплуатация, вопросы охраны окружающей среды и природопользования, подготовка специалистов. Объединение разнонаправленных знаний, объектов и категорий с различными критериями оптимальности должно осуществляться на основе системного подхода и воплощаться в 3D-моделях. Новейшие достижения науки и техники должны вводиться в проект в следующей последовательности: научно-исследовательские работы – проект – строительство – экспертиза – эксплуатация. По результатам законченных исследований в проекты включаются конструкции, технологические схемы и процессы, прошедшие стадию опытно-конструкторских работ. В связи с этим для повышения инновационного потенциала, внедрения достижений НТП в мелиорацию целесообразно привлечение опытных специалистов и известных ученых, например из ФГБНУ «РосНИИПМ» [7].

Создание творческих коллективов для решения текущих задач в мелиорации и АПК может осуществляться на реальной материально-технической базе территориальных мелиоративных парков, которые могут выступать «лабораториями без стен» (Национальный центр научных исследований CNRS, Франция), привлекая ученых из разных регионов.

Один из возможных вариантов соединения науки и практики – это создание вокруг университетов исследовательских и производственных структур. Современные университеты – это крупные экономические субъекты, обладающие значительной самостоятельностью. Например, годовой бюджет Техасского университета (англ. The University of Texas at Austin) – 3 млрд долл., Стэнфордского (англ. Stanford University) – 1 млрд долл., Университета Метрополитен в Манчестере (англ. Manchester Metropolitan University) – 1 млрд долл. [13].

Для современных университетов характерна множественность источников финансирования: федеральный и местный бюджеты, гранты, благотворительные фонды, доходы от учебной, исследовательской и консультационной деятельности. Исследовательским ядром зарубежных университетов является бизнес-инкубатор, в котором молодые ученые после экспертизы проекта получают возможность льготной аренды помещений и оборудования, бесплатных консультаций по вопросам финансовой, информационной поддержки.

В США на площадке университетов функционируют около 300 агро-, технопарков. Основными направлениями деятельности агро-, технопарков в ЕС являются: разработка и оформление прав на идею (интеллектуальную собственность), принятие плана мероприятий по доведению инноваций до производства и маркетинга, предоставление помещений с оборудованием для проведения исследований. Технологический парк «София-Антиполис» (англ. *Sophia Antipolis*) во Франции организует обмен опытом с известными зарубежными корпорациями по развитию инноваций, открытию новых производств и привлечению инвестиций. На площадке технологического парка (650 га) разместились национальные и международные НИИ, кафедры университетов, научно-исследовательские лаборатории, а также зоны отдыха и проживания. В начале XXI столетия под влиянием законодательных инициатив в области трансфера технологий Великобритании в существенной степени пересмотрела свою стратегию в отношении Центров трансфера технологий (инноваций). Теперь в схеме передачи технологий (инноваций) главными стали консорциумы промышленных компаний, образовательных учреждений и научных лабораторий для проведения совместных исследований на начальных стадиях НИОКР [13]. В европейской жизни немаловажным стало и продвижение «зеленых технологий» на площадке городских и сельских территорий [12].

Современная производственная система в сельском хозяйстве ориентируется на замкнутые технологические и организационно-экономические циклы воспроизводства полезного продукта, использование ресурсов, в т. ч. орошаемых земель. Одна из задач, которые вытекают из современной экономической ситуации в АПК, – обеспечить переход на инновационную модель развития [10]. Одной из структур, которые смогут способствовать инновационному обновлению сельского хозяйства, развить в дальнейшем тему технопарков в части подготовки специалистов и руководителей, владеющих навыками научных исследований, являются мелиоративные парки [6, 14].

В разрабатываемой учеными ФГБНУ «РосНИИПМ» концепции мелиоративных парков ведущая роль отводится симбиозу науки и образования. Мелиоративный парк как территориальная, технологическая, техническая и административно-правовая структура, созданная на основе механизма государственно-частного партнерства, позволяет готовить специалистов с высоким уровнем компетенций (через стажировки и наставничества) [6, 7].

Мировой опыт функционирования технопарков неоднократно обращался к вопросу подготовки инновационных кадров, владеющих навыками исследовательской деятельности. Например, в европейской модели технопарков университеты зачастую входят в состав учредителей и формируют образовательную политику. Согласно аналитической записке Ассоциации кластеров и технопарков, основным инициатором создания технопарков выступает государство, которое через механизм финансирования создает: исследовательские лаборатории, научно-исследовательские центры и полигоны, экспериментальные полигоны и учебные классы. Роль образовательных учреждений (высшей школы обучения) в становлении и развитии технопарков достаточно велика, они обеспечивают гармоничное взаимодействие образования, бизнеса и науки, добиваются высокой коммерциализации технологий и продуктов.

«Образовательный парк», разместившийся на площадке мелиоративного парка, является значимым и перспективным инструментом интеграции усилий государства,

образования, науки и агробизнеса в подготовке специалистов высокого класса. Однако последнее становится возможным только при условии обогащения совместной деятельности и наполнения процесса привлекательными для каждой из сторон смыслами [14]. На рисунке 1 представлена схема «образовательного парка» как центра науки, образования и трансфера инноваций на площадке мелиоративного парка.



Рисунок 1 – Мелиоративный парк – центр обучения и трансфера инноваций в мелиорацию и АПК

Площадка мелиоративного парка позволяет обеспечить заинтересованность государства, работодателей, студентов и преподавателей в подготовке высококвалифицированных кадров для АПК и ФГБУ по мелиорации. Стажировки, которые будут проходить в мелиоративном парке, должны организовываться на конкурсной основе и стимулировать соискателей учиться на отлично. Профессиональная переподготовка кадров в мелиоративном парке необходима, в первую очередь, студентам, обучающимся по инженерно-техническим и сельскохозяйственным направлениям, а также будущим руководителям организаций. Важным звеном в системе подготовки кадров для АПК мог бы стать и профессиональный стандарт «Руководитель и организация» [15]. Данный стандарт можно использовать при повышении и оценке уровня квалификации управленческих кадров в мелиоративном секторе АПК. На площадке мелиоративного парка по восьми уровням квалификации и направлениям (управление работами, технологиями, проектами, организацией, корпоративными отношениями) могли бы проходить переподготовку специалисты и руководители ФГБУ по мелиорации, предприятий АПК. После прохождения обучения руководители 7-го уровня квалификации могли бы обладать компетенциями в области: формирования стратегии и команды, определения зон ответственности, создания эффективных моделей поведения членов коллектива, проведения изменений в организации.

С одной стороны, материальная база вуза (студенческие конструкторские бюро, научно-учебные лаборатории), с другой – производственные мощности мелиоративного парка позволили бы создать условия для перехода узкоспециализированных знаний к междисциплинарным и комплексным, что, в свою очередь, повлечет за собой перестройку вузовской среды на формирование необходимых в инновационной экономике компетенций (комплексный анализ, навыки организации и ведения проектных работ, поиск и анализ разнородной информации, практическое использование результатов

фундаментальных и прикладных исследований) [6, 14]. Мелиоративные парки позволят активно включать в управление инновациями молодежь, вводить во все учебные программы вузов практические занятия, раскрывающие пути превращения результатов исследований в товар.

Создание виртуального мелиоративного парка позволит повысить эффективность проводимых НИОКР и придать им практическую направленность, ускорить внедрение инноваций. «Виртуальность» мелиоративного парка позволит широко использовать компьютерные сети вузов и НИИ, интернет для подготовки специалистов. Использование единого киберпространства позволит с минимальными затратами объединить ученых разных вузов и специалистов мелиоративных парков в целевые группы для решения тех или иных научных, научно-технических и образовательных задач. Виртуальность мелиоративного парка – это и инструменты интерактивных методов обучения, такие как мозговые штурмы (brainstorming), круглые столы (дискуссия), Case study, ролевые игры и мастер-классы.

Сделать процесс обучения интересным для слушателей, динамичным и современным позволяют интерактивные технологии и информационно-коммуникационные системы. Интерактивные технологии позволяют материальные ресурсы вузов (административные помещения, лабораторное оборудование) использовать в режиме онлайн или передавать в оперативное управление управляющей компании мелиоративного парка [9]. Опытно-конструкторскими подразделениями аграрных и технических университетов могут выполняться по заказам резидентов мелиоративного парка определенные работы или оказываться определенные услуги.

В современной научно-образовательной жизни представлен достаточно большой набор компетенций, которыми должны обладать будущие специалисты: уметь изучать, искать, думать, сотрудничать и адаптироваться. Структура ключевых компетенций будущих специалистов отличается интегративной природой и представляет собой единство составляющих ее компонентов: мотивационного, когнитивного, ценностно-смыслового, поведенческого. Компетенции, относящиеся к профессиональной деятельности молодого человека, должны позволять успешно решать познавательные и нестандартные задачи, находить решения в проблемных ситуациях, будущие специалисты должны обладать умениями в области планирования, проектирования, моделирования, прогнозирования и использования информационных и мультимедийных технологий. При реализации программ по мелиорации на первое место должна выходить фигура будущего специалиста, который на основе выработанных компетенций сможет умело управлять мелиорацией и сельским хозяйством.

Выводы. На основе изучения методической базы деятельности университетов и программных документов по решению территориальных научно-технических задач в области развития сельского хозяйства и мелиорации определены основные направления сотрудничества образования, науки и практики на площадке мелиоративного парка, которые позволяют подготовить специалистов с широким кругом компетенций и увеличить валовой национальный продукт (в части АПК) на 7–10 %. Установлено, что разрабатываемые инновационные научно-технические решения и интерактивные формы образования позволяют поднять на новый уровень процессы планирования, прогнозирования мелиоративно-парковых территориальных структур и управления ими, создать условия для подготовки специалистов, обладающих навыками научного поиска.

Список использованных источников

1 О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ: по состоянию на 5 апреля 2016 г. // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

2 Подпрограмма «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначе-

ния» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mcx.ru/activity/state-support/programs/program-2013-2020/info-melioration-development/>, 2018.

3 Стратегия инновационного развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/227/27573.php>, 2018.

4 О Прогнозе научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 12 января 2017 г. № 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456038646>, 2018.

5 Щедрин, В. Н. Стратегический подход в обосновании концепции «Мелиорация – 2030» / В. Н. Щедрин, Л. Н. Медведева // Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т мелиорации. – Минск: Белорус. наука, 2017. – С. 12–19.

6 Щедрин, В. Н. Создание «мелиоративного аграрного парка» на основе ресурсосберегающих технологий, альтернативных источников энергии, механизма государственно-частного партнерства / В. Н. Щедрин // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., г. Барнаул, 27–28 февр. 2017 г. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. – Т. 2. – С. 163–165.

7 Meliorative institutional environment: The area of state interests / V. N. Shchedrin, S. M. Vasilyev, A. V. Kolganov, L. N. Medvedeva, A. A. Kupriyanov // *Espacios*. – 2018. – Vol. 39, № 12. – P. 28.

8 Стымковский, В. И. Инновационный образовательный проект «Технопарк» в системе дополнительного профессионального образования технического вуза как педагогическая проблема / В. И. Стымковский, Д. А. Волошин // Вестник Московского государственного университета. Серия: Педагогика. – 2015. – № 3. – С. 178–185.

9 Шишелова, Т. И. Опыт внедрения интерактивных методов обучения в Иркутском государственном техническом университете / Т. И. Шишелова, Н. П. Коновалов, В. В. Шульга // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 3. – С. 197–200.

10 Ушачев, И. Г. Импортзамещение в агропромышленном комплексе России: тенденции, проблемы, пути развития / И. Г. Ушачев // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. – 2016. – № 1. – С. 27–33.

11 Балашов, А. П. Руководитель сельскохозяйственной организации как особая профессия / А. П. Балашов // *АПК: экономика, управление*. – 2017. – № 2. – С. 28–34.

12 Green technologies: The basis for integration and clustering of subjects at the regional level of economy / V. V. Melikhov, A. A. Novikov, L. N. Medvedeva, O. P. Komarova // *Contributions to Economics*. – 2017. – P. 365–382.

13 Mohrman, K. The research university in transition: the emerging global model / K. Mohrman, W. H. Ma, D. Baker // *Higher Education Policy*. – 2010. – № 12. – P. 5–27.

14 Медведева, Л. Н. Мелиорация – область интересов науки, инженерии, образования, экологии / Л. Н. Медведева // *Взаимодействие предприятий и вузов – наука, кадры, новые технологии: сб. докл. конф., посвящ. Году экологии в России, г. Волжский, 17 мая 2017 г.* – 2017. – С. 101–106.

15 Профессиональный стандарт «Руководитель в организации» [Электронный ресурс] / Межрегион. обществ. орг. «Ассоциация менеджеров». – Режим доступа: arm.ru, 2018.

НАУКА – ПРАКТИКЕ

УДК 626.821.3:666.982

А. И. Тищенко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КРЕПЛЕНИЯ ДНА МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ

Целью исследований являлось получение зависимости для расчета крепления дна мелиоративных каналов на базе теоретических рассуждений, базирующихся на классических законах теоретической и строительной механики. В верхнем бьефе сооружения перед водозаборным отверстием участок канала (понур) представляет собой жесткое крепление из плит или монолитного железобетона. При рассмотрении условия предельного состояния для расчета выделяется полоса шириной 1 м. К ней прикладываются все виды нагрузок, от действия которых определяются усилия в различных сечениях дна для выявления наиболее опасного сечения. Приняв плиту крепления жесткой, составили алгоритм расчета плиты от действия на нее сплошной нагрузки.

Ключевые слова: железобетонное крепление, расчетная схема, нагрузки, плита, арматура, верхний бьеф.

A. I. Tishchenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

STRESS ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FASTENING OF RECLAMATION CANAL BOTTOM

The purpose of the research was to obtain dependencies for calculating the fastening of the reclamation canals bottom on theoretical arguments based on the classical laws of theoretical and structural mechanics. The canal section (blanket) in the structure upstream in front of the intake port is a rigid fastening made of slabs or monolithic reinforced concrete. When considering the limit state condition for calculation, a 1-meter-wide strip is allocated. All kinds of loads from which action the efforts in different sections of the bottom are determined to reveal the most dangerous section are applied to it. Considering the fastening plate as rigid, the algorithm for calculating the plate from the continuous load effect on it was compiled.

Key words: reinforced concrete fastening, design scheme, loads, plate, reinforcement, upstream.

Введение. Понур укрепляет русло перед сооружением и способствует гашению напора и снижению его воздействия на водобойную часть, а также уменьшает расход и скорости фильтрационного потока. В 95 случаях из 100 понур выполняется из железобетона и бывает монолитным или сборным из типоразмерных плит. Крепление дна понура из монолитного железобетона выполняется, как правило, при ремонтных работах, потому является более трудоемким по сравнению с укладкой готовых железобетонных плит, изготовленных в заводских условиях. В связи с этим представляется возможным рассмотреть условия предельных состояний отдельно взятой плиты дна канала.

Материалы и методы. Наиболее сложный эксплуатационный случай характе-

ризуется таким состоянием плит крепления дна и сочетанием нагрузок, при которых усилия в плитах достигают максимальных значений. Для расчета выделяем полосу шириной 1 м, к которой прикладываем все виды нагрузок, и определяем усилия в различных сечениях дна, выявив наиболее опасное сечение. Если принять плиту крепления жесткой, алгоритм расчета ее от сплошной нагрузки будет следующим.

1 Назначается расчетная схема (рисунок 1).

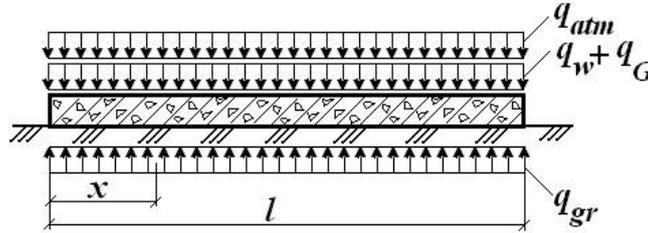


Рисунок 1 – Схема нагрузок, действующих на плиту в поперечном направлении

На рисунке 1 приведены следующие обозначения: q_{atm} – погонная нагрузка от атмосферного давления, кН/м; q_w – погонная нагрузка на плиту от давления воды на ее поверхности, кН/м; q_G – погонная нагрузка от собственного веса плиты, кН/м; q_{gr} – погонная нагрузка на плиту от средневзвешенного давления грунтовой воды, кН/м.

2 Производится подсчет нагрузок, действующих на плиту крепления дна. К этим нагрузкам относятся: вес плиты $q_G \cdot l$, кН; гидростатическое давление $q_w \cdot l$, кН; атмосферное давление $q_{atm} \cdot l$, кН; противоположное – давление грунта с учетом давления фильтрационного потока $q_{gr} \cdot l$, кН.

В данном случае нагрузка на плиту складывается из постоянной (собственный вес плиты q_G и атмосферное давление $q_{atm} \cdot l$) и временной (полезной $P = q_w + q_{gr}$) нагрузок. Для полосы плиты шириной b интенсивность нормативной нагрузки на 1 пог. м длины выразится зависимостью:

$$q_n = g_n + P_n = \gamma_b \cdot t \cdot b + P_{atm} b + \gamma_w H b - (\gamma_{gr} \gamma_w) b t_f / (1 + p), \quad (1)$$

где q_n – интенсивность нормативной нагрузки, кН/м;

g_n – постоянная нормативная нагрузка, кН/м;

P_n – полезная нормативная нагрузка, кН/м;

$\gamma_b, \gamma_w, \gamma_{gr}$ – удельный вес соответственно железобетона, воды и грунта, кН/м³;

t – толщина плиты, м;

b – ширина плиты, м;

P_{atm} – атмосферное давление на поверхности воды, кН;

H – слой воды над плитой (глубина воды), м;

t_f – толщина фильтрационного слоя, м;

p – коэффициент пористости, безразмерный.

Для получения расчетной линейной нагрузки нормативная нагрузка по зависимости (1) умножается на коэффициенты надежности по нагрузке: для постоянной нагрузки $\gamma_{f1} = 1,1$; для воды $\gamma_{fw} = 1,0$; для полезной нагрузки $\gamma_{f2} = 1,2$; для противодавления грунта $\gamma_{f3} = 0,9$. Тогда уравнение (1) примет вид:

$$q = \gamma_b \cdot t \cdot b \cdot \gamma_{f1} + P_{atm} b \gamma_{f2} + \gamma_w H b \gamma_{fw} - (\gamma_{gr} \gamma_w) b t_f \gamma_{f3} / (1 + p). \quad (2)$$

Уравнение (2) справедливо в случае статической нагрузки, когда слой воды неподвижен. В реальных условиях дно канала выполняется с определенным продольным уклоном и поток движется по руслу с некоторой скоростью (рисунок 2).

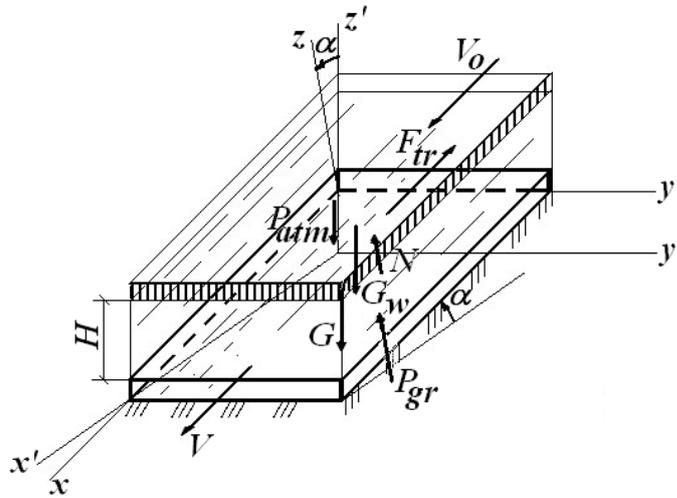


Рисунок 2 – Схема действия сил на плиту крепления

Для достижения поставленной цели применим теорему Эйлера [1–3] в проекциях на координатные оси x, y и z в виде:

$$\left. \begin{aligned} m v_{0x} - m v_{1x} + R_{об.x} + R_{пов.x} &= 0, \\ m v_{0y} - m v_{1y} + R_{об.y} + R_{пов.y} &= 0, \\ m v_{0z} - m v_{1z} + R_{об.z} + R_{пов.z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где m – масса выделенного отсека жидкости, кН;

v_0 – средняя скорость движения потока во входном (начальном) сечении объемного отсека жидкости, м/с;

v_1 – средняя скорость движения потока в выходном (конечном) сечении объемного отсека жидкости, м/с;

$R_{об}$ – равнодействующая объемных сил, действующих на выделенный объемный отсек жидкости, кН;

$R_{пов}$ – равнодействующая поверхностных сил, действующих на выделенный объемный отсек жидкости, кН.

Так как к оси y векторы скоростей и сил перпендикулярны, то их проекции на эту ось обращаются в ноль и, соответственно, второе уравнение из системы (3) исключается. Тогда имеем:

$$\left. \begin{aligned} m v_{0x} - m v_{1x} + R_{об.x} + R_{пов.x} &= 0, \\ m v_{0z} - m v_{1z} + R_{об.z} + R_{пов.z} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

К объемным силам относятся силы тяжести отсека жидкости, а к поверхностным – атмосферное давление и силы реакций плиты на выделенный объем воды, т. е. $P_{атм}$, N , $F_{тр}$. Подставляя объемные и поверхностные силы в систему (4), получим:

$$m v_{0x} - m v_{1x} + G_w \sin \alpha + R_{пов.x} + P_{атм} \sin \alpha - F_{тр} - R_{xn} = 0,$$

где G_w – объемная сила тяжести отсека жидкости, кН;

$F_{тр}$ – равнодействующая сил сопротивления (трения нижнего слоя жидкости о поверхность плиты дна), кН;

R_{xn} – проекция на ось x нормативной реактивной силы, кН.

Откуда находим нормативную реакцию R_{xn} :

$$R_{xn} = m v_{0x} - m v_{1x} + G_w \sin \alpha + R_{\text{пов},x} + P_{\text{атм}} \sin \alpha - F_{\text{тр}}, \quad (5)$$

В проекции на ось z имеем:

$$R_{zn} - G_w \cos \alpha - P_{\text{атм}} \cos \alpha + N = 0,$$

откуда находим нормативную реакцию R_{zn} :

$$R_{zn} = G_w \cos \alpha + P_{\text{атм}} \cos \alpha - N, \quad (6)$$

где N – сила нормальной реакции поверхности плиты, кН.

Общая нормативная реакция плиты на выделенный объем жидкости будет следующей:

$$R_n = \sqrt{R_{xn}^2 + R_{zn}^2}. \quad (7)$$

При установившемся течении масса жидкости, протекающая в единицу времени через любое сечение канала, постоянна и является секундной массой, т. е.:

$$m = m_0 = m_1 = \rho_0 v_0 \omega_0 = \rho_1 v_1 \omega_1,$$

где $\rho_0 = \rho_1 = \rho$ – плотность воды ($\rho = 10 \text{ кН/м}^3$);

$\omega_0 = \omega_1 = \omega$ – площадь поперечного сечения выделенного объема жидкости, м^2 , определяется по формуле:

$$\omega = b \cdot H,$$

где b – ширина канала по дну или выделенного отсека жидкости, м;

H – глубина воды в верхнем бьефе сооружения, м.

Определяем вес отсека жидкости G_w :

$$G_w = \gamma_w V = \gamma_w b \cdot l \cdot H,$$

где V – объем выделенного отсека жидкости, м^3 ;

l – длина отсека или рассматриваемого участка крепления, м.

Атмосферное давление на поверхность воды $P_{\text{атм}}$ можно принять по рекомендациям [4–7] равным 1 атм, или 100 кН/м^2 . На поверхности с размерами $b \times l$ имеем

$$P_{\text{атм}} = 100 b \cdot l.$$

Сила трения $F_{\text{тр}}$ между поверхностью плиты и выделенным объемом жидкости определяется по формуле:

$$F_{\text{тр}} = N \cdot n, \quad (8)$$

где n – коэффициент шероховатости, который для поверхностей из железобетона принимается равным 0,011 [4, 8].

Для вычисления силы нормальной реакции N воспользуемся теоремой о движении центра масс материальной системы в дифференциальной форме в проекции на ось z :

$$\sum_{i=1}^n \frac{m_i dv_{cz}}{dt} = \sum_{i=1}^n F_{iz}.$$

Применительно к схеме (рисунок 2), когда проекция ускорения $\frac{dv_{cz}}{dt}$ обращается в ноль, получим:

$$0 = N - (G_w + P_{\text{атм}}) \cdot \cos \alpha,$$

откуда:

$$N = (G_w + P_{\text{атм}}) \cos \alpha = (\gamma_w b \cdot l \cdot H + P_{\text{атм}}) \cos \alpha = 10(b \cdot l \cdot H + 10b \cdot l) \cos \alpha,$$

или окончательно имеем:

$$N = 10b \cdot l(H + 10)\cos\alpha.$$

Подставляя полученное значение N в формулу (8), найдем:

$$F_{tr} = 0,17b \cdot l(H + 10)\cos\alpha.$$

Тогда составляющие реакции R плиты примут вид:

$$R_{xn} = \rho b H \frac{v_0^2 - v_1^2}{g} + \rho b l \sin\alpha + 100b l \sin\alpha - 0,17b l(H + 10)\cos\alpha,$$

$$R_{zn} = \rho b l H \cos\alpha + 100b l \cos\alpha - 10b l(H + 10)\cos\alpha.$$

Реакция плиты, вычисленная по формуле (7), выражает нагрузку на плиту от движущейся жидкости, т. е. с учетом скорости движения потока. Для схемы (см. рисунок 1) погонная нагрузка на 1 м длины от воды и атмосферного давления составит:

$$q_{w,atm} = \frac{R}{l} = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_z^2}}{l},$$

где R_x и R_z – расчетные нагрузки на плиту от объема воды и атмосферного давления, кН, определяются следующим образом:

$$R_{xn} = \rho b H \gamma_{fw} \frac{v_0^2 - v_1^2}{g} + \rho b l H \gamma_{fw} \sin\alpha + 100b l \gamma_{f2} \sin\alpha - 0,17b l \gamma_{fw} (H + 10)\cos\alpha,$$

$$R_{zn} = \rho b l H \gamma_{fw} \cos\alpha + 100b l \gamma_{f2} \cos\alpha - 10b l \gamma_{fw} (H + 10)\cos\alpha.$$

Таким образом, согласно рисунку 1, на плиту действуют: погонная равномерно распределенная нагрузка от атмосферного давления и давления воды

$q_{w,atm} = \frac{R}{l} = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_z^2}}{l}$, равномерно распределенная нагрузка от веса самой плиты

$q_G = \gamma_b t b \gamma_{f1}$ и равномерно распределенная нагрузка от давления на плиту подстилающего грунта (противодавление) $q_{gr} = (\gamma_{gr} - \gamma_w) b t_f \gamma_{f3} / (1 + p)$. Тогда уравнение (2) приобретает вид:

$$q = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_z^2}}{l} + \gamma_b t b \gamma_{f1} - \frac{(\gamma_{gr} - \gamma_w) b t_f \gamma_{f3}}{1 + p}. \quad (9)$$

3 Выполняется статический расчет, т. е. определяются расчетный изгибающий момент M и расчетная перерезывающая сила Q с учетом гибкости плиты. Так как плита опирается на грунт всей плоскостью, то сосредоточенные силы от равномерно распределенной нагрузки будут приложены в центре тяжести плиты (рисунки 2 и 3). Жесткость основания характеризуется коэффициентом податливости основания, или коэффициентом постели, k , который для приближенных решений контактных задач можно определить по рекомендации И. А. Симвулиди [9]:

$$k = 12\pi \frac{E_{gr}}{E_b} \left(\frac{b}{t_s} \right),$$

где E_{gr} и E_b – модули деформации грунта и бетона, МПа;

b и t_s – ширина и толщина плиты, м.

По методу того же автора вычисляется максимальное давление от действия нормативных нагрузок на грунт, определяемых по выражению (1):

$$P_{\max}^n = \frac{23816 - 29k}{13440 + 29k} q_n,$$

которое не должно превышать допустимого значения $1,2 R_0$, где R_0 – расчетное сопротивление грунта основания.

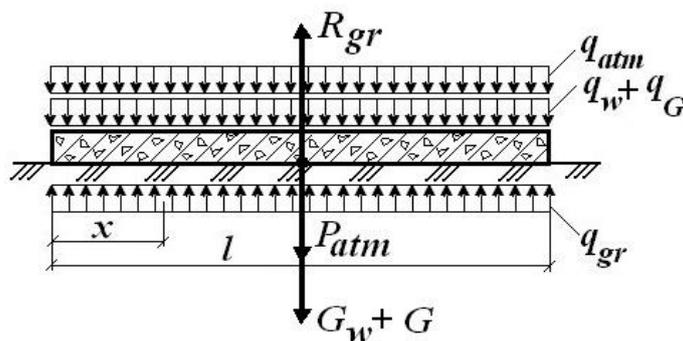


Рисунок 3 – Схема силового воздействия на плиту крепления дна

Тогда максимальный момент (M_{\max}) в середине пролета плиты определяется по формуле:

$$M_{\max} = 0,021 \cdot a_2 \cdot l^2 = 0,021 \frac{15564q}{13440 + 29k} l^2,$$

а ординаты поперечных сил:

$$Q_x = \frac{2a_2 x}{3l^2} (x-l)(2x-l) = \frac{2 \cdot 15564qx(x-l)(2x-l)}{3l^2(13440 + 29k)},$$

где q – расчетная нагрузка, подставляется из выражения (9), кН/м;

x – расстояние от постоянного начала до рассматриваемого сечения плиты, м.

Значения x следует задавать через $0,1l$. По построенной эпюре поперечных сил находят Q_{\max} .

4 Для заданной толщины плиты определяют высоту сжатой зоны:

$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{M_{\max}}{0,5R_b b}} \quad (10)$$

(при этом должны соблюдаться условия $x \leq t$ и $\xi = x/h_0 \leq \xi_R$), и вычисляют площадь сечения A_s арматуры растянутой зоны плиты:

$$A_s = \frac{R_b b x}{R_s} \quad (11)$$

В формулах (10) и (11) введены обозначения:

A_s – требуемая площадь сечения арматуры, см²;

h_0 – полезная (рабочая) высота поперечного сечения плиты, м;

ξ – относительная высота сжатой зоны;

ξ_R – граничное значение относительной высоты сжатой зоны;

R_b – расчетное сопротивление бетона, МПа;

$b = 100$ см;

R_s – расчетное сопротивление арматуры, МПа.

5 Проводится расчет на поперечную силу для проверки принятой толщины плиты. При этом необходимо соблюдение условия:

$$Q > 0,6R_{bt}bh_0, \quad (12)$$

где R_{bt} – прочность бетона при растяжении, МПа.

Если условие (12) не выполняется, то поперечную арматуру назначают конструктивно. Если же это условие соблюдается, то выполняют следующие расчеты.

Определяют усилие (несущую способность) в хомутах (поперечных стержнях):

$$q_{sw} = \frac{Q}{8R_b b h_0^2}.$$

Вычисляется добавочная площадь сечения поперечной арматуры, A_{sw} , на 1 м длины плиты:

$$A_{sw} = 100q_{sw} / R_{sw}.$$

Определяют неиспользованную площадь сечения арматуры на 1 м длины плиты при ее работе в поперечном направлении:

$$\Delta A_{sw} = A'_s + A_{s1},$$

где A'_s – площадь сечения арматуры сжатой зоны плиты (поставленной конструктивно), см²;

A_{s1} – фактическая площадь сечения продольной арматуры растянутой зоны плиты, см².

Если $A_{sw} \leq \Delta A_{sw}$, то требуется армирование поперечного сечения плиты поперечными стержнями. При $A_{sw} > \Delta A_{sw}$ следует увеличить площадь сечения поперечной арматуры на величину $A_{sw} - \Delta A_{sw}$ и принять новый диаметр поперечных стержней.

После этого выполняется проверка прочности на сжатие бетонной полосы между возможными наклонными трещинами по условию:

$$Q \leq 0,3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b b h_0,$$

где $\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w$ – коэффициент, учитывающий влияние хомутов;

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b};$$

E_s – модуль упругости рабочей продольной арматуры, МПа;

E_b – модуль упругости бетона, МПа;

μ_w – коэффициент армирования хомутами:

$$\mu_w = 0,01 \frac{A_{sw}}{b};$$

$\varphi_{b1} = 1 - 0,01R_b$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности бетона.

б Выполняется проверка по определению ширины раскрытия трещин a_{crc} :

$$a_{crc} = \varphi_e \eta \frac{\sigma_s}{E_s} 20(3,5 - 100\mu) \sqrt[3]{d} \leq 0,3 \text{ мм},$$

где $\varphi_e = 1,6 - 15\mu$;

η – коэффициент, зависящий от вида и профиля арматуры: для стержневой периодического профиля $\eta = 1$, для гладких стержней (А-І) $\eta = 1,3$, для проволоки Вр-1 $\eta = 1,2$, для класса В-1 $\eta = 1,4$;

σ_s – напряжение в арматуре в сечении с трещиной от действия нормативного момента, МПа, определяемое по формуле:

$$\sigma_s = \frac{R_s M^n}{M_b},$$

M_b – предельный изгибающий момент, кН·м, определяемый по формуле:

$$M_b = \gamma_{b2} R_b b x (h_0 - 0,5x);$$

μ – коэффициент армирования, принимаемый не более 0,02;

Результаты и обсуждение. Результатом исследований явился вывод зависимостей (5)–(7), которые учитывают динамическое давление воды на дно канала при ее движении по водотоку. Равнодействующая реакция плиты, вычисленная по формуле (7), выражает нагрузку на плиту от движущейся жидкости, т. е. с учетом скорости движения потока. Эти формулы в результате математических преобразований дали возможность получить зависимость (9) для определения погонной нагрузки, с помощью которой определяется оптимальный диаметр арматуры и размеры поперечного сечения железобетонной плиты покрытия дна мелиоративного канала, а также рассчитать трещиностойкость плиты для обеспечения надежной и долговечной ее работы.

Вывод. Представленный проверочный расчет с учетом нагрузки, вычисленной по выведенной нами формуле (9), позволяет определить сечение арматуры и поперечное сечение плиты крепления или ее длину. Этот расчет на прочность позволяет принять необходимые меры по обеспечению надежной и долговечной эксплуатации железобетонного крепления в подводящем канале.

Список использованных источников

- 1 Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. Т. 2. Динамика / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – М.: Наука, 1971. – 464 с.
- 2 Овчаренко, И. Х. Основы механики: метод. пособие / И. Х. Овчаренко, А. И. Тищенко. – Новочеркасск, 1991. – 56 с.
- 3 Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. 2. Динамика: учебник / А. А. Яблонский. – Изд. 4-е, доп. – М.: Высш. шк., 1971. – 488 с.
- 4 Богомолов, А. И. Гидравлика / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. – Изд. 2-е. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.
- 5 Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
- 6 Киселев, П. Г. Гидравлика: основы механики жидкости: учеб. пособие / П. Г. Киселев. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
- 7 Чертоусов, М. Д. Гидравлика (специальный курс) / М. Д. Чертоусов. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 630 с.
- 8 Чугаев, Р. Р. Гидравлика: учебник / Р. Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1975. – 600 с.
- 9 Симвулиди, И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании: учеб. пособие / И. А. Симвулиди. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 576 с.