

**ISSN 2313-2248**

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

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

**Сборник научных трудов**

**Выпуск 56**

**Часть 1**

Новочеркасск  
РосНИИПМ  
2014

УДК 631.587

ББК 41.9

П 901

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. Н. Щедрин (главный редактор), Т. П. Андреева, М. А. Хамидов, Ф. А. Бараев, Р. К. Икрамов, М. Р. Бакиев, Ш. Х. Рахимов.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. И. Ольгаренко – профессор кафедры «Мелиорация земель» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института Донского государственного аграрного университета, заслуж. деятель науки РФ, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, профессор;

В. В. Бородычев – директор Волгоградского филиала Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации Россельхозакадемии, чл.-кор. РАН, д-р с.-х. наук, профессор.

П 901 Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 56. – Ч. 1. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – 137 с.

Сборник научных трудов подготовлен ФГБНУ «РосНИИПМ» по материалам Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации».

ISSN 2313-2248



9

772313 224008

УДК 631.587

ББК 41.9

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Баев О. А.</b> Комплекс мероприятий по снижению потерь на фильтрацию и обслуживанию мелиоративных каналов.....	7
<b>Баев О. А., Баева А. М.</b> Противофильтрационные мероприятия на грунтовой плотине.....	13
<b>Гарбуз А. Ю.</b> Обеспечение водонепроницаемости облицовок оросительных каналов за счет применения жидких полимеров... 21	
<b>Антонова Н. А., Домашенко Ю. Е., Васильев С. М.</b> Планирование выполнения комплекса уходных работ на гидротехнических сооружениях с использованием венгерского метода .....	29
<b>Заец В. В.</b> Обоснование необходимости нормирования водо- и энергопользования Придунайских рисовых оросительных систем и современные подходы к нему.....	33
<b>Рокочинский А. Н., Турченюк В. А., Заец В. В., Приходько Н. В.</b> Оценка эффективности функционирования рисовых систем дельты Дуная на эколого-экономической основе с учетом изменений климата.....	40
<b>Чембарисов Т. Э., Лесник Т. Ю.</b> Некоторые мелиоративные характеристики орошаемой зоны Республики Каракалпакстан .....	49
<b>Чембарисов Э. И., Лесник Т. Ю., Насрулин А. Б., Чембарисов Т. Э.</b> Современное мелиоративное состояние орошаемых земель Навоийской области Узбекистана.....	57
<b>Борисова В. Ю.</b> Использование математической обработки экспериментальных данных в области водного хозяйства.....	63
<b>Пономаренко Т. С.</b> Разработка одномерной гидродинамической модели участка Донского магистрального канала в среде MIKE .....	69
<b>Островский А. М.</b> О влиянии осушительных мелиораций на погодные условия в Беларуси.....	89
<b>Рокочинский А. Н., Фроленкова Н. А., Паллу Л. Н.</b> Применение оптимизационных методов при разработке водохозяйственно-мелиоративных проектов на осушаемых землях .....	103
<b>Волк П. П., Рокочинский А. Н., Муранов В. Г.</b> Обоснование конструкции и параметров сельскохозяйственного дренажа на эколого-экономической основе .....	110

<b>Ткачук Н. Н., Кырыша Р. А., Дацышына И. Б. Эффективность работы дренажных модулей в качестве регулирующей сети осушаемых систем .....</b>	<b>118</b>
<b>Рокочинский А. Н., Мендусь С. П., Мендусь П. И. Оценка и повышение работоспособности дренажа Придунайских рисовых систем .....</b>	<b>127</b>

**О проведении Международной научно-практической  
конференции молодых ученых и специалистов  
«Актуальные научные исследования в области мелиорации»**

Конференции являются основным форматом повышения квалификации, обмена итогами исследований, адаптации новых идей и результатов, обсуждения тенденций развития любой отрасли. Учреждениями, основным направлением деятельности которых является проведение научных исследований, постоянно проводятся такие научно-практические мероприятия.

26 сентября Российским научно-исследовательским институтом проблем мелиорации совместно с Ташкентским институтом ирригации и мелиорации (Узбекистан) проведена Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации».



Ректор Ташкентского института  
ирригации и мелиорации  
М. Х. Хамидов



Директор Российского НИИ  
проблем мелиорации  
В. Н. Щедрин

Подготовка к конференции началась задолго до ее проведения: обсуждались основные ее направления и состав организационного комитета; студенты, аспиранты и молодые кандидаты подбирали темы докладов, материалы и готовили презентационные материалы.





В работе конференции приняли участие ученые-мелиораторы из России, Узбекистана, Белоруссии и Украины.



Множество докладов участников было посвящено использованию современных информационных технологий, в том числе компьютерного моделирования, в мелиоративном секторе АПК. Традиционно представлялись результаты исследований в области оросительных и осушительных мелиораций. Особый интерес у участников конференции вызвали доклады, посвященные исследованию очистки сточных вод для их повторного использования в сельскохозяйственном водоснабжении, так как во многих регионах, где возделывают сельскохозяйственные культуры, остро стоит вопрос дефицита водных ресурсов.



**О. А. Баев**

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

## **КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ НА ФИЛЬТРАЦИЮ И ОБСЛУЖИВАНИЮ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ**

В настоящее время на мелиоративных системах теряется около 40–50 % воды на фильтрацию при ее транспортировке от водозабора до орошаемого поля. Для снижения потерь воды на фильтрацию, повышения эффективности и надежности каналов предлагается комплекс противофильтрационных мероприятий и рекомендаций по обслуживанию оросительных каналов, а также периодичность проведения предлагаемых мероприятий. Противофильтрационное покрытие с использованием геокомпозитных бентонитовых матов было устроено на одном из реконструируемых участков Донского магистрального канала в Ростовской области. Проведение комплекса рекомендуемых мероприятий по обслуживанию каналов позволит повысить гидравлическую эффективность и эксплуатационную надежность оросительных каналов в среднем на 10–20 %, снизить потери на фильтрацию, увеличить КПД на 3–5 % (0,93–0,95 – для каналов в земляном русле; 0,95–0,98 – для облицованных каналов).

Ключевые слова: мелиоративный канал, фильтрация, КПД, противофильтрационные мероприятия, снижение потерь, геосинтетические материалы.

Каналы являются одним из основных элементов оросительных систем и предназначены для транспортировки воды и распределения ее среди потребителей. Из оросительных каналов, выполненных в земляном русле, потери воды на фильтрацию достигают значительных размеров (до 40–50 % от объема водозабора) [1].

Действующие в настоящее время мелиоративные каналы (Ростовской области, Ставропольского и Краснодарского краев) построены в земляном русле (рисунок 1), и только около 20–25 % общей длины каналов оборудовано противофильтрационными облицовками.

Следствиями фильтрации воды из каналов оросительных систем являются снижение коэффициента полезного действия (КПД) каналов, необходимость строительства дренажа и отвода дренажного стока, вывод сельскохозяйственных земель из использования, деградация почв, возможные прорывы дамб на участках каналов в насыпи и на косогоре [2]. При фильтрации через грунтовые плотины наблюдаются потери воды из водохранилищ через их тело, основания и бортовые примыкания, снижение статической устойчивости откосов плотины, фильтрационные деформации грунта тела и основания плотины

в виде суффозии или выпора, контактная фильтрация вдоль стенок водосбросного сооружения, возникает необходимость создания дренажа для свободного отвода фильтрационного потока.



**Рисунок 1 – Участок Донского магистрального канала в земляном русле (автор фото О. А. Баев)**

Работы по снижению потерь на каналах оросительных систем заключаются в проведении целого ряда сложных инженерных мероприятий. Максимальный эффект дает устройство облицовок.

Борьба с потерями воды на фильтрацию из оросительных каналов состоит из эксплуатационных, инженерных и конструктивных методов [3].

Эксплуатационные методы борьбы с потерями включают правильную организацию и проведение внутривладельческих планов водопользования и системных планов водораспределения; рациональное распределение оросительной воды; своевременное проведение работ по ремонту и уходу за каналами, гидротехническими сооружениями и другим оборудованием на системах и поддержание их в технически исправном состоянии; правильную эксплуатацию каналов, недопущение работ их при форсированных уровнях и значительных подпорах. Необходимо отметить, что при длительном периоде работы канала потери сокращаются в несколько раз, а при неустановившейся фильтрации – увеличиваются до 10 раз [4].



К инженерным методам борьбы с потерями относятся рациональное проектирование поперечного сечения оросительных каналов с учетом минимума потерь; уменьшение водопроницаемости грунта ложа оросительных каналов; устройство противofильтрационных покрытий на каналах; применение технически совершенных оросительных систем [5].

Для борьбы с фильтрацией из каналов оросительных систем в 80-х годах прошлого столетия использовались различные противofильтрационные мероприятия: уплотнение, оглеение, кольматация глинистыми частицами и бентонитом, битумизация и цементация, воздействие химических кольматирующих веществ, а также устройство различного типа облицовок (грунтовых, бетонных, асфальтовых, каменных, кирпичных, грунтоцементных, пленочных и других) [4, 5].

Однако, несмотря на большое разнообразие существующих противofильтрационных мероприятий и конструкций облицовок, потери воды от фильтрации в оросительных системах остаются еще значительными.

В связи с этим необходимы своевременное проведение мероприятий по обслуживанию оросительных каналов и применение конструкций противofильтрационных облицовок нового поколения с использованием геосинтетических материалов [6].

К геосинтетическим материалам относятся геомембраны, геотекстили, геокомпозиты, георешетки и другие геосинтетики, которые в различном сочетании позволяют создавать противofильтрационные конструкции облицовок, практически полностью исключая потери на фильтрацию (рисунок 2).

Наиболее полная классификация геосинтетических материалов (выполненная в зависимости от их функционального назначения и особенностей материала), применяемых для противofильтрационных покрытий, приводится в работе Ю. М. Косиченко, О. А. Баева (2013) [6], которая включает в себя классификацию по версии IGS – Международного геосинтетического сообщества (ISO 10318:2005).

Так, противofильтрационное покрытие с использованием геокомпозитных бентонитовых матов было устроено на одном из реконструируемых участков Донского магистрального канала в Ростовской области (рисунок 3) [7]. Устройство такого экрана в сложных инже-

нерных условиях позволило исключить инфильтрацию воды в канал, а также снизить фильтрацию в ложе канала.



а)



б)



в)



г)

а) геомембрана полимерная; б) геокомпозит; в) нетканый геотекстиль; г) георешетка

**Рисунок 2 – Различные типы геосинтетических материалов, применяемые на мелиоративных каналах**



**Рисунок 3 – Противофильтрационное покрытие с бентонитовыми матами на ДМК (автор фото О. А. Баев)**

Для снижения потерь на фильтрацию проводится комплекс мероприятий по обслуживанию облицованных мелиоративных каналов (таблица 1) [8, 9].

**Таблица 1 – Комплекс мероприятий по обслуживанию мелиоративных каналов**

Наименование мероприятий	Периодичность проведения	Повышение показателей гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности
1 Соблюдение минимальных скоростей течения, исключающих заиление облицованных русел и образование сине-зеленых водорослей (не менее 0,50 м/с)	Постоянно	Повышение гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности
2 Соблюдение максимальных скоростей течения, исключающих разрушение плит облицовок и их швов (не более 4,0–5,0 м/с)	Постоянно	То же
3 Исключение резких колебаний и быстрого опускания уровней (не более 0,15–0,20 м/сут)	Постоянно	"
4 Проведение очистки облицованных каналов от наносов с помощью землесосных установок типа БЗУ, не нарушающих целостность облицовки	Периодически 1 раз в 1–3 года	"
5 Проведение промывки каналов форсированными расходами от наносов и водорослей	1 раз в 3 года	"
6 Ремонт бетонных поверхностей облицовок полимерными композициями на основе жидких полимеров	1 раз в 5–10 лет	Снижение коэффициента шероховатости до $n = 0,013–0,014$ . Повышение пропускной способности
7 Ремонт разрушенных поверхностей с помощью геомембран, совмещенных с геотекстилем	1 раз в 30 лет	Снижение коэффициента шероховатости до $n = 0,012–0,013$ . Повышение пропускной способности до 30 %. Продление срока службы до 30–35 лет
8 Периодический ремонт разрушенных швов и плит облицовки	1 раз в 5 лет	Повышение эксплуатационной надежности (срока службы облицовки более 50 лет)
9 Капитальный ремонт облицованного канала	1 раз в 10 лет	
10 Реконструкция канала с заменой облицовки на высоконадежные конструкции с применением геосинтетических материалов	1 раз в 30–50 лет	Повышение гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности ( $k'_{обл}$ – до $10^{-8}–10^{-10}$ см/с, КПД – до 0,97–0,98)

Проведение комплекса мероприятий позволит повысить гидравлическую эффективность и эксплуатационную надежность оросительных каналов в среднем на 10–20 %, снизить потери на фильтрацию, увеличить КПД на 3–5 % (0,93–0,95 – для земляных русел; 0,95–0,98 – для облицованных каналов).

На основании вышеизложенного необходимо выделить наиболее важные задачи для борьбы с фильтрацией на каналах мелиоративных систем:

- правильная эксплуатация каналов, соблюдение минимальных и максимальных скоростей течения, недопущение работы при подпоре;
- своевременное проведение работ по ремонту каналов и другого оборудования на оросительных системах, уходу за ними и поддержанию их в технически исправном состоянии;
- применение противофильтрационных устройств в виде облицовок, покрытий и экранов, практически исключаящих фильтрацию и позволяющих экономить водные ресурсы;
- применение защитных прокладок из геотекстиля для снижения повреждаемости полимерных мембранных материалов;
- применение высоконадежных комбинированных конструкций противофильтрационных покрытий с использованием геосинтетических материалов (геомембран, геотекстилей, геокомпозитов, георешеток).

### **Список использованных источников**

1 Выбор эффективной и надежной противофильтрационной защиты русел открытых каналов при реконструкции оросительных систем: рекомендации / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, В. И. Миронов, А. В. Ищенко [и др.]. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2008.

2 Косиченко, Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 2(06). – 9 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=100&id=108>.

3 Ольгаренко, В. И. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, В. Н. Рыбкин. – Коломна, 2006. – 391 с.

4 Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин, В. А. Бородин, В. Г. Ганчиков, Ю. М. Косиченко. – М.: Агропромиздат, 1988. – 158 с.

5 Мирцхулава, Ц. Е. О надежности крупных каналов / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1981. – 318 с.

6 Косиченко, Ю. М. Классификация геосинтетических материалов и их применение для противофильтрационных устройств / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Актуальные вопросы гидротехники и мелиорации на юге России: сб. статей / ФГБОУ ВПО НГМА. – Новочеркасск: Лик, 2013. – С. 108–117.

7 Перельгин, А. И. Об эксплуатации крупных каналов в условиях реконструкции / А. И. Перельгин, А. В. Белов // Гидротехника. – 2014. – № 2(35). – С. 50–51.

8 Ищенко, А. В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов: монография / А. В. Ищенко. – Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2006. – 211 с.

9 Косиченко, Ю. М. Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 8. – С. 18–25.

УДК 627.824.034.92:626.823.91

**О. А. Баев, А. М. Баева**

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

## **ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЕ**

В статье приведены результаты обследования плотины пруда Казенного в г. Шахты. Техническое состояние ГТС оценивается как неудовлетворительное, чаша пруда заилена и не заполнена водой, происходит быстрое опорожнение пруда. По результатам обследования было выявлено, что основной причиной быстрого опорожнения пруда являются фильтрационные деформации в теле плотины, а также фильтрационные ходы в нижнем бьефе. Предполагается значительное снижение в этих местах фильтрационной прочности тела плотины. Такое явление (при заполнении чаши пруда) может привести к деформации откоса, осадке и провалу гребня плотины и возникновению гидродинамической аварии. Для исключения потерь воды из пруда при его заполнении необходимо устройство надежного противофильтрационного экрана с применением геосинтетических материалов. Применение конструкции противофильтрационного экрана на плотине позволит исключить фильтрацию через тело, повысить фильтрационную прочность, предотвратить суффозию в теле плотины, исключить подтопление и заболачивание прилегающих территорий.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, противофильтрационные мероприятия, грунтовая плотина, потери воды на фильтрацию, гидродинамические аварии.

При обследовании гидротехнических сооружений пруда Казенного в городе Шахты, проведенном в 2013 году сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ», установлено, что проектно-техническая документация на пруд Казенный отсутствует. Кроме того, ГТС пруда Казенного в течение 25 лет практически не обслуживались, техническое состояние оценивается как неудовлетворительное. В настоящее время чаша пруда не заполнена водой, на плотине имеются фильтра-

ционные деформации, способствующие быстрому опорожнению пруда.

Правый берег чаши пруда имеет незначительную переработку, крутой, заросший сорной травянистой растительностью. Левый берег пологий, заросший растительностью, и на некоторых участках имеет место наличие древесной растительности. Русло балки (дно чаши пруда) также заросло травянистой растительностью.

В верхнем бьефе пруда, в тальвеге балки Атюхта, в 50 м от нижней границы верхового откоса имеется локальное понижение русла балки, где скопился небольшой объем воды.

Чаша пруда Казенного заилена до 80 % от мертвого объема и заросла сорной травяной растительностью. На левом берегу имеют место обвалы, осыпи от волновых воздействий. В настоящее время чаша пруда не заполнена водой. Площадь зеркала 500 м<sup>2</sup>; объем 150 м<sup>3</sup>; максимальная глубина 0,5 м (по данным замеров).

Чаша пруда Казенного представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Чаша пруда (автор фото О. А. Баев)**

Гребень плотины от ПК 0+50 до ПК 1+50 имеет отметки на 0,5–0,8 м ниже указанных в техническом паспорте, т. е. со временем произошла осадка грунта тела плотины в результате его уплотнения и консолидации грунта.

Результаты обследования тела плотины показали, что на верхнем откосе наблюдаются повреждение креплений, просадки, заросли



древесной растительности и порослевых насаждений. Заложение верхового откоса по данным технического паспорта равно  $m = 4$ , в натуре заложение откоса колеблется от 2,0 до 2,5.

Верховой откос, закрепленный отмошкой из бутового камня, имеет участки локального повреждения крепления (до 150 м<sup>2</sup>).

На низовом откосе на ПК 0+80 имеют место местные впадины, на ПК 0+80, на отм. 125,00 м имеет место вынос грунта из тела плотины (глубина – до 0,7 м, площадь – до 2,0 м<sup>2</sup>). Низовой откос по данным обследования в основном соответствует паспортным данным: заложение откоса  $m = 3$ ; крепление выполнено растительным слоем грунта толщиной 0,2 м.

Основные показатели плотины пруда Казенного представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Основные технические показатели земляной плотины**

Тип плотины	Грунтовая
Класс	IV
Основные параметры	
- строительная высота, м	8,50
- длина по гребню, м	252
- ширина по гребню, м	6,3–9,5
- ширина асфальтированной дороги, м	4,5 (имеют место разрушенные участки дороги, выбоины)
- максимальная ширина плотины по основанию, м	75,0
- заложение откосов	
верхового	1:2,5
низового	1:3,0
Конструкция и материал плотины:	
- тело плотины	грунт глинистый, имеются фильтрационные деформации
- крепление верхового откоса	отмошка из бутового камня, имеют место локальные разрушения крепления (площадь разрушения 250 м <sup>2</sup> )
- крепление низового откоса	слой растительного грунта толщиной 0,2 м
Тип КИА	Отсутствует

Основной причиной отсутствия воды и быстрого опорожнения пруда являются фильтрационные ходы в теле плотины, а также три локальные деформации в нижнем бьефе. Схема расположения фильтрационных деформаций на низовом откосе плотины представлена на рисунке 2.

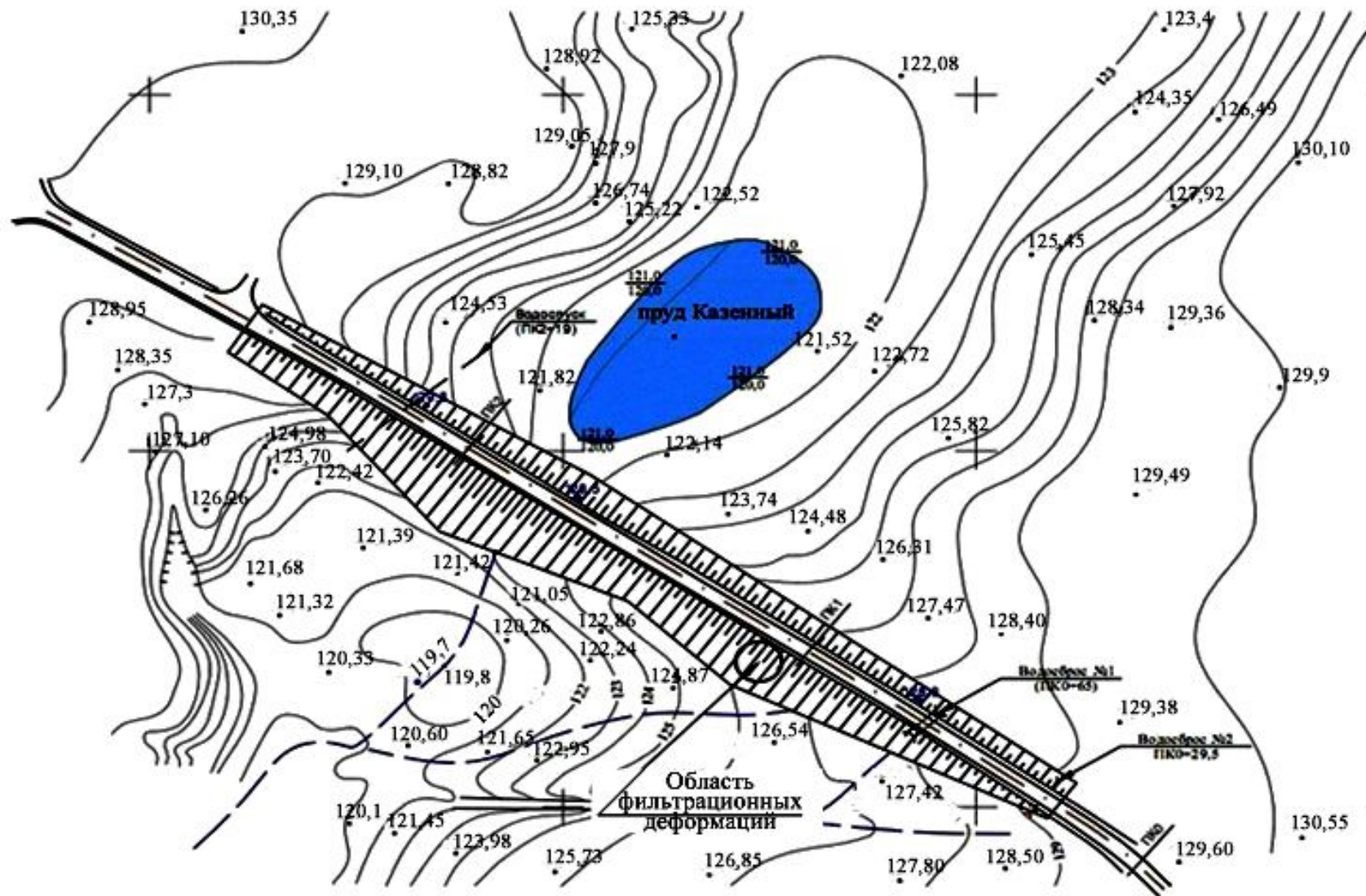


Рисунок 2 – Схема расположения фильтрационных деформаций на низовом откосе плотины

На низовом откосе плотины у правого и левого бортов обнаружены в трех местах локальные деформации глубиной 0,3–1,2 м, шириной 0,5–2,0 м, длиной 3–10 м (рисунки 3, 4).



**Рисунок 3 – Фильтрационные деформации в нижнем бьефе плотины (автор фото О. А. Баев)**



**Рисунок 4 – Фильтрационные ходы в нижнем бьефе (автор фото О. А. Баев)**

Предполагается значительное снижение в этих местах фильтрационной прочности тела плотины. Такое явление (при заполнении чаши пруда) может привести к деформации откоса, осадке и провалу гребня плотины и возникновению гидродинамической аварии.

Для обеспечения фильтрационной прочности и надежности грунта тела плотины и устойчивости низового откоса необходимо устройство на верховом откосе противофильтрационного экрана, ко-

торый позволит обеспечить надлежащую защиту и прослужит несколько десятилетий [1–4].

При соответствующем обосновании и на основании изучения отечественного и зарубежного опыта строительства противофильтрационных экранов из геосинтетических материалов на плотинах [5–8] была подобрана оптимальная конструкция комбинированного экрана (для конкретных условий) с геомембраной, геотекстилем и защитным покрытием (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Конструкция комбинированного противофильтрационного экрана**

Укладка геомембраны производится на грунтовое уплотненное основание с коэффициентом уплотнения не менее 0,9.

Для данного варианта комбинированной конструкции (когда в подстилающем основании имеются остроугольные частицы и фракции грунта диаметром более 10 мм) предусматривается укладка на грунтовое основание прокладки из тканого геотекстиля.

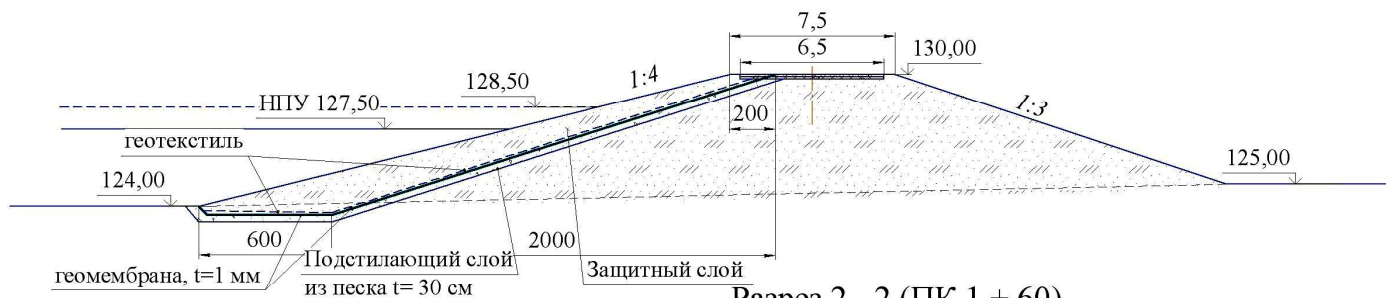
В данном случае использовались геомембрана из ПЭНД (выпускаемая по ТУ 2246-001-56910145-2004) толщиной 1,0 мм с прочностью при разрыве не менее 25,0 МПа и относительным удлинением не менее 600 %, тканый геотекстиль «Стабитекс» (выпускаемый по ТУ 2290-001-27-225810-05) плотностью не менее 380 г/м<sup>2</sup>, толщиной 1,8–2,0 мм.

Данная конструкция отличается большой деформационной способностью, а также обеспечивает высокие противофильтрационные свойства экрана. Толщина защитного покрытия из песка должна составлять от 0,3 до 0,5 м, что обеспечивает надежную защиту геомембраны от возможных повреждений.

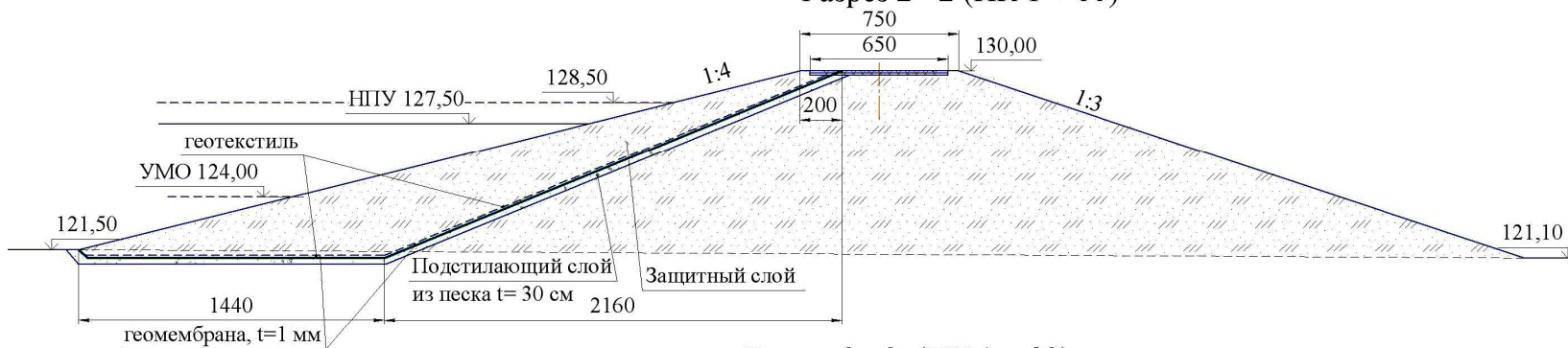
Противофильтрационный экран на плотине из геосинтетических материалов приведен на рисунке 6.



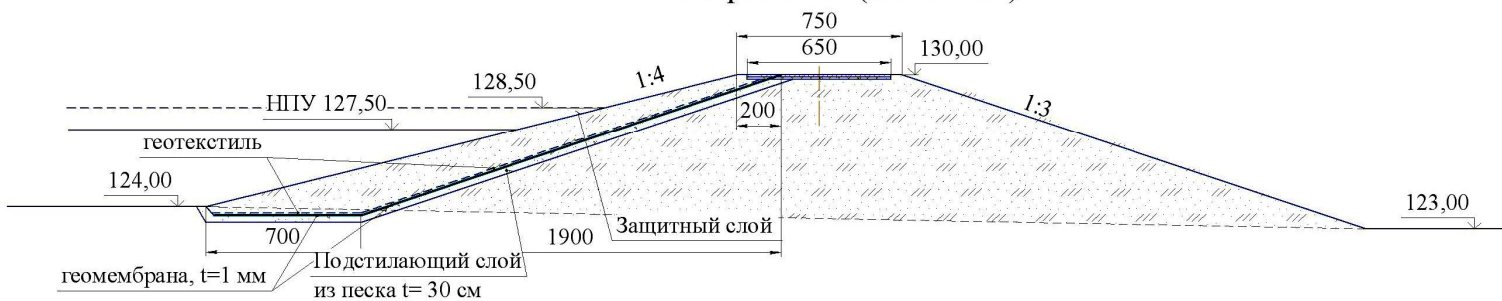
Разрез 1 - 1 (ПК 1 + 40) М : 100



Разрез 2 - 2 (ПК 1 + 60)



Разрез 3 - 3 (ПК 1 + 83)



**Рисунок 6 – Противофильтрационный комбинированный экран из геосинтетических материалов на плотине**

## **Выводы**

1 Плотина пруда Казенного имеет неудовлетворительное техническое состояние. Отмостка крепления верхового откоса местами разрушилась. Обнаружены фильтрационные ходы в теле плотины и три области фильтрационных деформаций в нижнем бьефе. Потери воды из пруда происходят из-за повышенной фильтрации в теле плотины. В настоящее время пруд не заполнен, чаша пруда заилена.

2 На основании проведенного обследования плотины можно сделать вывод, что для исключения потерь воды из пруда при его заполнении необходимо устройство надежного противофильтрационного экрана с применением современных геосинтетических материалов.

3 Применение противофильтрационного экрана позволит исключить фильтрацию через тело плотины, повысить фильтрационную прочность, предотвратить суффозию в теле плотины, исключить подтопление и заболачивание прилегающих территорий.

## **Список использованных источников**

1 Ищенко, А. В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов: монография / А. В. Ищенко. – Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2006. – 211 с.

2 Косиченко, Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 2(06). – 9 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=100&id=108>.

3 Рассказов, Л. Н. Фильтрационные расчеты гидросооружений и оснований / Л. Н. Рассказов, Н. А. Анискин // Гидротехническое строительство. – 2000. – № 11. – С. 2–7.

4 Сольский, С. В. Основные технические решения по ремонту и реконструкции дренажа грунтовых плотин / С. В. Сольский // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2004. – Т. 243. – С. 193–203.

5 Высоконадежные конструкции противофильтрационных облицовок каналов и водоемов с применением инновационных материалов / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Ищенко, О. А. Баев; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2013. – Деп. в ВИНТИ 13.01.14, № 7-В2014.

6 Радченко, В. П. Геомембраны в плотинах из грунтовых материалов / В. Г. Радченко, В. М. Семенов // Гидротехническое строительство. – 1993. – № 10.

7 Радченко, В. Г. Применение геосинтетических материалов при строительстве плотин / В. Г. Радченко, В. М. Семенов // Гидротехническое строительство. – 1992. – № 10.

8 Скуеро, А. М. Геомембраны – хорошо зарекомендовавшие себя водонепроницаемые системы на гидротехнических сооружениях / А. М. Скуеро, Г. Л. Васкетти // Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. – 2007. – С. 59–68.



## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ОБЛИЦОВОК ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКИХ ПОЛИМЕРОВ**

В статье приведены натурные данные о фильтрационных потерях из каналов и значениях коэффициентов фильтрации и эффективности бетонопленочных облицовок для ряда каналов (Прохладенской ОС, Голодной степи, Большого Ставропольского канала). Рассмотрены преимущества и недостатки применения жидкой резины для исключения фильтрации из оросительных каналов, ее физико-механические характеристики, основные торговые марки и страны – производители жидкой резины. Описано устройство для механизированного создания противофильтрационного экрана из жидких полимеров. Применение жидкой резины на оросительных каналах позволит не только обеспечить полную водонепроницаемость покрытий, но и снизить их шероховатость.

Ключевые слова: оросительные каналы, облицовки, водонепроницаемость, противофильтрационные мероприятия, жидкие полимеры.

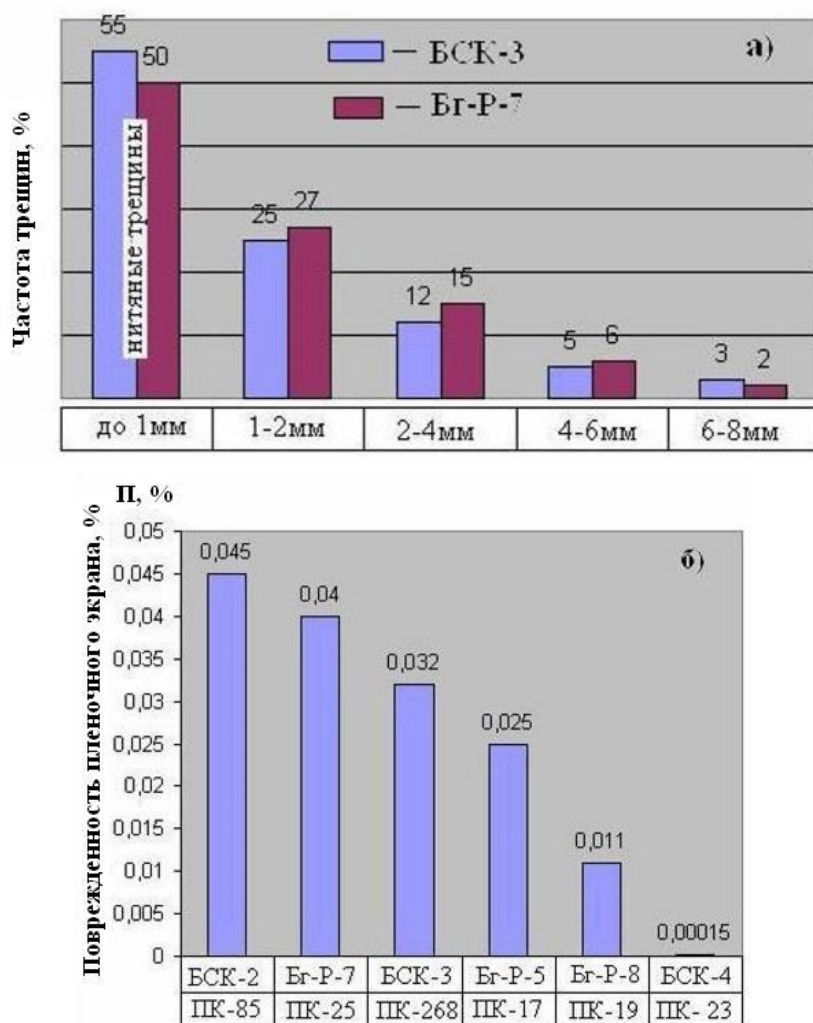
После 10–15 лет эксплуатации бетонные облицовки каналов имеют большое количество трещин и разрушенных швов, через которые происходят значительные утечки воды, т. е. облицовки становятся водонепроницаемыми [1, 2]. При выборе защитных покрытий на оросительных каналах важное значение имеет обоснование наиболее эффективных и экономичных конструкций применительно к конкретной трассе канала с учетом грунтовых, гидрогеологических и климатических условий.

На поверхности бетонных облицовок встречаются длинные продольные и поперечные трещины (в сборной железобетонной облицовке их меньше и они тоньше, чем в монолитной). Продольные трещины, как правило, появляются в нижней половине плит монолитной облицовки в среднем на высоте  $1/3$  откоса канала. В глубоких каналах продольные трещины образуются и в зоне уреза воды.

Важнейшая часть бетонной облицовки – швы. По контакту бетонных плит облицовки и заполнителя стыков (цементных, битумно-цементных) обычно образуются усадочные трещины. Они могут возникать только на поверхности облицовки; на определенной глубине вдоль контактной поверхности; на всю глубину цементной заделки

с постоянной шириной; по всей ширине контактной поверхности, расширяющиеся вверху в устьевой части [1].

По результатам натурных обследований бетонопленочных облицовок на ряде каналов Багаевско-Садковской ОС, БСК (3-й, 4-й очереди) установлено [1, 3], что в процессе строительства и эксплуатации наблюдается трещинообразование защитного бетонного покрытия каналов (рисунок 1, а). При этом наиболее распространены нитяные трещины (50–55 %), затем трещины шириной раскрытия 1–2 мм (25–27 %), 2–4 мм (12–15 %), 4–6 мм (5–6 %) и трещины шириной раскрытия 6–8 мм (2–3 %). Средняя поврежденность пленочного экрана облицовок (рисунок 1, б) находится в пределах 0,011–0,045.



а – по размерам трещин в защитном бетонном покрытии;

б – по поврежденности пленочного экрана, %

**Рисунок 1 – Графики распределения трещин в защитном покрытии и поврежденности пленочного экрана бетонопленочных облицовок каналов**

Анализ натуральных данных фильтрационных потерь и осредненных коэффициентов фильтрации бетоноплочных облицовок (таблица 1) для ряда каналов (ЛКХ-1, ЮР-18-1, БСК-3) показал, что они не превышали допустимых значений  $k'_{обл}$  по руководству Союзводпроекта ВТР-П-7-75 и СНиП 2.06.03-85 [3].

**Таблица 1 – Натурные данные фильтрационных потерь из каналов, значений осредненных коэффициентов фильтрации и эффективности бетоноплочных облицовок**

Наименование канала	Тип облицовки	Фильтрационные потери, л/(сут·м <sup>2</sup> )	Коэффициент фильтрации облицовки $k'_{обл} \cdot 10^{-6}$ , см/с	Эффективность облицовки $\eta_0$
Магистральный канал Большой Волгоградской ОС	б/п, сб/м	54–140	1,50–3,70	18,2
Каршинский магистральный канал (головная часть)	б/п, б/м	84,7–127,8	2,72–4,11	22,0
	м	29,6–161,9	2,42–13,40	
Канал ЛКХ-1 Прохладненской ОС	б/п, м	5,8–6,6	1,02–1,94	25,0
Канал ЮР-18-1 в Голодной степи	б/п, сб/м	2,95–4,46	0,35–0,54	42,5
Большой Ставропольский канал (3-я очередь)	б/п, сб/м	11,3–45,3	0,61–3,00	18,2
Канал 1-Х-1 Кисловской ОС Волгоградской области	б/пл	16–20	2,90–3,76	20
Распределительный канал БГ-Р-7 Багаевско-Садковской ОС Ростовской области	б/п, сб	2,75–39,83	2,94–8,66	11,1
Куйбышевский обводнительно-оросительный канал	г/пл	4,06	1,67	-
Магистральный канал Заволжской ОС Волгоградской области	ж/б – пл, сб/м	32–100	4,5–8,3	17,0
Каналы 2Х-2, 3Х-11, 4Х-1, 2Х-8, 1Х-6 Кисловской ОС	б/м	25–84	4,6–14,6	2,6
Примечание – б/п – бетоноплочная облицовка; сб/м – сборно-монолитная облицовка; м – монолитная облицовка; ж/б – пл – железобетонная плочная облицовка.				

Для таких каналов, как МК БВОС, КМК, БГ-Р-7, они оказались выше допустимых значений, что объясняется невысоким качеством их строительства и условиями эксплуатации [3]. Для того чтобы облицовки стали водонепроницаемыми, их следует покрывать полимерными покрытиями, например жидкой резиной.

Полимерный материал жидкая резина отличается высокими эластичностью и предельной прочностью, что позволяет предотвратить ее отслаивание от поверхности в результате неблагоприятных воздействий давления воды, циклических изменений температуры, резких ударов и вибрации. Также материал не становится ломким и хрупким и с течением времени делается только тверже, сохраняя свою эластичность.

Впервые жидкая резина начала производиться в Италии, но уже к 2011 году в России появилось более 10 фирм, занимающихся производством данного материала.

Сегодня производство жидкой резины налажено и в России. Существует несколько производителей, предлагающих этот гидроизоляционный материал разнообразных сортов и по разным ценам. На рынке появилось множество компаний, которые занимаются не только продажей жидкой резины, но и гидроизоляцией с ее помощью [4].

Как и все материалы, жидкая резина имеет свои преимущества и недостатки (таблица 2).

**Таблица 2 – Преимущества и недостатки применения жидкой резины**

Преимущества	Недостатки
1	2
1 Наносится на основание любой геометрической формы, а также в труднодоступные места	Для нанесения требуется специальное оборудование
2 Бесшовная технология нанесения позволяет быстро и надежно выполнять гидроизоляционные работы	Высокая стоимость по сравнению с другими противоточными материалами
3 Наносится практически на все поверхности и строительные материалы	Не выдерживает механическое воздействие при минусовой температуре
4 Высокая эластичность позволяет применять даже на просадочных грунтах	Наносится на подготовленную сухую обеспыленную поверхность
5 Коэффициент предельного удлинения свыше 1000 %, поэтому просадки основания не приводят к разрушению покрытия	Температура окружающей среды при нанесении должна быть не ниже +5 °С

Продолжение таблицы 2

1	2
6 Обладает свойством сцепления с материалами основания (бетон, песок, полимерные и другие материалы)	В случае если поверхность была ранее покрыта рулонной гидроизоляцией, может потребоваться частичный или полный демонтаж наиболее проблемных участков в тех местах, где имеются воздушные или водные пузыри
7 Обладает повышенными противодиффузионными свойствами	
8 Экологически безопасный материал, не содержит растворителей и не издает резких запахов	
9 Высокая стойкость к внешним воздействиям (ультрафиолетовому излучению, атмосферным явлениям, щелочным и кислотным средам, резким перепадам температур)	
10 Срок эксплуатации (при соблюдении технологии нанесения) составляет не менее 20 лет	

Кроме того, затвердевшая жидкая резина обладает повышенным сопротивлением прокалыванию (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Сопротивление затвердевшей резины прокалыванию**

В настоящее время жидкие полимеры находят применение не только в гидротехническом строительстве при ремонте трещин и швов облицовок, но и в качестве закрепителей поверхности облицо-

вок оросительных каналов, водоемов и накопителей жидких отходов [5].

Также разработана конструкция противофильтрационного покрытия с противофильтрационным элементом из бентонитовых матов и закреплением грунта на откосах полимерной эмульсией М10+50 на акриловой основе [5, 6]. Обработка полимерным закрепителем позволяет увеличить модуль упругости и прочностные характеристики грунта, снизить коэффициент шероховатости оросительных каналов. Укрепленный грунт обладает высокой прочностью, морозостойкостью и водостойкостью.

Напыление жидкой резины «Vodipren» на оросительном канале в бетонной облицовке приведено на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Напыление жидкой резины на оросительном канале**

Физические и механические характеристики применяемой жидкой резины представлены в таблице 3 [4].

Для нанесения такой гидроизоляции необходимо специальное оборудование. В России на сегодняшний день представлено несколько типов оборудования для нанесения жидкой резины [4]:

- RX-27;
- Б-21;
- RS (Rubber Spray);
- УЖК-2.



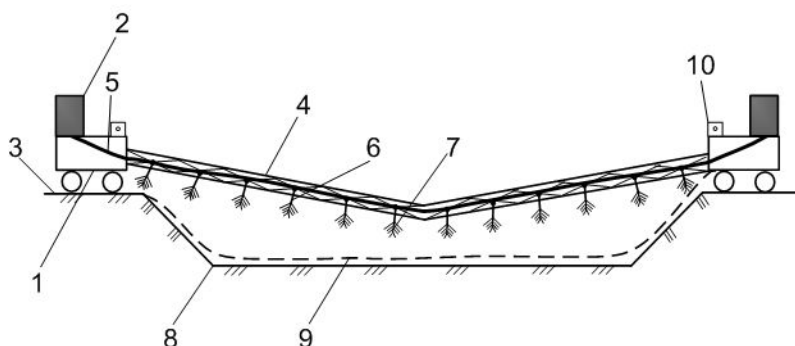
**Таблица 3 – Физико-механические характеристики жидкой резины**

Состав продукта	Модифицированная битумно-полимерная водная эмульсия	
Внешние данные продукта	Жидкость темно-коричневого цвета средней вязкости с легким нефтяным запахом	
Физические данные продукта	Плотность	1085 г/дм <sup>3</sup>
	Сухой остаток	67 %
	Летучие вещества	33 % (вода)
	Вязкость	500 МПа·с
	Толщина покрытия	2,0–3,0 мм
	Твердость	20 А
	Прочность	1,13 МПа (после 14 суток)
	Удлинение при разрыве	1010 %
	Восстановление формы	95 %
	Адгезия на бетоне	1,35 МПа
	Адгезия на стали	0,95 МПа
	Теплостойкость (при 115 °С)	Отсутствие вздутий и подтеков
	Водопроницаемость (0,001 МПа)	Нет признаков проникновения воды
	Водопроницаемость (0,03 МПа)	Нет признаков проникновения воды
Влагопоглощение	1,1 %	
Гибкость ( $R = 25$ МПа)	-25 °С	
Время высыхания покрытия (температура 20 °С, влажность 55 %)	Поверхностное высыхание	до 2 часов
	Глубокое высыхание	до 48 часов
	Полное высыхание	до 7 суток
Тара и условия хранения	Пластмассовая бочка опен-топ объемом 210 литров	
	Температура хранения от +10 до +30 °С	
	Срок хранения в герметично закрытой таре 12 месяцев	
	После использования хранить в герметичной таре. Не допускать замерзания продукта	

Все эти установки объединяет следующее:

- они используются для холодного безвоздушного нанесения жидкой гидроизоляции на основе битумно-полимерной эмульсии;
- они двухканальные: 2 насоса, 1-й – на «резину», 2-й – на «соль»;
- они закачивают жидкие компоненты из емкостей и в определенной пропорции с определенным давлением по шлангам к распылителю;
- на конце двухканального распылителя установлены специальные форсунки, при прохождении через которые под давлением происходит превращение жидкости в мелкодисперсный аэрозоль. Два плоских распыленных потока компонентов встречаются в воздухе и перемешиваются.

Для механизированного создания противофильтрационных покрытий на крупных оросительных каналах и водоемах также может использоваться устройство для механизированного создания противофильтрационного экрана из жидких полимеров (рисунок 4) [7].



1 – колесное шасси; 2 – емкость с противофильтрационным полимерным материалом (жидкая полимерная эмульсия); 3 – дамба канала; 4 – складная телескопическая рама; 5 – шланг; 6 – стальные трубки; 7 – промышленный пульверизатор; 8 – профиль канала; 9 – противофильтрационная облицовка; 10 – лазерный указатель

#### **Рисунок 4 – Устройство для механизированного создания противофильтрационного экрана из жидких полимеров**

Устройство для создания противофильтрационного экрана из жидких полимеров (рисунок 4) состоит из двух колесных шасси, расположенных на дамбах канала (друг напротив друга). На дамбах канала установлены емкости с жидким противофильтрационным полимерным материалом. От емкости по всей длине рамы протянут шланг (диаметр шланга 102 мм), соединенный с промышленными пульверизаторами стальными трубками. Подающаяся из емкости жидкая эмульсия под давлением распыляется по поперечному сечению канала, и тем самым образуется надежное противофильтрационное покрытие. Обработанный жидкой эмульсией грунтовый слой полностью исключает фильтрацию после завершения отвердевания.

#### **Выводы**

В настоящее время на рынке представлен широкий спектр рулонных геосинтетических материалов (таких как геомембраны, геотекстили, бентонитовые маты и другие геокомпозитные материалы) отечественного и зарубежного производства, которые находят все большее применение в области гидротехнического строительства, но в труднодоступных местах и при определенных обстоятельствах применение рулонных материалов становится невозможным. Поэтому жидкая резина (и другие жидкие полимерные материалы) – это дос-

тойное дополнение к другим рулонным мембранным покрытиям или даже замена их.

Применение жидкой резины на оросительных каналах позволит не только обеспечить полную водонепроницаемость покрытий, но и снизить их шероховатость.

### **Список использованных источников**

1 Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин, В. А. Бородин, В. Г. Ганчиков, Ю. М. Косиченко. – М.: Агропромиздат, 1988. – 158 с.

2 Косиченко, Ю. М. Гидравлика мелиоративных каналов / Ю. М. Косиченко. – М.: Учебное пособие, 1992. – 148 с.

3 Ищенко, А. В. Обоснование рациональных конструкций противофильтрационных устройств гидротехнических сооружений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.07 / Ищенко Александр Васильевич. – СПб., 2010. – 32 с.

4 Авдеева, К. В. Гидроизоляция напылением жидкой резины / К. В. Авдеева, Б. С. Юшков // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2014. – С. 17–29.

5 Баев, О. А. Противофильтрационные покрытия с применением бентонитовых матов для накопителей жидких отходов [Электронный ресурс] / О. А. Баев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 3(11). – 10 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=188&id=199>.

6 Метелкин, В. В. Инновационные методы обработки грунтовых покрытий при подготовке к эксплуатации мелиоративных объектов и мелиоративных защитных сооружений / В. В. Метелкин, Н. Г. Зубкова. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2008. – 120 с.

7 Высоконадежные конструкции противофильтрационных облицовок каналов и водоемов с применением инновационных материалов / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Ищенко, О. А. Баев; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2013. – 27 с. – Деп. в ВИНТИ 13.01.14, № 7-В2014.

УДК 626/627.004:658.012.2

**Н. А. Антонова, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев**

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

## **ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЛЕКСА УХОДНЫХ РАБОТ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕНГЕРСКОГО МЕТОДА**

В статье рассматриваются основные виды уходных работ на гидротехнических сооружениях, выполняемых для обеспечения требуемого правилами эксплуатации технического состояния сооружения. Подбор оборудования и инструментов для каждого вида работ производится на основании венгерского метода, основанного на выборе ва-

рианта с меньшей трудоемкостью или наибольшей производительностью техники. Метод включает в себя ряд шагов: определение переменных задачи, значения которых нужно получить в пределах существующих ограничений; определение цели и ограничений на ресурсы; описание цели через переменные задачи; описание ограничений через переменные задачи. Венгерский метод позволяет рационально распределить материальные ресурсы в зависимости от состава уходных работ.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, уходные работы, планирование, венгерский метод, трудоемкость, производительность техники.

Уходные работы выступают в качестве основных эксплуатационных мероприятий, которые обеспечивают своевременное предохранение от преждевременного износа гидротехнических сооружений путем реализации ряда профилактических мероприятий по предупреждению неисправностей на них. Обязательность своевременного проведения надзора за техническим состоянием и его контроля (мониторинга), в том числе проведения оценки безопасности объекта, закреплена за собственником или эксплуатирующей организацией в соответствии с Федеральным законом № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [1].

При проведении уходных работ на гидротехнических сооружениях в первую очередь контролируют техническое состояние затворов, подъемных и металлических конструкций гидротехнических сооружений.

Уходные работы на щитовых затворах направлены на поддержание в исправном состоянии уплотнений, пазов и подъемных механизмов. Затворы должны свободно перемещаться в пазах, не перекашиваться, не заклинивать, не выскакивать из отверстий, обеспечивать хорошее уплотнение. При подготовке затворов, подъемных механизмов и других металлических конструкций на сети к зимним условиям наружные нешлифованные поверхности окрашивают, резьбовые соединения смазывают. Основным параметром нормальной эксплуатации затворов и подъемников является содержание их в чистоте.

Территорию вокруг сооружений и зданий благоустраивают, обеспечивают отвод поверхностных вод, сажают деревья, кустарники, цветы и сеют травы. Площадки эстетически оформляют, размещают скамейки, делают дорожки, устанавливают марки и производственные плакаты. За посадками деревьев должен быть обеспечен уход (рыхление, прополка, обрезка, полив и др.).

Оросительную систему необходимо организовать по узловому принципу, эксплуатационный штат разместить по узлам системы.

На узлах системы строят здания для жилья линейных работников, обеспечивающих непрерывный надзор, уход за сооружениями и каналами и их охрану, размещают производственные постройки для проведения ремонтных работ, объекты связи, оснащение для линейного персонала, прокладывают подъездные пути [2].

Все уходные работы проводятся эксплуатирующими организациями с использованием состоящего на балансе оборудования и строительных инструментов и приспособлений. Планирование работ должно выполняться с учетом обеспечения минимальной трудоемкости. Выбор оборудования рекомендуется проводить с использованием венгерского метода линейного программирования, который является наиболее оптимальным для моделирования распределения ресурсов, если цель и ограничения на ресурсы можно выразить количественно в форме линейных взаимосвязей между переменными [3, 4]. Этот метод включает в себя ряд шагов:

- шаг 1 – определение переменных задачи, значения которых нужно получить в пределах существующих ограничений;
- шаг 2 – определение цели и ограничений на ресурсы;
- шаг 3 – описание цели через переменные задачи;
- шаг 4 – описание ограничений через переменные задачи.

В качестве переменной задачи выступает трудоемкость выполнения конкретной уходной работы с помощью имеющегося оборудования, целью задачи выступает целевая функция суммарной трудоемкости вида:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m x_{ij} a_{ij} \rightarrow \min , \quad (1)$$

где  $m$  – виды уходных работ (оборудования);

$j = \overline{1, m}$  – индекс вида работ;

$i = \overline{1, m}$  – индекс оборудования (строительного инструмента);

$a_{ij}$  – трудоемкость, чел./ед. работы.

Функция  $F(x, a)$  должна быть получена посредством последовательных преобразований приведенных матриц характеристик.

Ограничениями выступают неотрицательность значения трудоемкости и определение индексов уходных работ и оборудования как целочисленных значений. Кроме этого, трудоемкость каждого вида

уходных работ не может быть ниже минимального значения трудоемкости оборудования.

Предположим, что имеется  $n$  различных уходных работ  $A_1, A_2, \dots, A_n$  и механизмов  $B_1, B_2, \dots, B_n$ ; каждый из этих механизмов может выполнять любую работу; при использовании данных механизмов затраты труда на выполнение будут различны. Трудоемкость  $B_i$  выполнения уходной работы  $A_i$  одним оборудованием обозначим  $C_{ij}$ ,  $i=1..n$ ;  $j=1..n$ . Требуется так распределить механизмы по работам, чтобы суммарная производительность выполнения всего комплекса была минимальной.

Формально данную задачу можно записать в виде последовательности элементов  $\{C_{1i1}, C_{2i2}, \dots, C_{ijn}\}$ , выбранных из матрицы вида:

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ C_{31} & C_{32} & \dots & C_{3n} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для получения минимальной трудоемкости при выборе элементов  $C_{ij}$  необходимо, чтобы из каждой строки выбирался только один элемент, соответствующий минимальному значению трудоемкости.

Алгоритм получения целевой функции состоит из предварительного этапа и не более чем  $n-2$  последовательно проводимых преобразований. Каждое преобразование связано с эквивалентным уменьшением матрицы, полученной в результате проведения предыдущих изменений, и выбором максимального числа независимых нулей. Окончательным результатом является увеличение числа независимых нулей на единицу. Как только их количество станет равным  $n$ , проблема выбора оказывается решенной, а оптимальный вариант назначений определяется позициями независимых нулей в последней матрице. Посредством последовательного исключения из исходной матрицы назначения пар «оборудование – уходная работа» с минимальными трудозатратами составляется функция суммарных трудозатрат.

Таким образом, венгерский метод позволяет рационально распределить материальные ресурсы в зависимости от состава уходных работ. Применение математических методов для планирования выполнения комплекса уходных работ позволит увеличить производительность труда рабочих и наиболее эффективно использовать имеющееся на балансе эксплуатирующей организации оборудование.



## **Список использованных источников**

1 О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ: по состоянию на 28 декабря 2013 г. // ИСС Техэксперт [Электронный ресурс]. – ИСС «Техэксперт», 2014.

2 Правила эксплуатации отдельно расположенных гидротехнических сооружений / В. Н. Щедрин [и др.]; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2013. – 21 с. – Деп. в ВИНТИ 01.08.13, № 221-В2013.

3 Интриллигатор Н. Математические методы оптимизации и экономическая теория / Н. Интриллигатор. – М.: АйрисПресс, 2002. – 565 с.

4 Таха, Хемди А. Введение в исследование операций / Хемди А. Таха. – 7-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.

УДК 631.674:633.18.03

**В. В. Заец**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина

## **ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ НОРМИРОВАНИЯ ВОДО- И ЭНЕРГОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИДУНАЙСКИХ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К НЕМУ**

Рассмотрены проблема повышения эффективности функционирования рисовых оросительных систем Украины в дельте реки Дунай и возможные пути ее решения на основе нормирования водо- и энергопользования. Приведены основные задачи исследований, проводимых в рамках Общегосударственной программы развития водного хозяйства Украины на период до 2020 года и в соответствии с региональными программами восстановления рисосеяния в Одесской и Херсонской областях. Определено, что нормирование водо- и энергообеспечения Придунайских рисовых оросительных систем путем нормирования их водо- и энергообеспеченности на основе внедрения ресурсосберегающих технологий с учетом современных экономических и экологических требований выступает как неотъемлемая составляющая повышения общей эффективности их функционирования с учетом экологических и экономических требований как при современной реализации природно-климатических условий, так и при их изменении в перспективе. На основании теоретических исследований представлены необходимые научные исследования в виде соответствующей структурной схемы.

Ключевые слова: водопользование, энергопользование, ресурсосберегающие технологии, нормирование использования ресурсов, рисовая оросительная система, Придунайская рисовая оросительная система.

В последние годы рис, как ценная крупяная культура, составляет довольно значительную долю в пищевом балансе населения Украины. Ежегодное потребление этого продукта колеблется от 180 до 200 тыс. тонн и имеет устойчивую тенденцию к увеличению в дальнейшем.

Для удовлетворения потребностей населения в собственном рисе в 1964–1980 гг. за счет централизованных источников финансирования на Украине был создан достаточно мощный потенциал рисосеяния, построены рисовые инженерные системы на площади более 62 тыс. га [1].

Практически все рисовые системы Украины размещены на территориях со сложными гидрогеологическими и почвообразующими условиями, характеризующимися близким залеганием минерализованных грунтовых вод и неудовлетворительными условиями их оттока. Для таких специфических условий при выращивании затопляемой культуры риса были приняты соответствующие режим и технология орошения на основе создания и поддержания слоя воды на рисовых чеках, обеспечивающего преобладающий промывной режим засоленных почв в рамках системы.

Длительное выращивание затопляемого риса по принятой в первые годы освоения структуре рисового севооборота (1966–1992 гг.), которая предусматривала максимальное его содержание (75–100 %), большие оросительные нормы (до 25–40 тыс. м<sup>3</sup>/га) и объемы сбросов (11–13 тыс. м<sup>3</sup>/га) стали главными причинами значительного ухудшения эколого-мелиоративной обстановки на рисовых системах. Это проявилось в таких негативных явлениях, как поднятие уровня грунтовых вод, заболачивание и засоление почв, снижение урожая риса и сопутствующих культур.

Значительное сокращение площадей посевов риса (1993–2001 гг.) уменьшило водозабор в рисовые системы, несколько улучшило экологическое состояние соответствующих объектов окружающей среды. Но если 62 тыс. га (ранее засоленных или склонных к засолению земель) рисовых систем на протяжении 30–40 лет находилось в периодическом промывном режиме, под действием которого сформировались сложные комплексы взаимосвязанных водных и почвенных процессов, то ликвидация или значительное сокращение площадей посевов риса привели к изменению последних в сторону ухудшения водно-солевого режима почв, активизации процессов вторичного засоления и осолонцевания, снижения производительности орошаемых земель.

После интенсивного промывания почв при преимущественном выращивании затопляемой культуры риса в рисовые севообороты бы-

ли введены сухопутные растения, это создало в целом благоприятные условия для почвообразующих процессов и получения разноплановой сельскохозяйственной продукции. Однако в дальнейшем увеличение доли выращивания сухопутных растений до 50 % и более привело к восстановлению засоления почв и снижению общей эффективности функционирования рисовых оросительных систем.

В связи с этим сегодня рассматривают следующие четыре варианта использования орошаемых земель рисовых систем Украины [1]:

- перевод орошаемых земель в богарные, т. е. ренатурализация;
- переуплотнение рисовых севооборотов в зерно-кормовые и овощные при орошении последних поверхностным способом или дождеванием из существующей оросительной сети;
- реконструкция имеющихся рисовых систем в водооборотные путем уменьшения удельного веса риса в севооборотах до экологически и экономически оптимального (до 29–33 %);
- возвращение к традиционной технологии выращивания, которая предусматривала достаточно высокое содержание риса в севообороте ( $\geq 50\%$ ) с внедрением ресурсосберегающих технологий водо- и энергопользования.

Исследованиями, проведенными на рисовых системах Украины, в том числе и в дельте Дуная, было доказано, что поддержание периодического промывного режима и получение урожая риса на уровне 50–60 ц невозможны без выращивания затопляемой культуры риса при содержании его в севообороте на уровне 50 % и выше (2002–2013 гг.). Поэтому наиболее перспективным направлением повышения эффективности функционирования рисовых оросительных систем в данном регионе, которое касается обеспечения как на современном этапе, так и в ближайшей перспективе более рационального использования всех видов ресурсов в области рисоводства, в том числе с учетом изменения климатического ресурса, является возвращение к традиционной технологии выращивания, которая предусматривает содержание риса в севообороте более 50 %, с внедрением ресурсосберегающих технологий водо- и энергопользования.

Из принятой технологии выращивания затопляемой культуры риса и особенностей расположения и конструкции Придунайских РОС следует, что создание и постоянное поддержание промывного режима почв предусматривают значительные затраты водных и энер-

гетических ресурсов. Это не соответствует современным экономическим и экологическим требованиям и требует разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий выращивания риса и сопутствующих культур.

Эта проблема обостряется в связи с имеющимися четко выраженными тенденциями изменения погодно-климатических условий в целом и в зоне рисосеяния Украины в частности. В результате таких изменений возможно значительное повышение водопотребления, а следовательно, и энергопотребления РЭС.

Одним из путей решения данной проблемы является переход на другой уровень управления водо- и энергопользованием РОС, предусматривающий разработку и внедрение планового водорегулирования и энергопользования на долгосрочной основе с учетом ресурсосберегающих технологий.

Целью водопользования является поддержание в течение вегетационного периода при минимальных затратах оросительной воды на фильтрацию и сток уровня влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы не ниже критического.

Важнейшими элементами планового водопользования являются режимы орошения, оросительные нормы и порядок водопользования.

В результате обобщения данных многолетних экспериментальных исследований, которые проводились с начала развития орошения на Украине в ИВПиМ и УкрНДИЗЗ, были разработаны биологически оптимальные режимы орошения. Биологически оптимальные режимы орошения – это такие режимы орошения, которые устанавливают сроки и нормы полива, рассчитанные на полное, биологически оптимальное обеспечение сельскохозяйственных культур, в том числе и риса, водой и получение максимальных урожаев. Для планирования указанных режимов использовали постоянные предполивные пороги увлажнения в расчетном слое почвы 1 м. Это приводило к инфильтрации значительной доли влаги за пределы корнеобитаемого слоя почвы, потере с поливной водой элементов питания и развитию деградационных процессов в почвах при длительном орошении.

В дальнейшем с развитием знаний о режимах орошения были предложены водосберегающие режимы. В основу таких режимов положены дифференцированные по фазам развития культур предполивные пороги увлажнения почвы, уменьшение расчетного слоя и, соот-

ветственно, оросительной нормы до экологически безопасной ее величины.

Водосберегающий режим орошения риса – это режим, при планировании которого в качестве критерия управления принимается условие минимизации затрат поливной воды на получение единицы урожая при обеспечении промывного режима почв [2].

Разработку водосберегающих режимов орошения по типичным расчетным годам в современной практике [3] целесообразно выполнять с помощью водобалансовых исследований как универсального инструмента оценки и долгосрочного прогноза водопользования исследуемой территории и потребностей в водных и энергетических ресурсах.

Итак, на основе рационализации планового водопользования с учетом экологических и экономических требований как при современной реализации погодно-климатических условий, так и при их изменении в перспективе появляется возможность через нормирование водо- и энергопользования выйти на новый уровень управления и повысить общий уровень эффективности функционирования РОС.

Таким образом, нормирование водо- и энергопользования РОС выступает как неотъемлемая составляющая повышения технологической эффективности функционирования Придунайских РОС.

Задачами нормированного водопользования при орошении являются обеспечение эффективного (рационального) использования водных ресурсов для орошения и недопущение ухудшения мелиоративного состояния орошаемых земель [2].

Первоначально для осуществления нормирования водо- и энергопользования необходимо определить и обосновать соответствующие критерии оценки и провести ретроспективный анализ эффективности функционирования Придунайских РОС. Анализ и оценка эффективности функционирования РОС выполняется общепринятыми методами статистической обработки данных ретроспективных многолетних наблюдений с последующим построением матрицы коэффициентов парной корреляции между определенным критериям, что позволит оценить тесноту парной взаимосвязи между ними.

Вопросами управления водопользованием (нормирования водопользования) и внедрения ресурсосберегающих технологий в сельскохозяйственную деятельность на орошаемых землях занимались та-

кие отечественные ученые, как Ю. А. Михайлов, В. П. Остапчик, В. Н. Попов, В. А. Розгон [4–7].

Основой теоретических исследований и инструментом нормирования водопользования является водный баланс, в нашем случае на уровне РОС в целом в разрезе расчетных по условиям тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации. С помощью водного баланса можно выполнить долгосрочный прогноз потребности в водных ресурсах при водопользовании на заданной территории как в современных природно-климатических условиях, так и в условиях их изменения в перспективе.

Соответственно, для осуществления нормирования энергопользования может быть взят за основу метод В. М. Попова [6], который заключается в определении затрат электроэнергии силовыми установками насосных станций на перекачку определенного объема оросительной воды экспериментальным путем с помощью специальных измерительных устройств. Автором же будут использованы многолетние ретроспективные данные о функционировании Придунайских РОС, по которым может быть установлена эмпирическая зависимость между общими объемами перекачанной воды и затраченной на это электроэнергии.

Таким образом, главная цель данных исследований заключается в повышении эффективности функционирования рисовых оросительных систем путем нормирования их водо- и энергообеспеченности на основе внедрения ресурсосберегающих технологий с учетом современных экономических и экологических требований.

Исследования проводятся в рамках Общегосударственной программы развития водного хозяйства Украины на период до 2020 года и в соответствии с региональными программами восстановления рисосеяния в Одесской и Херсонской областях.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- провести анализ современного состояния и определить пути повышения эффективности функционирования Придунайских РОС;
- определить и обосновать основные критерии оценки эффективности функционирования Придунайских РОС;
- выполнить ретроспективный анализ эффективности функционирования Придунайских РОС по показателям подачи оросительной

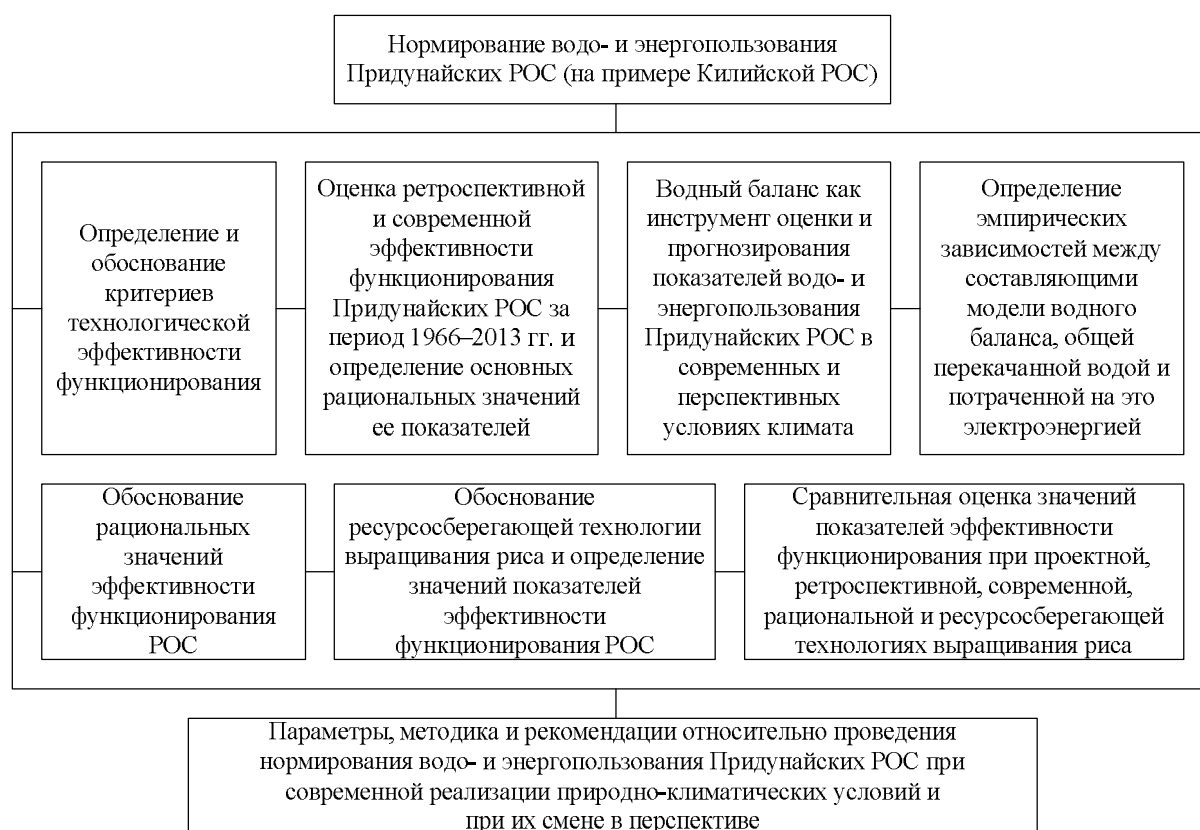
воды, сброса дренажных вод, затрат на электроэнергию, урожайности риса по сравнению с проектными их значениями;

- исследовать водный баланс рисовой оросительной системы в целом и проверить его правомерность на основе многолетних ретроспективных данных о функционировании Придунайских РОС;

- разработать методические подходы и выполнить нормирование водо- и энергообеспеченности Придунайских РОС на основе долгосрочного прогноза на современном уровне реализации погодно-климатических условий, а также с учетом их изменения в перспективе;

- оценить эффективность и внедрить результаты научных исследований.

Необходимые научные исследования по нормированию водо- и энергопользования Придунайских РОС могут быть представлены в виде соответствующей структурной схемы (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Схема научных исследований по нормированию водо- и энергопользования Придунайских РОС**

Таким образом, нормирование водо- и энергообеспечения Придунайских РОС выступает как неотъемлемая составляющая повышения общей эффективности их функционирования с учетом экологических и



экономических требований как при современной реализации природно-климатических условий, так и при их изменении в перспективе.

### **Список использованных источников**

1 Підвищення ефективності рисових зрошувальних систем України: науково-методичні рекомендації. – Херсон – Рівне, 2011. – 104 с.

2 Системна оптимізація водокористування при зрошенні: монографія / П. І. Ковальчук, Н. В. Пендак, В. П. Ковальчук, М. М. Волошин. – Рівне: НУВГП, 2008. – 204 с.

3 Рокочинський, А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / А. М. Рокочинський; за ред. М. І. Ромащенко. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.

4 Михайлов, Ю. О. Наукові засади і технологія водозберігаючого превентивного управління водокористуванням на зрошувальних системах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Михайлов Юрій Олексійович. – Київ, 2001. – 25 с.

5 Остапчик, В. П. Планирование режимов орошения на основе биологического метода расчета водопотребления сельскохозяйственных культур / В. П. Остапчик // Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. – М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1981. – № 9. – С. 90.

6 Попов, В. М. Наукові засади управління водорозподільними системами на принципах ресурсо- та енергозаощадження: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Попов Віктор Миколайович. – Київ, 2010. – 35 с.

7 Розгон, В. А. Нормування водоподачі на зрошувальні системи: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Розгон Вячеслав Анатолійович. – Київ, 2003. – 17 с.

УДК 631.559:633.18.03

**А. Н. Рокочинский, В. А. Турченко, В. В. Заец, Н. В. Приходько**  
Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РИСОВЫХ СИСТЕМ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ НА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

Выполнена сравнительная оценка эффективности функционирования рисовых систем Украины в дельте Дуная на эколого-экономической основе с учетом изменений климата за ретроспективный, современный и прогнозный периоды по проектному, фактическому, рациональному и ресурсосберегающему уровням. На основе рассмотренных моделей реализации метеорологических режимов, водного баланса рисового поля и рисовой системы в целом выполнены прогнозные расчеты по определению показателей эффективности на уровне установленных их рациональных показателей для прогнозируемых современных условий и условий изменения климата. Полученные результаты убедительно свидетельствуют о необходимости ведения аграрного производства на орошаемых землях Придунайских РОС, которое основывалось бы на принципах ресурсосбережения как необходимого условия эффективного их функционирования с со-

блюдением экономических и экологических требований в современных погодноклиматических условиях и при возможных их изменениях в ближайшей и отдаленной перспективе. Это позволит повысить общую эффективность их функционирования в ближайшей и отдаленной перспективе, в том числе с учетом изменения климата, за счет снижения уровня используемых водных ресурсов соответственно на 42,3 и 23,0 %, а энергетических – соответственно на 27,8 и 13,0 % по сравнению с проектными при одновременном обеспечении требуемых уровней экономической и экологической эффективности.

Ключевые слова: рисовые оросительные системы, дельта Дуная, оценка эффективности функционирования систем, эколого-экономические требования, изменение климата.

Одной из стратегически важных и актуальных задач развития аграрного сектора экономики Украины на современном этапе является восстановление продуктивности и ресурсного потенциала отрасли рисоводства, что невозможно без повышения общей технической, технологической, экономической и экологической эффективности функционирования существующих рисовых оросительных систем (РОС) [1, 2].

Повышение эффективности функционирования РОС как сложных природно-технических объектов является чрезвычайно сложной проблемой, которая требует применения соответствующих комплексных и системных подходов к ее решению, что диктует необходимость в том числе выполнения следующих основных задач:

- оптимизация природно-мелиоративного режима засоленных орошаемых земель, основанная прежде всего на оптимизации показателя интенсивности фильтрации при поверхностном поливе ведущей культуры риса и сопутствующих культур рисового севооборота за счет обоснования определенного соотношения между подачей и отводом воды на рисовой системе;

- усовершенствование технологии водорегулирования с учетом современных экономических и экологических требований к формированию режима водоподачи и водоотведения на уровне рисового поля;

- соответствующее нормирование водо- и энергопользования для РОС в целом.

Решение поставленных научно-технических задач было осуществлено на примере Килийской РОС (площадью 3450 га) в составе Придунайских РОС Одесской области в дельте Дуная в 1966–2012 гг.

В ходе проведенных исследований авторами были рассмотрены и решены следующие вопросы [1, 3, 4]:

- сформирована база ретроспективных и современных данных, в качестве которых использованы материалы научно-технических отчетов о работе научных экспедиций в составе сотрудников Украинского института инженеров водного хозяйства (ныне Национального университета водного хозяйства и природопользования) и годовых отчетов Одесского областного управления водных ресурсов по Килийской РОС за период 1966–2012 гг.;

- выполнен многокритериальный регрессионный анализ сформированной базы данных с построением матрицы коэффициентов их парной корреляции, по результатам которого обоснован комплекс показателей (критериев оценки), адекватно отражающих все основные и разнородные аспекты функционирования РОС: урожайность риса ( $Y$ , ц/га); оросительные нормы риса нетто ( $M_{нт}$ , тыс. м<sup>3</sup>/га) и брутто ( $M_{бр}$ , тыс. м<sup>3</sup>/га); показатель агроэколого-мелиоративных условий формирования урожая риса ( $A$ , баллы); доленое участие риса в севообороте ( $\theta$ , %); тепло- и влагообеспеченность периодов вегетации ( $p$ , %); общее количество перекачанной воды ( $W_{п}$ , тыс. м<sup>3</sup>/га); общее количество электроэнергии на перекачку воды ( $Q$ , тыс. кВт·ч); удельные показатели соответственно водопотребления культуры риса [ $\alpha_M$ , тыс. м<sup>3</sup>/(га·ц)], общего количества перекачанной воды [ $\alpha_{W_{п}}$ , тыс. м<sup>3</sup>/(га·ц)], затрат электроэнергии [ $\alpha_Q$ , тыс. кВт·ч/(га·ц)], отражающие затраты оросительной, перекачанной воды и электроэнергии на получение единицы продукции. Принятые показатели эффективности рассмотрены также в приведенном виде относительно долевого участия культуры риса в севообороте, что более информативно характеризует эффективность функционирования РОС в целом;

- проанализирована динамика критериев оценки эффективности по фактическим ретроспективным и современным данным функционирования Придунайских РОС (1966–2012 гг.). На основании полученных результатов выделены три характерных периода, которые имеют ряд особенностей, связанных, прежде всего, с долевым участием затопливаемой культуры риса в рисовом севообороте, а также социально-экономическими аспектами, погодно-климатическими условиями, принятыми технологиями водорегулирования, агроэколого-мелиоративными условиями на орошаемых землях и т. п.: *I период*

(1966–1992 гг.) с высоким (100–75 %) содержанием риса в севообороте; *II период* (1993–2001 гг.) с низким (33–30 %) содержанием риса; *III период* (2002–2012 гг.) со средним (60–50 %) содержанием риса;

- путем графоаналитического анализа многолетних ретроспективных и современных данных функционирования Придунайских РОС (1966–2012 гг.) обоснованы рациональные величины критериев оценки эффективности функционирования Придунайских РОС:  $\theta = 60\text{--}50\%$ ;  $Y = 43$  ц/га;  $M_{\text{бр}} = 18,0$  тыс. м<sup>3</sup>/га;  $W_{\text{п}} = 27,5$  тыс. м<sup>3</sup>/га;  $Q = 5544,4$  тыс. кВт·ч;  $\alpha_M = 0,23$  тыс. м<sup>3</sup>/(га·ц);  $\alpha_{W_{\text{п}}} = 0,35$  тыс. м<sup>3</sup>/(га·ц);  $\alpha_Q = 86,6$  тыс. кВт·ч/(га·ц) [5];

- обработаны и схематизированы варианты реализации метеорологических режимов в зоне Придунайских РОС по типичным расчетным относительно условий тепло- и влагообеспеченности годам выделенных периодов: «*Base*» и «*Recent*» – характеристика значений основных метеофакторов за периоды вегетации, полученных по многолетним соответственно ретроспективным и современным данным; «*СССМ*» и «*УКМО*» – нормированные среднемноголетние значения величин основных метеофакторов и их распределения за период вегетации, полученные с учетом изменений климата в соответствии с моделями Канадского климатологического центра и Метеорологического бюро Объединенного Королевства, предусматривающими повышение среднегодовой температуры воздуха соответственно на 4 и 6 °С при удвоении содержания СО<sub>2</sub> в атмосфере [6];

- разработаны модели водного баланса рисового поля и рисовой системы в целом как инструментов оценки и прогноза принятых показателей эффективности технологии водорегулирования и нормирования водопользования РОС, а также получены эмпирические зависимости для их определения на основе водобалансовых расчетов в ретроспективе, современных условиях, ближайшей и отдаленной перспективе.

Оценка эффективности функционирования Придунайских РОС была выполнена по таким определенным критериям, временным периодам и уровням эффективности:

- **временные периоды:** *ретроспективный* и *современный* – соответственно характеризуют эффективность функционирования Придунайских РОС с момента начала их эксплуатации и до настоящего времени (1966–2012 гг.); *прогнозируемый* – характеризует ближайшую (*прогнозируемый современный*) и отдаленную (*прогнозируемый*)

будущий) перспективу функционирования Придунайских РОС с учетом имеющихся и возможных изменений климата;

- *уровни эффективности*: *проектный* и *фактический* – соответственно характеризуют проектные и фактические производственные величины критериев оценки эффективности функционирования Придунайских РОС за период 1966–2012 гг.; *рациональный* – характеризует статистически обоснованные по реальным данным, рациональные в исследуемых условиях величины критериев оценки эффективности; *ресурсосберегающий* – характеризует обоснованный в изменчивых современных и прогнозируемых погодно-климатических условиях ресурсосберегающий уровень эффективности функционирования Придунайских РОС.

На основе рассмотренных моделей реализации метеорологических режимов, водного баланса рисового поля и рисовой системы в целом выполнены прогнозные расчеты по определению показателей эффективности на уровне установленных их рациональных показателей для прогнозируемых современных условий и условий изменения климата.

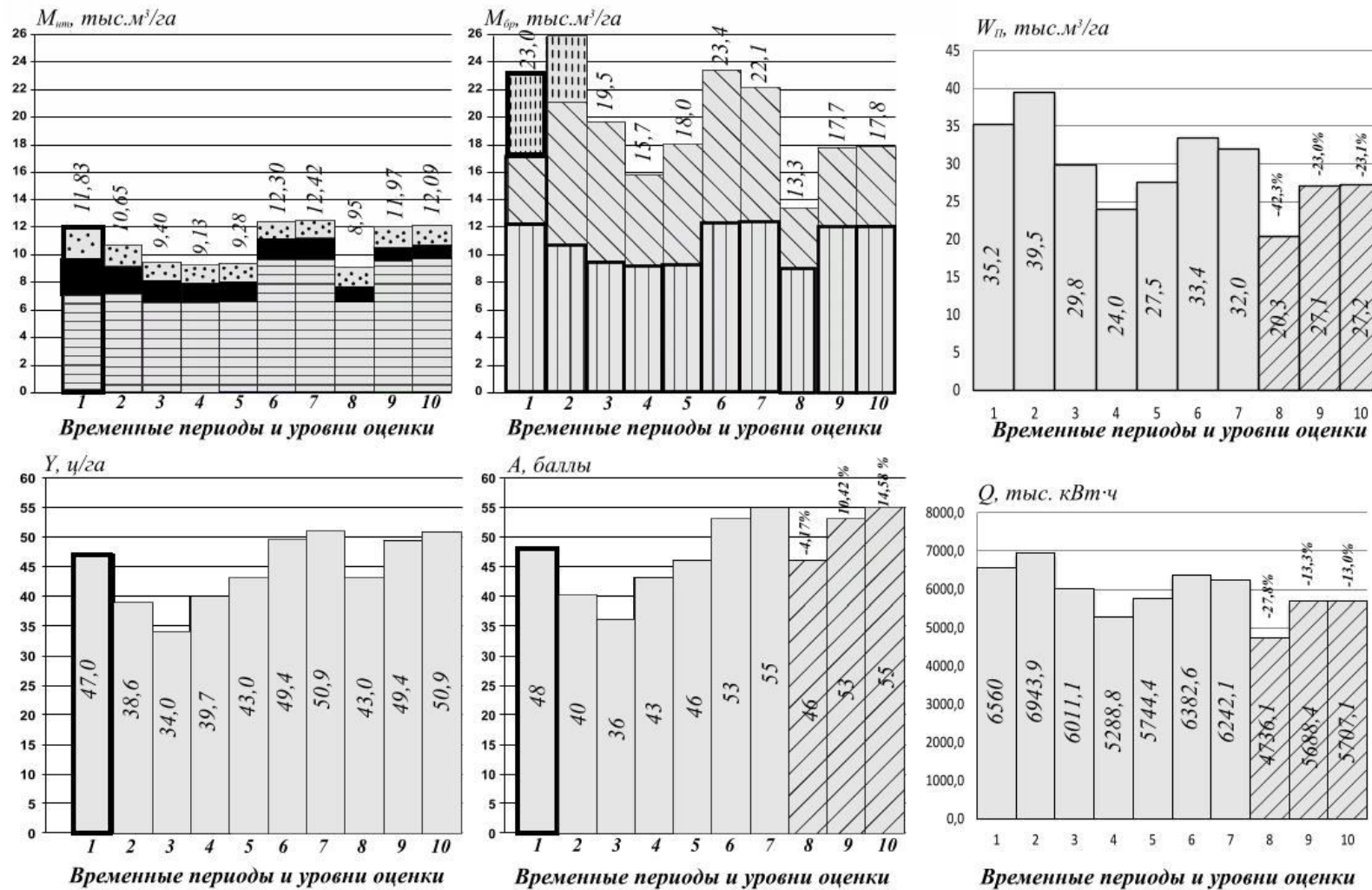
Полученные результаты оказались близкими к проектному уровню функционирования Придунайских РОС, который, однако, с учетом их современного технического состояния, не может быть обеспечен как в ближайшей, так и в отдаленной перспективе [5].

Поэтому, основываясь на результатах собственных исследований и исследований Института риса НААН Украины [1, 7–9] касательно вопросов ресурсосбережения при функционировании РОС с учетом современных экономических и экологических требований, авторы усовершенствовали технологию водорегулирования рисового поля, предусматривающую уменьшение количества поданной и отведенной воды до экономически целесообразного и экологически допустимого уровней:  $\theta = 60\text{--}50\%$ ;  $Y = 43$  ц/га;  $M_{бр} = 13,3$  тыс. м<sup>3</sup>/га;  $W_{п} = 20,3$  тыс. м<sup>3</sup>/га;  $Q = 4736,1$  тыс. кВт·ч;  $\alpha_M = 0,17$  тыс. м<sup>3</sup>/(га·ц);  $\alpha_{Wп} = 0,26$  тыс. м<sup>3</sup>/(га·ц);  $\alpha_Q = 62,4$  тыс. кВт·ч/(га·ц).

Обобщенные результаты проведенных исследований представлены в виде сравнительной оценки показателей эффективности функционирования Придунайских РОС по определенным критериям, периодам и уровням эффективности (таблица 1, рисунок 1).

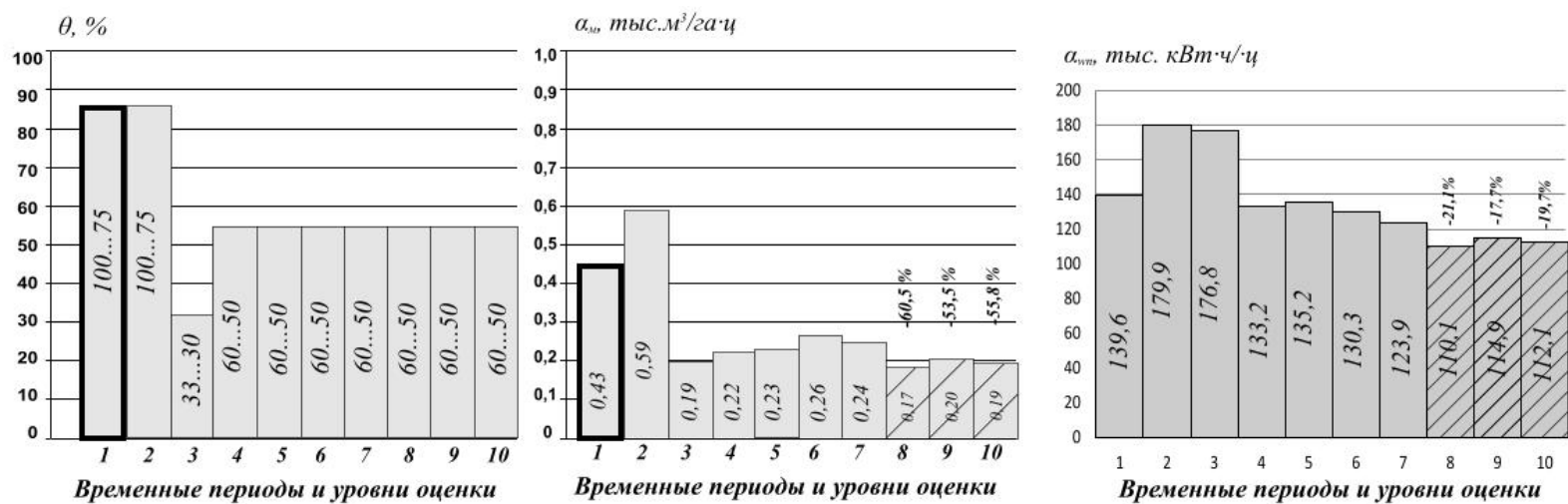
**Таблица 1 – Сравнительная оценка показателей эффективности функционирования Придунайских РОС по определенным критериям, периодам и уровням**

Временной период и уровень эффективности		Критерий										
		$\theta$ , %	$E - P$ , мм	$h$ , см	$M_{бр}$ , тыс. м <sup>3</sup> /га	$W_{п}$ , тыс. м <sup>3</sup> /га	$Q$ , тыс. кВт·год	$У$ , ц/га	$A$ , баллы	Удельный приведенный показатель		
										$\alpha_M$ , тыс. м <sup>3</sup> /(га·ц)	$\alpha_{W_{сп}}$ , тыс. м <sup>3</sup> /(га·ц)	$\alpha_Q$ , тыс. кВт·год/ц
Проектный		100–75	6928	25,0	23,0	35,2	6560,0	47,0	48	0,43	0,66	122,8
Фактический	I период	100–75	6928	19,5	25,8	39,5	6943,9	38,6	40	0,59	0,90	168,7
	II период	33–30	6553	15,5	19,5	29,8	5573,5	34,0	36	0,19	0,29	66,4
	III период	60–50	6553	12,8	15,7	24,0	5288,8	39,7	43	0,22	0,33	81,3
Рациональный	прогнозируемый современный	60–50	6553	14,3	18,0	27,5	5744,4	43,0	46	0,23	0,35	86,6
	прогнозируемый будущий по «СССМ»	60–50	9573	14,3	23,4	33,4	6382,6	49,4	53	0,26	0,37	89,5
	прогнозируемый будущий по «УКМО»	60–50	9686	14,3	22,1	32,0	6242,1	50,9	55	0,24	0,35	84,4
Ресурсосберегающий	прогнозируемый современный	60–50	6553	11,0	13,3	20,3	4736,1	43,0	46	0,17	0,26	62,4
	прогнозируемый будущий по «СССМ»	60–50	9573	11,0	17,7	27,1	5688,4	49,4	53	0,20	0,29	73,1
	прогнозируемый будущий по «УКМО»	60–50	9686	11,0	17,8	27,2	5707,1	50,9	55	0,19	0,29	71,7

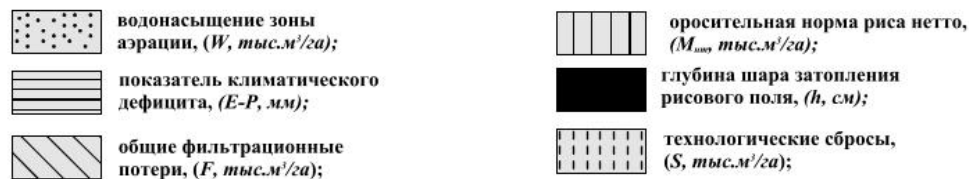


**Рисунок 1 – Сравнительная оценка показателей эффективности функционирования Придунайских РОС по определенным критериям, периодам и уровням**





## Показатели и критерии



## Временные периоды и уровни оценки

<b>1</b> проектный	<b>6</b> рациональный прогнозируемый будущий за «СССМ»
<b>2</b> фактический ретроспективный (I-период)	<b>7</b> рациональный прогнозируемый будущий за «УКМО»
<b>3</b> фактический ретроспективный (II-период)	<b>8</b> ресурсосберегающий прогнозируемый современный
<b>4</b> фактический современный (III-период)	<b>9</b> ресурсосберегающий прогнозируемый будущий за «СССМ»
<b>5</b> рациональный прогнозируемый современный	<b>10</b> ресурсосберегающий прогнозируемый будущий за «УКМО»

Продолжение рисунка 1

Представленные результаты убедительно свидетельствуют о необходимости ведения аграрного производства на орошаемых землях Придунайских РОС, которое основывалось бы на принципах ресурсосбережения как необходимого условия эффективного их функционирования с соблюдением экономических и экологических требований в современных погодно-климатических условиях и при возможных их изменениях в ближайшей и отдаленной перспективе. Это позволит повысить общую эффективность их функционирования в ближайшей и отдаленной перспективе, в том числе с учетом изменения климата, за счет снижения уровня используемых водных ресурсов соответственно на 42,3 и 23,0 %, а энергетических – соответственно на 27,8 и 13,0 % по сравнению с проектными при одновременном обеспечении требуемых уровней экономической и экологической эффективности.

### **Список использованных источников**

1 Рис в Україні: колективна монографія / за ред. В. А. Сташука, А. М. Рокочинського, Л. М. Грановської. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 976 с.

2 Підвищення ефективності рисових зрошувальних систем України: науково-методичні рекомендації / В. В. Дудченко, Л. М. Грановська, А. М. Рокочинський, С. П. Мендусь [та ін.]. – Херсон – Рівне, 2011. – 104 с.

3 Підвищення ефективності функціонування Придунайських рисових зрошувальних систем / А. М. Рокочинський, В. О. Турченко, В. В. Заєць, Н. В. Приходько // Вісник аграрної науки. – Київ, 2014. – № 4(734). – С. 53–57.

4 Рокочинский, А. Н. Оценка эффективности функционирования Придунайских рисовых оросительных систем / А. Н. Рокочинский, В. А. Турченко, Н. В. Приходько // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2013. – № 2(80): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 14–18.

5 Рокочинский, А. Н. Обоснование комплекса критериев эффективности функционирования Придунайских рисовых оросительных систем / А. Н. Рокочинский, В. А. Турченко, Н. В. Приходько // Проблемы комплексного обустройства техноприродных систем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. II: Мелиорация, рекультивация и охрана земель. – М.: МГУП, 2013. – С. 173–179.

6 Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку зі змінами клімату: наукова доповідь-інформація / М. І. Ромашенко, О. О. Собко, Д. П. Савчук, М. І. Кульбіда. – Київ: Інститут гідротехніки і меліорації УААН, 2003. – 46 с.

7 Оценка погодно-климатических условий при оценке эффективности функционирования рисовых оросительных систем / А. Н. Рокочинский, В. А. Турченко, Н. В. Приходько, В. В. Заец // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: научные статьи Междунар. науч.-практ. конф., г. Брест, 23–25 апреля 2014 г. / Брестский гос. техн. ун-т; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Ч. III. – Брест, 2014. – С. 254–260.

8 Корнбергер, В. Г. Ресурсозберігаюче та природоохоронне нормування водокористування при вирощуванні рису (на прикладі Краснознамянського зрошувального масиву): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Корнбергер Володимир Глібович. – Херсон, 2009. – 21 с.

9 Ушкаренко, В. А. Влияние глубины затопления риса на его урожайность в условиях Краснознаменной оросительной системы / В. А. Ушкаренко, В. В. Морозов, В. Г. Корнбергер // Таврійський науковий вісник: зб. наук. праць. – Херсон: Айлант, 1998. – Вип. 9. – С. 139–141.

УДК 631:528.92

**Т. Э. Чембарисов**

Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека, Ташкент,  
Республика Узбекистан

**Т. Ю. Лесник**

Ташкентский государственный политехнический университет, Ташкент,  
Республика Узбекистан

## **НЕКОТОРЫЕ МЕЛИОРАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРОШАЕМОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАРАКАЛПАКСТАН**

В статье рассмотрены некоторые проблемы мелиорации засоленных земель Республики Каракалпакстан. При проведении исследования мелиоративных характеристик орошаемой зоны были использованы бассейновый ландшафтно-геохимический метод и метод гидромелиоративного мониторинга. Согласно анализу данных Каракалпакской областной гидрогеологической экспедиции, в низовьях реки Амударья большая часть орошаемых земель в той или иной степени засолена (78,01 %), а среди земель, пригодных к освоению, засоленные почвы и почвы, подверженные засолению при орошении, занимают основную часть. В Республике Каракалпакстан на орошаемой площади размером 515,3 тыс. га грунтовые воды на глубине 0,0–1,0 м занимают 7,8 тыс. га; 1,0–1,5 м – 48,9 тыс. га; 1,5–2,0 м – 267,8 тыс. га; 2,0–3,0 м – 120,9 тыс. га; 3,0–5,0 м – 66,9 тыс. га; более 5,0 м – 2,25 тыс. га. Минерализация грунтовых вод изменяется следующим образом: грунтовые воды с минерализацией 0–1 г/л занимают 2,7 тыс. га; 1–3 г/л – 439,7 тыс. га; 3–5 г/л – 72,8 тыс. га; 5–10 г/л – 6,1 тыс. га и более 10 г/л – 0,3 тыс. га. Среднегодовая величина минерализации в коллекторах изменялась от 1,74 до 3,94 г/л. За последние 25–30 лет в Южном Приаралье резко ухудшилась мелиоративная обстановка, связанная с дефицитом воды и существенным снижением уровня акватории Аральского моря (до 30,7 м н. у. м.). С осушенного дна моря интенсивными темпами ежегодно происходят перенос пыли и соли и их выпадение на окружающую территорию, что ведет к засолению водных источников и земель республики.

Ключевые слова: орошаемые земли; орошаемая зона Республики Каракалпакстан; минерализация грунтовых вод; засоление земель; факторы, влияющие на засоление; меры борьбы с засолением земель.

Республика Каракалпакстан расположена в крайней северо-западной части Узбекистана. Общая площадь территории Республики

Каракалпакстан – 167,1 км<sup>2</sup>, что составляет около 37 % площади Узбекистана, из них пригодных для орошения земель – 1,6 млн га. Каракалпакская часть Кызылкумов занимает более 5 млн га. На востоке она граничит с Навоийской и Бухарской областями, на юге и юго-западе – с Республикой Туркменистан, на севере, северо-западе и северо-востоке – с Республикой Казахстан. Территория республики простирается от 41,0 до 45,8° с. ш. и от 56,0 до 62,6° в. д. в зоне пустынь умеренного пояса, включает южную часть Аральского моря и низовья р. Амударьи. Республика располагает большими фондами сельскохозяйственных угодий. За сельским хозяйством закреплено и в его пользовании находится 2,8 млн га.

Основное направление экономики Каракалпакстана – сельское хозяйство и животноводство. Ведущими сельскохозяйственными культурами являются хлопчатник, рис и пшеница, посевы которых в благоприятные годы составляют 250–300 тыс. га.

Возделываются кормовые, зерновые, овощебахчевые и другие культуры: кукуруза, сорго, суданская трава, просо, ячмень, овес, люцерна, подсолнечник, картофель, лук, баклажан, перец, огурец, арбуз, дыня, фасоль, маш, мята и т. д. Люцерновые семена, выращиваемые в основном на экспорт, – это рентабельное производство для республики.

Пашни, сенокосы и пастбища для животноводства составляют 22 % от общего земельного фонда.

В природно-климатическом отношении низовья р. Амударьи существенно отличаются от других зон Центральной Азии по климатическим условиям пояса. Климат здесь резко континентальный и сухой. В связи с отсутствием естественных препятствий и равнинностью рельефа сюда беспрепятственно проникают с севера, северо-запада и северо-востока воздушные массы, которые в зимний период способствуют снижению температуры воздуха и резким похолоданиям. Поэтому зима здесь суровая: минимальная температура воздуха колеблется от минус 30 до минус 38 °С. Продолжительность холодного периода длится от двух (на юге) до четырех (на севере) месяцев.

Средняя годовая сумма атмосферных осадков колеблется в пределах 80–110 мм. Наибольшее количество осадков выпадает ранней весной и частично зимой. Глубина промерзания почвы на орошаемых землях не превышает 0,7–0,8 м. Наиболее ветреные дни отмечаются в апреле – мае, когда скорость ветра достигает 15–20 м/с, а в отдель-

ные годы 24 м/с, часто переходя в песчаные бури, что вызывает ветровую эрозию почв.

Отмеченные климатические факторы являются неблагоприятными в мелиоративном отношении. Специалисты, оценивая роль этих факторов в формировании и направленности почвенно-мелиоративных и гидрогеологических условий рассматриваемой территории, отмечают следующее [1]:

- атмосферные осадки существенного значения для питания собственно грунтовых вод дельты Амударьи не имеют;

- высокая испаряемость, свойственная климату дельты, при залегании грунтовых вод на глубине меньше 2,5–3,0 м обуславливает весьма значительный расход грунтовых вод на испарение и транспирацию;

- температурный режим воздуха с резким понижением в невегетационный период приводит к промерзанию верхнего слоя почвы, что существенно влияет на условия питания грунтовых вод. В летний период температура воздуха регулирует интенсивность процессов испарения и транспирации, соответственно увеличивая или снижая расходную часть баланса грунтовых вод.

Территория Республики Каракалпакстан представляет собой равнину с ясно выраженными небольшими замкнутыми понижениями и общим уклоном на север, северо-запад и юго-запад.

В южной части территории располагается невысокий горный хребет Султануиздаг, а в северной – небольшие возвышенности Кушканатау и Бельтау. На северо-западе Каракалпакстана расположена восточная часть плато Устюрт, представляющая собой безводную, пустынную глинистую равнину, которая в дельте р. Амударьи и у Аральского моря обрывается уступом высотой 100–110 м.

В периферийных районах левобережной части дельты, а также вблизи границы ее с Кызылкумами рельеф равнины несколько холмистый, с надвигающимися на культурные земли песками. Грядобугристые пески высотой от 5 до 10 м и более встречаются отдельными массивами среди орошаемых территорий.

Ирригационные формы рельефа, образованные хозяйственной деятельностью человека, встречаются в орошаемой зоне между крупными каналами, а также хорошо сохранились в левобережье древней дельты Амударьи. В последние годы в прибрежной полосе усыхающего Аральского моря образовались заливы Аджибай, Муйнакский,

Сарбасский, а также многочисленные и различные по размерам озера, образованные в результате отступления моря.

В центральной части республики располагаются дельта и долина р. Амударьи, которая расчленена многочисленными протоками, озерами, болотами и системой оросительных и мелиоративных каналов.

Передвижение песков со стороны пустынь, развенчание внутриоазисных песчаных накоплений, эрозионно-аккумулятивная деятельность р. Амударьи, усыхание Аральского моря, перенос пыли и соли с осушенного дна моря составляют комплекс современных физико-геологических процессов, свойственных рассматриваемой территории.

Геологическое строение дельты Амударьи на территории Каракалпакии состоит из многих видов и типов отложений мелового, третичного и четвертичного периодов. Меловые отложения имеют место на правом берегу реки. Третичные отложения встречаются у Тюямуяня, Кызылкумов, Устюрта и в других районах в виде отложений красных и красно-желтых глин.

Четвертичные отложения широко распространены на территории современной и формирующейся дельты р. Амударьи и состоят из песков, супесей, суглинков и глин, приносимых водой. Эти отложения имеют сравнительно хорошую водопроницаемость, рыхлость строения, неустойчивость к процессам разлива. Четвертичные отложения являются объектом мелиорации, в них формируются грунтовые воды и их режим.

Сложность геологического строения дельты р. Амударьи, наличие и хозяйственное использование орошаемых земель в дельте обуславливают особенности ее гидрогеологических условий формирования режима грунтовых вод.

**Состояние агроландшафтов Каракалпакии.** Земледелие Республики Каракалпакстан основано исключительно на искусственном орошении. Единственным источником оросительной воды является река Амударья. Орошаемые земли сильно засолены, вследствие чего урожайность многих сельскохозяйственных культур низкая. Коэффициент использования земель составляет 0,18–0,28. В Республике Каракалпакстан земли с самым низким плодородием. Если средний балл плодородия по Республике Узбекистан составляет 58, то по Каракалпакстану – 43 [2–4].

Если в целом по Узбекистану засолено 52 % орошаемых земель, из которых 40 % засолено в сильной и средней степени, то в Каракалпакстане засолено 78 % земель, в том числе в сильной и средней степени – от 45 до 48 %. Указанные факторы снижают качество орошаемых земель, их экономическое плодородие, что отрицательно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. За счет различной степени засоленности урожайность хлопчатника может быть сокращена на слабозасоленных землях на 20–30 %, на средnezасоленных – на 40–60 %, на сильнозасоленных – более чем на 80 % по сравнению с незасоленными землями [3–4].

Одним из важнейших направлений устойчивого развития Республики Каракалпакстан является наращивание его агропромышленного потенциала, повышение эффективности использования и отдачи каждого гектара сельскохозяйственных угодий, и прежде всего орошаемых земель.

Государственный земельный фонд Республики Каракалпакстан составляет 16,1 млн га, или 35,9 % всех земель Республики Узбекистан. Основная их часть приходится на земли сельскохозяйственного назначения – 6,5 млн га (41,6 %), или 20,2 % всех земель Республики Узбекистан.

Засушливость климата благоприятна для развития солёности почвы. Такой природный характер создает условия для концентрации огромного запаса легкорастворимых солей в почве, их большого насыщения, приводит к гранулированию в почве, высокому капиллярному лидерству, вторичной солёности, которая отрицательно воздействует на развитие растительности.

В пустынной зоне низовий реки Амударьи довольно большие площади земель заняты солонцеватыми почвами и солонцами, часто на той или иной глубине засоленными. Солонцеватые почвы и солонцы отличаются неблагоприятными химическими и физическими свойствами, вызываемыми наличием в поглощающем комплексе натрия. При высокой степени солонцеватости почвы непригодны для земледелия, а при более низкой – малопродуктивны. Освоение этих земель под поливное земледелие требует применения системы мероприятий по устранению солонцеватости, а во многих случаях – по предотвращению ее возникновения на вновь орошаемых землях вследствие нарушения солевого режима. Системы мелиоративных мероприятий



по борьбе с засолением и солонцеватостью почв для различных природных областей неодинаковы, и разработка их требует глубоких знаний генезиса и свойств засоленных и солонцеватых почв.

По данным гидрогеолого-мелиоративной экспедиции Каракалпакии, в низовьях реки Амударьи большая часть орошаемых земель в той или иной степени засолена (78,01 %), а среди земель, пригодных к освоению, засоленные почвы и почвы, подверженные засолению при орошении, занимают основную часть.

В плане проведения гидроэкологического мониторинга большой практический интерес вызывает анализ минерализации и состояния грунтовых вод за многолетний период.

На орошаемой площади размером 515,3 тыс. га грунтовые воды на глубине 0,0–1,0 м занимают 7,8 тыс. га; 1,0–1,5 м – 48,9 тыс. га; 1,5–2,0 м – 267,8 тыс. га; 2,0–3,0 м – 120,9 тыс. га; 3,0–5,0 м – 66,9 тыс. га; более 5,0 м – 2,25 тыс. га. Минерализация грунтовых вод изменяется следующим образом: грунтовые воды с минерализацией 0–1 г/л занимают 2,7 тыс. га; 1–3 г/л – 439,7 тыс. га; 3–5 г/л – 72,8 тыс. га; 5–10 г/л – 6,06 тыс. га и более 10 г/л – 0,3 тыс. га.

**Характеристика грунтовых вод.** Анализ имеющихся данных о гидрогеолого-мелиоративной обстановке на орошаемых землях показал, что высокие уровни грунтовых вод наблюдаются в марте и апреле в период интенсивных промывных поливов, по окончании промывов происходит некоторое падение уровня.

Основным источником питания грунтовых вод дельты Амударьи на территории Республики Каракалпакстан является р. Амударья. Вода из реки поступает на питание грунтовых и подземных вод в виде потерь из оросительных каналов и поливных участков, а также в виде паводков в отдельные многоводные годы.

Атмосферные осадки на территории Республики Каракалпакстан незначительны (100–130 мм/год), на формирование и питание грунтовых вод влияния не оказывают, лишь в весьма редких случаях участвуют в повышении их уровня. Это происходит в годы с большим количеством осадков в виде проливных дождей, в периоды интенсивных промывок или сразу после их окончания.

Согласно материалам Каракалпакской гидрогеолого-мелиоративной экспедиции, в пределах орошаемой зоны Республики Каракалпакстан имеются бассейны крупных магистральных коллек-

торов (КС-1, КС-3, КС-4, ККС, Главный южный коллектор), большая часть стока которых направлена в сторону Аральского моря, а также отводится в различные ирригационно-сбросовые озера.

К концу рассматриваемого периода коллекторно-дренажный сток с орошаемой зоны выносился 13 магистральными и межхозяйственными коллекторами.

Ограниченность водных ресурсов является сдерживающим фактором в расширении орошаемого фонда земель, которыми в значительной степени располагает Республика Каракалпакстан.

В амударьинской воде преобладают ионы  $\text{Cl}$  и  $\text{SO}_4$ , далее располагаются  $\text{Na} + \text{K}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{HCO}_3$ . При высокой минерализации воды наблюдается незначительное преобладание содержания  $\text{SO}_4$  над  $\text{Cl}$ . С ростом общей минерализации воды содержание таких основных ионов, как  $\text{Cl}$  и  $\text{SO}_4$ , растет, а темпы роста ионов  $\text{Ca}$ ,  $\text{Na} + \text{K}$  и  $\text{Mg}$  ослабевают.

Анализ многолетних изменений водного режима Амударьи во времени и по длине реки показывает, что по мере продвижения вниз по течению водоносность реки уменьшается. Так, например, динамика речного стока у створа Саманбай по отдельным десятилетиям выглядит следующим образом: в 1931–1960 гг. –  $47,4 \text{ км}^3$ ; в 1961–1970 гг. –  $35,8 \text{ км}^3$ ; в 1971–1980 гг. –  $17,1 \text{ км}^3$ ; в 1981–1990 гг. –  $5,37 \text{ км}^3$  и в 1991–2001 гг. –  $9,62 \text{ км}^3$ .

Минерализация воды в верхнем течении составляет  $0,47\text{--}0,58 \text{ г/л}$ , к створу Туямуюн повышается до  $0,69\text{--}0,86 \text{ г/л}$ , а у г. Нукуса (Саманбай) превышает  $1,00 \text{ г/л}$ .

### **Выводы**

1 При проведении исследования некоторых мелиоративных характеристик орошаемой зоны Республики Каракалпакстан были использованы бассейновый ландшафтно-геохимический метод и метод гидромелиоративного мониторинга [3–4].

2 Согласно анализу данных, собранных во время командировок в БВО «Амударья» Каракалпакской областной гидрогеологической экспедиции, в низовьях реки Амударьи большая часть орошаемых земель в той или иной степени засолена ( $78,01 \%$ ), а среди земель, пригодных к освоению, засоленные почвы и почвы, подверженные засолению при орошении, занимают основную часть.

3 В Республике Каракалпакстан на орошаемой площади размером 515,3 тыс. га грунтовые воды на глубине 0,0–1,0 м занимают 7,8 тыс. га; 1,0–1,5 м – 48,9 тыс. га; 1,5–2,0 м – 267,8 тыс. га; 2,0–3,0 м – 120,9 тыс. га; 3,0–5,0 м – 66,9 тыс. га; более 5,0 м – 2,25 тыс. га. Минерализация грунтовых вод изменяется следующим образом: грунтовые воды с минерализацией 0–1 г/л занимают 2,7 тыс. га; 1–3 г/л – 439,7 тыс. га; 3–5 г/л – 72,8 тыс. га; 5–10 г/л – 6,06 тыс. га и более 10 г/л – 0,3 тыс. га.

4 Коллекторно-дренажный сток оказывает влияние на мелиоративное состояние низовий р. Амударьи и является его показателем. К концу периода с 1991 по 2007 г. коллекторно-дренажный сток с орошаемой территории Каракалпакстана выносился магистральными и межхозяйственными коллекторами в объеме 2,20 км<sup>3</sup>/год. Среднегодовая величина минерализации в коллекторах изменялась от 1,74 (коллектор КС-1) до 3,94 г/л (Правомангитский), преобладающий химический состав коллекторно-дренажных вод не изменился и был по-прежнему хлоридно-сульфатным магниево-натриевым (ХС-МН).

5 За последние 25–30 лет в Южном Приаралье резко ухудшилась мелиоративная обстановка, связанная с дефицитом воды и существенным снижением уровня акватории Аральского моря (до 30,7 м н. у. м.). С осушенного дна моря интенсивными темпами ежегодно происходят перенос пыли и соли и их выпадение на окружающую территорию, что ведет к засолению водных источников и земель республики. В результате этих негативных явлений народному хозяйству республики и здоровью населения наносится серьезный ущерб, поэтому необходимо принять срочные меры по борьбе с этими негативными явлениями.

### **Список использованных источников**

1 Рамазанов, А. Р. Некоторые вопросы мелиорации засоленных земель в низовьях Амударьи / А. Р. Рамазанов, Е. Курбанбаев, Х. И. Якубов. – Нукус: «Каракалпакстан», 1979. – 221 с.

2 Современное состояние коллекторно-дренажной системы Республики Каракалпакстан / Ш. Б. Толепова, Р. Т. Хожамуратова [и др.] // Экологическое образование и устойчивое развитие: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Нукус, 12–13 октября 2004 г. – Нукус, 2004. – С. 89–91.

3 Чембарисов, Э. И. Практическая гидроэкология (на примере Республики Каракалпакстан): учеб. пособие / Э. И. Чембарисов, Р. Т. Хожамуратова. – Нукус: БИЛИМ, 2012. – 84 с.

4 Чембарисов, Э. И. Гидрохимия речных и дренажных вод Средней Азии / Э. И. Чембарисов, Б. А. Бахритдинов. – Ташкент: «Укитувчи», 1989. – 232 с.

УДК 626.810

**Э. И. Чембарисов, Т. Ю. Лесник, А. Б. Насрулин**

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

**Т. Э. Чембарисов**

Национальный Университет Узбекистана им. М. Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан

## **СОВРЕМЕННОЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ НАВОИЙСКОЙ ОБЛАСТИ УЗБЕКИСТАНА**

В статье рассмотрены некоторые проблемы мелиорации засоленных земель Навоийской области Узбекистана. Приведены краткая характеристика природных условий данной области, описание факторов, влияющих на засоление почв, сведения о засоленности почв и грунтовых вод и мероприятиях, направленных на борьбу с этим процессом. Перечислены меры государственного регулирования и поддержки мероприятий по улучшению мелиоративного состояния земель Узбекистана. В целях дальнейшего улучшения водопользования и мелиоративного состояния орошаемых земель Навоийской области планируется выполнение следующих мероприятий: проведение комплексной реконструкции оросительной сети на 32,9 тыс. га; строительство и переустройство коллекторно-дренажной сети на 7,9 тыс. га; капитальная планировка земель на 4,1 тыс. га и повышение водообеспеченности земель на 3,5 тыс. га.

Ключевые слова: засоление земель, влияющие на засоление факторы, особенности мелиорации земель в Навоийской области Узбекистана, меры борьбы с засолением земель.

Навоийская область – самая молодая в стране, она создана 20 апреля 1982 года из части территорий Бухарской и Самаркандской областей. По площади Навоийская область занимает первое место в Узбекистане, а по численности населения – предпоследнее (опережая лишь Сырдарьинскую область).

Рельеф области разнообразен: на севере простирается пустыня Кызылкум, на юго-востоке территория переходит в адыры и горы. В Кызылкуме встречаются останцовые горы высотой 500–900 м, между которыми расположены впадины. Климат резко континентальный: лето жаркое, сухое, зима холодная и сравнительно сухая. Средняя температура января от 0 до минус 4 °С, июля – от плюс 27 до плюс 30 °С. Осадков выпадает мало – от 108 мм на севере до 200 мм на юго-востоке.

Почвы пустынные, песчаные, серо-бурые, такырные, солончаковые, в долине Зарафшана – староорошаемые луговые. Из раститель-

ности встречаются саксаул, песчаная акация, селин, полынь, янтак, кандым, солянка, у водоемов – заросли камыша.

Население области размещено крайне неравномерно. Особенно мала плотность населения в Учкудукском районе. Быстрое развитие промышленности привело к увеличению городского населения. В области быстро растут города и поселки.

Северная часть области пригодна лишь для пастбищного животноводства. Здесь круглый год пасутся овцы каракульской породы. Для овцеводства пригодны также предгорья и адыры в юго-восточной части области. Долина Зарафшана и южная часть области, куда подается вода из Амударьи, используются для поливного земледелия.

Основные отрасли сельского хозяйства Навоийской области – каракулеводство и хлопководство. Хорошо развиты также шелководство, садоводство и виноградарство. Область является ведущей в стране по пустынному животноводству. В пустыне Кызылкум созданы крупные специализированные каракулеводческие хозяйства. Только в Тамдынском районе имеется 10 таких хозяйств. Ведется эффективная работа по обеспечению пастбищ водой, осуществляются фитомелиоративные мероприятия по увеличению их продуктивности.

Промышленность кроме хлопкоочистительных заводов, расположенных в центрах районов, представлена предприятиями электроэнергии, цветной металлургии, химического производства, строительной индустрии, пищевой отрасли. Область занимает ведущее место в республике по выработке электроэнергии, основную часть которой производит Навоийская ГРЭС.

Навоийская область расположена в средней части бассейна р. Зарафшан. Источниками водных ресурсов области служат реки Зарафшан и Амударья через систему Аму-Бухарского канала (АБК), а также саи, родники и подземные воды. При общей площади орошаемых земель 131,8 тыс. га из р. Зарафшан вода подается в шесть оросительных систем площадью 66,6 тыс. га, из р. Амударьи – по АБК в две системы площадью 29 тыс. га, из скважин и родников орошаются отдельные системы площадью 30 тыс. га.

Водообеспеченность орошаемых земель зависит от поступления воды по р. Зарафшан, Аму-Бухарскому каналу и каналам Самаркандской области [1–4].

Мелиоративное состояние орошаемых земель на относительно

стабильном уровне поддерживается работой коллекторно-дренажной сети. Общая протяженность ее составляет 2692 км, в том числе магистральных и межхозяйственных коллекторов – 1045 км, внутрихозяйственных коллекторов – 1647 км, закрытого горизонтального дренажа – 56 км. Удельная протяженность дренажа в среднем по области составляет 25,9 км/га.

Более подробные сведения об использовании водно-земельных ресурсов и мелиоративном состоянии орошаемых земель в разрезе административных районов приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Сведения об использовании водно-земельных ресурсов и мелиоративном состоянии орошаемых земель Навоийской области в 2009–2010 гг.**

Наименование района	Суммарный водозабор, млн м <sup>3</sup>	Орошаемая площадь, тыс. га	Из них обеспечено дренажем, тыс. га	Мелиоративное состояние земель, тыс. га			Коллекторный сток, млн м <sup>3</sup>
				хорошее	удовлетворительное	неудовлетворительное	
Карманинский	323,16	25,1	20,6	-	24,3	0,8	102,31
Канимехский	106,64	5,0	5,0	-	4,6	0,4	34,28
Кызылтепинский	536,42	32,4	32,3	-	29,1	3,3	294,47
Навбахорский	343,69	25,5	23,2	-	23,6	1,9	254,47
Хатырчинский	361,55	39,3	20,4	14,4	23,4	1,5	78,31
Всего	1671,46	127,3	101,5	14,4	105,0	7,9	763,84

Площадь орошаемых земель с залеганием уровня грунтовых вод до 2,0 м составляет 45,0 тыс. га, или 34 % от общей площади. Площадь средне- и сильнозасоленных земель составляет 28,1 тыс. га, или 21,3 % от общей площади.

Согласно кадастру оценка мелиоративного состояния орошаемых земель по уровню грунтовых вод и засолению почв следующая: хорошее состояние наблюдается на 16,8 тыс. га (или на 12,7 % от всей орошаемой площади); удовлетворительное – на 107,1 тыс. га (81,3 %); неудовлетворительное – на 7,9 тыс. га (6,0 %) (таблица 2).

Суммарный водозабор на орошение в последние годы изменяется от 1,67 до 1,88 км<sup>3</sup>, вместе с оросительной водой на поливные угодья поступает 1,49–2,33 млн т солей. Коллекторный сток изменяется в пределах 0,75–0,88 км<sup>3</sup>, вместе с ним с орошаемой территории выносятся 2,16–2,82 млн т солей. Следовательно, в данном ирригационном районе в целом наблюдается рассоление орошаемых почв и грунтов (таблица 3).



**Таблица 2 – Сведения о засоленности орошаемых земель Навоийской области**

Район	Год	Орошаемая площадь, тыс. га	Площадь незасоленных земель		Площадь засоленных земель		В том числе					
							сильнозасоленные		среднезасоленные		слабозасоленные	
			тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
1 Карманинский	2011	25,1	-	-	25,1	100,0	0,6	2,4	4,0	15,9	20,5	81,7
	2012	25,1	1,0	4,0	24,1	96,0	0,3	1,3	1,4	5,5	22,4	89,2
2 Канимехский	2011	5,0	-	-	5,0	100,0	-	-	0,2	4,0	4,8	96,0
	2012	5,0	0,78	15,6	4,2	84,4	-	-	0,6	12,0	3,6	72,4
3 Кызылтепинский	2011	32,4	-	-	32,4	100,0	1,1	3,4	6,8	21,0	24,5	75,6
	2012	32,4	0,8	2,5	31,6	97,5	0,4	1,2	4,8	14,9	26,4	81,4
4 Навбахорский	2011	25,5	-	-	25,5	100,0	0,8	3,1	5,5	21,6	19,2	75,3
	2012	25,5	0,91	3,6	24,6	96,4	0,7	2,7	5,4	21,2	18,5	72,5
5 Нуратинский	2011	4,5	2,4	53,3	2,1	46,7	-	-	-	-	2,1	46,7
	2012	4,5	2,4	53,3	2,1	46,7	-	-	-	-	2,1	46,7
6 Хатырчинский	2011	39,3	14,4	36,6	24,9	63,4	0,3	1,2	1,9	7,6	22,7	54,6
	2012	39,3	15,4	39,2	23,9	60,8	0,1	0,3	1,0	2,5	22,8	58,0
Всего по области	2011	131,8	16,8	12,7	115,0	87,3	2,8	2,4	18,4	13,9	93,8	71,0
	2012	131,8	21,3	16,1	110,5	83,9	1,5	1,2	13,2	10,0	95,8	72,7

**Таблица 3 – Приближенный водно-солевой баланс орошаемых земель Навоийской области**

Район	Год	Приходная часть			Поступление солей, т		Расход солей			Вынос солей (тонн)	
		Водозабор на орошение, млн м <sup>3</sup>	Качество воды, г/л		количество солей	хлор	Объем коллекторно-дренажных вод, млн м <sup>3</sup>	Качество коллекторно-дренажных вод, г/л		количество солей	хлор
			минерализация	хлор				минерализация	хлор		
Всего по области	2011	1522,38	1,479	0,148	2251362	224957	735,98	2,978	0,366	2191886	269148
	2012	2185,39	1,282	0,127	2801195	277380	866,41	3,172	0,323	2748533	279620
1 Карманинский	2011	276,33	1,527	0,141	422042	38875	88,44	2,886	0,240	255271	21228
	2012	389,16	1,326	0,125	516278	48721	101,46	2,729	0,242	276867	24509
2 Канимехский	2011	48,71	1,232	0,102	60011	4968	45,30	2,719	0,210	123174	12560
	2012	80,07	1,414	0,115	113219	9208	56,40	3,191	0,207	179983	11668
3 Кызылтепинский	2011	570,24	1,844	0,215	1051765	122583	251,44	4,520	0,630	1007301	184276
	2012	743,16	1,580	0,178	1174841	132682	291,51	4,470	0,627	1303080	182849
4 Навбахорский	2011	270,59	1,416	0,123	383418	33199	206,37	2,624	0,156	541501	32165
	2012	468,24	1,414	0,115	662330	53684	262,95	2,793	0,166	711039	41223
5 Хатырчинский	2011	356,51	0,937	0,071	334128	25332	144,43	1,832	0,131	264639	18919
	2012	504,76	0,982	0,065	334527	33085	154,45	1,797	0,125	277565	19372

В последние годы в Навоийской области создано более 40 ассоциаций водопользователей, из них в Карманинском районе – 5, в Кызылтепинском – 14, в Канимехском – 2, в Навбахорском – 13 и в Хатырчинском – 10.

С учетом важности улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель были приняты Указ Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2007 г. № УП-3932 «О мерах по коренному совершенствованию системы мелиоративного улучшения земель», Постановление Президента Республики Узбекистан от 31 октября 2007 г. № ПП-718 «Об организации деятельности фонда мелиоративного улучшения орошаемых земель при Министерстве финансов Республики Узбекистан» и Постановление Президента Республики Узбекистан от 19 марта 2008 г. № ПП-817 «О государственной программе мелиоративного улучшения орошаемых земель на период 2008–2012 годы» [5–8].

В соответствии с данными постановлениями в республике в 2008–2012 гг. были проведены реконструкция и строительство более 3,5 тыс. км магистральных, межрайонных и внутрихозяйственных коллекторов, более 7,6 тыс. км дренажной сети.

В целом за последние 5 лет по республике освоено 800 млрд сум на мелиоративные мероприятия (реконструкцию и строительство дренажной сети, гидротехнических и мелиоративных сооружений и пр.), и в результате улучшено мелиоративное состояние земель на площади более 1200 тыс. га. Внедрены водосберегающие технологии на общей площади 4,0 тыс. га, в т. ч. капельное орошение на 639 га в Самаркандской области.

Наряду с этим на сегодняшний день с привлечением иностранных инвестиций реализуется девять проектов под гарантию правительства республики, направленных на улучшение мелиоративного состояния земель, совершенствование водохозяйственного сектора, строительство и реконструкцию насосных станций, ирригационных сетей. В их числе проект «Улучшение мелиоративного состояния земель Бухарской, Навоийской и Кашкадарьинской областей» стоимостью 96 млн долларов.

В целях дальнейшего улучшения водопользования и мелиоративного состояния орошаемых земель Навоийской области планируется выполнение следующих мероприятий: проведение комплексной реконструкции оросительной сети на 32,9 тыс. га; строительство и пе-

реустройство коллекторно-дренажной сети на 7,9 тыс. га; капитальная планировка земель на 4,1 тыс. га и повышение водообеспеченности земель на 3,5 тыс. га.

### **Список использованных источников**

1 Шодиев, С. Р. Коллекторно-дренажные воды Юго-Западного Узбекистана / С. Р. Шодиев, Э. И. Чембарисов // Проблемы освоения пустынь. – 2007. – № 4. – С. 15–16.

2 Чембарисов, Э. И. Методика гидроэкологического мониторинга оценки качества поверхностных вод / Э. И. Чембарисов, А. Б. Насрулин, Т. Ю. Лесник // Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад, 2005. – № 1. – С. 32–36.

3 Чембарисов, Э. И. Изучение современного гидрологического и гидрохимического режимов воды р. Амударьи в целях обеспечения гидроэкологической безопасности / Э. И. Чембарисов, А. Б. Насрулин, Т. Ю. Лесник // Водная, энергетическая и продовольственная безопасность в странах ВЕКЦА: проблемы и решения: сб. науч. тр. – Ташкент: НИЦ МКВК, 2013. – Вып. 6. – С. 164–173.

4 Чембарисов, Э. И. Роль коллекторно-дренажных вод орошаемых территорий в системе водопользования Узбекистана / Э. И. Чембарисов, С. Р. Шодиев, Ф. К. Шамсиев // Материалы VII Съезда Географического общества Узбекистана. – Ташкент, 2006. – С. 238–239.

5 Водное хозяйство Узбекистана / МСВХ РУз, НИЦ МКВК. – Ташкент, 2011. – 104 с.

6 Национальный доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов в Республике Узбекистан (2008–2011 гг.). – Ташкент: «CHINOR ENK», 2013. – 254 с.

7 О государственной программе мелиоративного улучшения орошаемых земель на период 2008–2012 годы: Постановление Президента Республики Узбекистан от 19 марта 2008 г. № ПП-817 // Ведомости палат Олий Мажлиса Республики Узбекистан. – 2008. – № 3. – С. 164.

8 О мерах по коренному совершенствованию системы мелиоративного улучшения земель: Указ Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2007 г. № 4П-3932 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uza.uz/ru/documents/o-merakh-po-korenному-sovershenstvovaniyu-sistemy-meliorativnogo-uluchsheniya-zemel-29.10.2007-1135>, 2014.

УДК 628.35

**В. Ю. Борисова**

Южно-Российский Государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ОБЛАСТИ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА**

В результате анализа полученных в лабораторном эксперименте данных выявлено, что из всех спектров для сообщества активного ила наиболее подходящими являются красные и синие световые лучи. Одним из этапов исследований являлось получение

на основании экспериментальных данных уравнения регрессии, которое бы описывало биологическую очистку сточных вод с использованием освещения в зависимости от различных факторов: дозы питания, времени обработки, частоты освещения, длины волны света. Была проведена регрессионная обработка результатов дробного факторного эксперимента с двумя повторностями. Оценку однородности дисперсий экспериментальных данных выполняли путем сравнения табличного значения критерия Кохрена с величиной, рассчитанной по формуле. При анализе эффективности биологической очистки сточных вод в аэротенках обнаружено, что для уменьшения химического потребления кислорода требуется уменьшение дозы питания, длины волны, времени обработки. Результаты регрессионного анализа позволили определить наиболее значимые факторы влияния на биологическую очистку сточных вод с использованием освещения и разработать практические рекомендации по проектированию сооружений этой очистки.

Ключевые слова: водное хозяйство, биологическая очистка сточных вод, аэротенк, свет, факторы варьирования, уравнения окислительных процессов.

Одним из перспективных направлений интенсификации работы сооружений биологической очистки сточных вод является применение искусственного освещения в темное время суток.

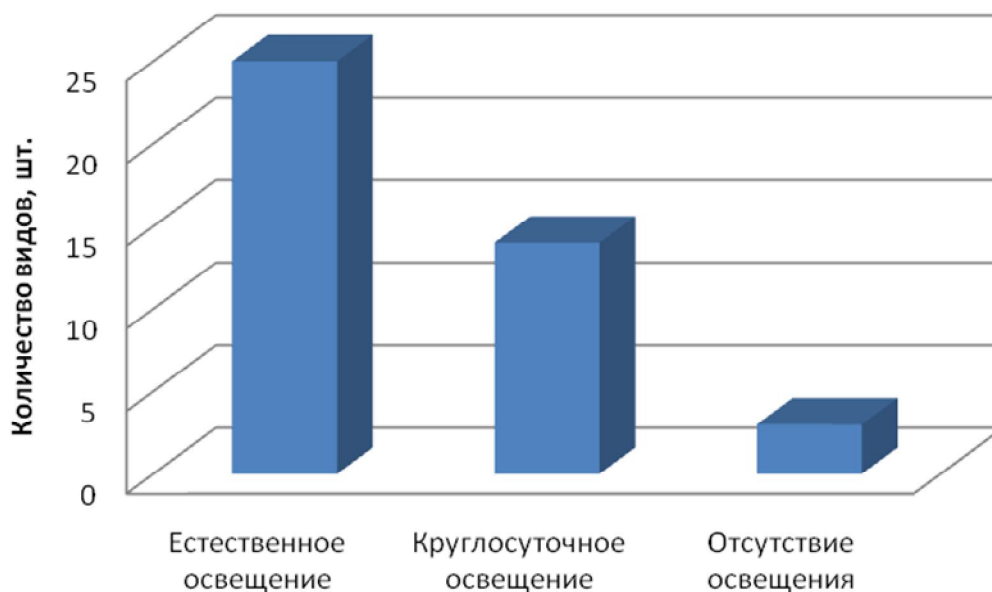
Поскольку активный ил представляет собой альгобактериальное сообщество, то определение его окислительных свойств в условиях освещенности или ее отсутствия представляет научный и практический интерес [1].

На изменения в уровне освещенности в первую очередь реагируют представители протозоофауны. Полная гибель или инцистирование при отсутствии света могут привести к выпадению их как экологической ниши в пищевой пирамиде биоценоза активного ила, что, как следствие, может стать причиной нарушения нормальной работы аэротенка [2]. Изучение сезонной динамики численности отдельных групп водорослей в сточных водах, прошедших стадию биологической очистки, показало, что их видовое разнообразие находится в тесной взаимосвязи с продолжительностью светового дня (рисунок 1). Установлено, что в осенне-зимний период преобладают в основном диатомовые водоросли, в весенне-летний период – сине-зеленые и зеленые водоросли [3, 4].

Таким образом, целесообразно провести исследование влияния искусственного освещения на интенсивность окислительных процессов экосистемы активного ила.

Известно, что лучший спектр частот для фотосинтеза лежит в диапазонах 400–450 и 650–700 нм [5]. Волны, лежащие в диапазоне около 550 нм, мало востребованы растениями. Наиболее длинноволновой спектр – красный – оказывает тепловое воздействие, но хими-

ческих превращений не вызывает. Синий же цвет, наоборот, стимулирует деление клеток (таблица 1).



**Рисунок 1 – Влияние света на видовое разнообразие биоценоза активного ила**

**Таблица 1 – Влияние спектра света на модельные азротенки**

Спектр света	Длина волны, нм	Окислительно-восстановительный потенциал $Eh$ , мВ	
		Тип азротенка	
		№ 1 (освещаемый)	№ 2 (темный)
Красный	630–770	90	–40
Синий	440–480	110	90
Зеленый	520–560	–10	–20

В результате анализа полученных в эксперименте данных было выявлено, что из всех спектров для сообщества активного ила наиболее подходящими являются красные и синие световые лучи, т. к. зеленые «жители ила» отражают, другие цвета не воспринимают.

Одним из этапов исследований являлось получение на основании экспериментальных данных уравнения регрессии, которое бы описывало биологическую очистку сточных вод с использованием освещения в зависимости от различных факторов: дозы питания, времени обработки, частоты освещения, длины волны света.

В результате была проведена регрессионная обработка результатов дробного факторного эксперимента с двумя повторностями [6]. Расчет параметров уравнения регрессии выполняли для контролируемых показателей очистки сточных вод, так называемых параметров

оптимизации:  $rH_2$  – отрицательный логарифм молекулярного давления газа, зависящий от окислительно-восстановительного потенциала системы  $Eh$ ; ХПК – химическое потребление кислорода.

Оценку однородности дисперсий экспериментальных данных выполняли путем сравнения табличного значения критерия Кохрена с величиной, рассчитанной по формуле:

$$G_{\text{эксп}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_1^N S_j^2},$$

где  $S_{\text{max}}^2$  – максимальная дисперсия;

$S_j^2$  – дисперсия каждого опыта.

Коэффициенты уравнения регрессии определяли по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j,$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j \cdot x_{ji},$$

где  $N$  – число опытов;

$x_{ji}$  – факторы эксперимента;

$y_j$  – параметры оптимизации процесса ( $rH_2$  и ХПК).

Проверку значимости коэффициентов уравнений регрессии  $b_i$  проводят путем сравнения их с величиной  $t_{st}$ , определяемой выражением:

$$b_i = t_{st} \cdot S_{bi},$$

где  $t_{st}$  – критерий Стьюдента;

$S_{bi}$  – среднеквадратичная ошибка коэффициентов уравнения регрессии, вычисляемая по формуле:

$$S_{bi} = \frac{\sqrt{\sum S_i^2}}{N}.$$

Значения уровней и интервалов факторов, от которых зависит эффект очистки, представлены в таблице 2.

Для проведения серии опытов была также составлена матрица планирования полуреплики полного факторного эксперимента типа  $2^3$  (таблица 3) со смешанными эффектами взаимодействия  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{23}$ .



**Таблица 2 – Факторы, влияющие на процесс биологической очистки сточных вод в лабораторных условиях**

Обозначение	Фактор, размерность	Уровень			Интервал
		-1	0	1	
$X_1$	Доза питания	25	62,5	100	37,5
$X_2$	Длина волны, нм	485	612,5	740	127,5
$X_3$	Время обработки, ч	1	2,5	4	1,5

**Таблица 3 – Матрица планирования эксперимента**

Номер	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{23}$
1	-	-	-	+1	+1	+1
2	+	-	-	-1	-1	+1
3	-	+	-	-1	+1	-1
4	-	-	+	+1	-1	-1
5	+	+	-	+1	-1	-1
6	+	-	+	-1	+1	-1
7	-	+	+	-1	-1	+1
8	+	+	+	+1	+1	+1
9	0	0	0	0	0	0

Полное интерполяционное уравнение для  $rH_2$  выглядит следующим образом:

$$Y_{\text{расч}} = 15,26 - 0,007X_1 - 0,10X_2 + 0,131X_3 + 0,007X_{12} + 0,045X_{13} + 0,131X_{23}.$$

После исключения незначимых коэффициентов  $|b_i| < b_i$  с учетом критерия Стьюдента получили уравнение регрессии:

$$Y_{\text{ХПК}} = 15,26 - 0,10X_2 + 0,131X_3 + 0,131X_{23}.$$

Переход от кодированных факторов к натуральным осуществляется по следующей формуле:

$$\frac{\lambda - \text{нулевой уровень}}{\text{интервал варьирования}} = \frac{\lambda - 612,5}{127,5},$$

где  $\lambda$  – длина волны, нм;

$$\frac{T - \text{нулевой уровень}}{\text{интервал варьирования}} = \frac{T - 2,5}{1,5},$$

где  $T$  – время обработки, ч.

Тогда получим уравнение:

$$rH_2 = 15,26 - 0,1 \cdot X_2 + 0,131 \cdot X_3 + 0,131 \cdot X_{23} = 15,26 - 0,1 \cdot \left[ \frac{(\lambda - 612,5)}{127,5} \right] +$$

$$+ 0,131 \cdot \left[ \frac{(T - 2,5)}{1,5} \right] + 0,131 \cdot \left[ \frac{(\lambda - 612,5)(T - 2,5)}{127,5 \cdot 1,5} \right] =$$

$$= 16,5936 - 0,0026\lambda + 1,1592 \cdot T + 0,0007 \cdot \lambda T.$$

Анализируя эффективность биологической очистки сточных вод в аэротенках, можно увидеть, что для увеличения  $rH_2$  требуется уменьшение длины волны  $X_2$  и увеличение времени обработки  $X_3$ . Но также их совместное действие положительно влияет на эффективность очистки вод в линейных взаимодействиях факторов  $X_{23}$ , которые одновременно следует повышать для увеличения. Фактор  $X_1$  – доза питания – статистически незначим.

Полное интерполяционное уравнение для ХПК выглядит следующим образом:

$$Y_{\text{расч}} = 1125 + 225X_1 + 300X_2 - 125X_3 + 150X_{12} + 75X_{13} + 50X_{23}.$$

После исключения незначимых коэффициентов  $|b_i| < b_i$  с учетом критерия Стьюдента получили уравнение регрессии:

$$Y_{\text{расч}} = 1125 + 225X_1 + 300X_2 + 150X_{12} + 75X_{13} + 50X_{23}.$$

Переход от кодированных факторов к натуральным осуществляется по следующей формуле:

$$\frac{\text{Д-нулевой уровень}}{\text{интервал варьирования}} = \frac{\text{Д} - 62,5}{37,5},$$

где Д – доза питания, мг/л;

$$\frac{\lambda - \text{нулевой уровень}}{\text{интервал варьирования}} = \frac{\lambda - 612,5}{127,5},$$

где  $\lambda$  – длина волны, нм.

Тогда получим уравнения:

$$\text{ХПК} = Y_{\text{расч}} = 1125 + 225 \frac{\text{Д} - 62,5}{37,5} + 300 \frac{\lambda - 612,5}{127,5} + 150 \frac{(\text{Д} - 62,5)(\lambda - 612,5)}{37,5 \cdot 127,5} +$$

$$+ 75 \frac{(\text{Д} - 62,5)(T - 2,5)}{37,5 \cdot 1,5} + 50 \frac{(\lambda - 612,5)(T - 2,5)}{127,5 \cdot 1,5},$$

$$\text{ХПК} = 1096,7 - 16,24\text{Д} - 0,29\lambda - 240,6T + 0,031\text{Д}\lambda + 1,3\text{Д}T + 0,026\lambda T.$$

Анализируя эффективность биологической очистки сточных вод в аэротенках, можно увидеть, что для уменьшения ХПК требуется уменьшение дозы питания  $X_1$ , длины волны  $X_2$ , времени обработки  $X_3$ . Но также их совместное действие положительно влияет на эффективность очистки вод в линейных взаимодействиях факторов  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{23}$ , которые следует увеличивать одновременно.

Результаты регрессионного анализа позволяют определить наиболее значимые факторы влияния на биологическую очистку с использованием освещения и разработать практические рекомендации по проектированию сооружений этой очистки.

### **Список использованных источников**

1 Влияние освещенности биомассы на технологические параметры аэротенков / В. Ю. Борисова, Е. В. Скибина, Н. С. Серпокрьлов, Я. Ю. Каменев // Технологии очистки воды «Техновод-2011»: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., г. Чебоксары, 20–23 сентября 2011 г. – Новочеркасск, 2011. – С. 149–153.

2 Колесников, В. П. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях / В. П. Колесников, Е. В. Вильсон; под ред. В. К. Гордеева-Гаврикова. – Ростов н/Д.: «Изд-во «Юг», 2005. – 212 с.

3 Возная, Н. Ф. Химия воды и микробиология: учеб. пос. для вузов / Н. Ф. Возная. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 340 с.

4 Чухлебова, Н. А. Водоросли искусственных сооружений биологической очистки: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Чухлебова Нина Аркадьевна. – Харьков, 1975. – 20 с.

5 Голубовская, Э. К. Биологические основы очистки воды: учеб. пос. для студентов строит. специальностей вузов / Э. К. Голубовская. – М.: Высшая школа, 1978. – 268 с.

6 Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 212 с.

УДК 626.821.3.001.2:532.5.001.57

### **Т. С. Пономаренко**

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

## **РАЗРАБОТКА ОДНОМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА ДОНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА В СРЕДЕ MIKE**

В статье описан алгоритм создания одномерной гидродинамической модели участка ДМК в среде MIKE. Приведены основные этапы разработки, калибровки и верификации модели. Представлены графические результаты моделирования на примере

участка Донского магистрального канала от головного водозаборного сооружения (ПК 0) до гидротехнического тоннеля (ПК 306+60 м).

Ключевые слова: гидродинамическая модель, участок, программный комплекс, гидрограф, граничные условия, расход, уровень воды.

С повышением эффективности оперативного и прогнозного управления водными ресурсами возрастает потребность в решении многочисленных задач, что обуславливает необходимость применения средств компьютерного цифрового моделирования гидродинамических процессов. Для решения задачи одномерного моделирования применяется программный комплекс MIKE 11, который представляет собой динамическую систему для гидравлических расчетов течений в реках и каналах, позволяющую разрабатывать компьютерные модели водных систем любой сложности, проводить сценарные расчеты и расчеты в оперативном режиме [1–3].

Для разработки гидродинамической модели был выбран участок ДМК от головного водозаборного сооружения (ПК 0) до гидротехнического тоннеля (ПК 306+60 м) (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Участок моделирования  
Донского магистрального канала**

Обоснованием выбора послужило то, что в период прохождения паводков (половодий) в случае необходимости эксплуатационная служба ДМК осуществляет попуски из Цимлянского водохранилища

в р. Сал. Технически эта операция проводится на участке ДМК от ПК 0 до ПК 306+60, где расположен вход в тоннель, далее сброс осуществляется через дюкер в русло р. Сал. В технологическом процессе переброски части паводкового стока из Цимлянского водохранилища задействован участок ДМК протяженностью более 30 км, а также несколько гидротехнических сооружений на канале (головное водозаборное сооружение, тоннель, дюкер). Таким образом, разработка одномерной цифровой модели гидродинамических процессов выполнена на примере именно этого участка.

Гидродинамическая модель ДМК создана в программном комплексе MIKE с использованием модулей MIKE 11 и MIKE Zero. Для разработки модели был использован комплекс топографических и гидрологических исходных данных.

В процессе создания модели можно выделить несколько основных этапов.

Первый этап – создание файла моделирования, который является связующим (рисунок 2). Он служит двум целям: позволяет задавать диапазон параметров моделирования, имена файлов, шаг расчета по времени, а также запускает программу моделирования; дает возможность редактору сети связываться с другими редакторами. Все последующие файлы будут прикреплены к нему в разделе «Исходная информация».

Второй этап – это создание файла водопротягивающей сети (в программе он носит название «Речная сеть»), который позволяет производить оцифровку точек, узлов и связей речных участков, притоков, разветвлений; задание водосливов, водопропускных труб и других ГТС; прикрепление водосборных бассейнов из модели поверхностного стока к речной модели; обеспечение просмотра всех данных, включенных в модель.

Редактор речной сети представлен двумя видами: табличный вид, где данные представлены в виде таблиц (рисунок 3), и графический вид, где графический редактор речной сети может обеспечивать связь с другими редакторами и представлять данные для редактирования.

Данные для создания файла речной сети при моделировании участка ДМК получены путем оцифровки космоснимка (рисунок 4).

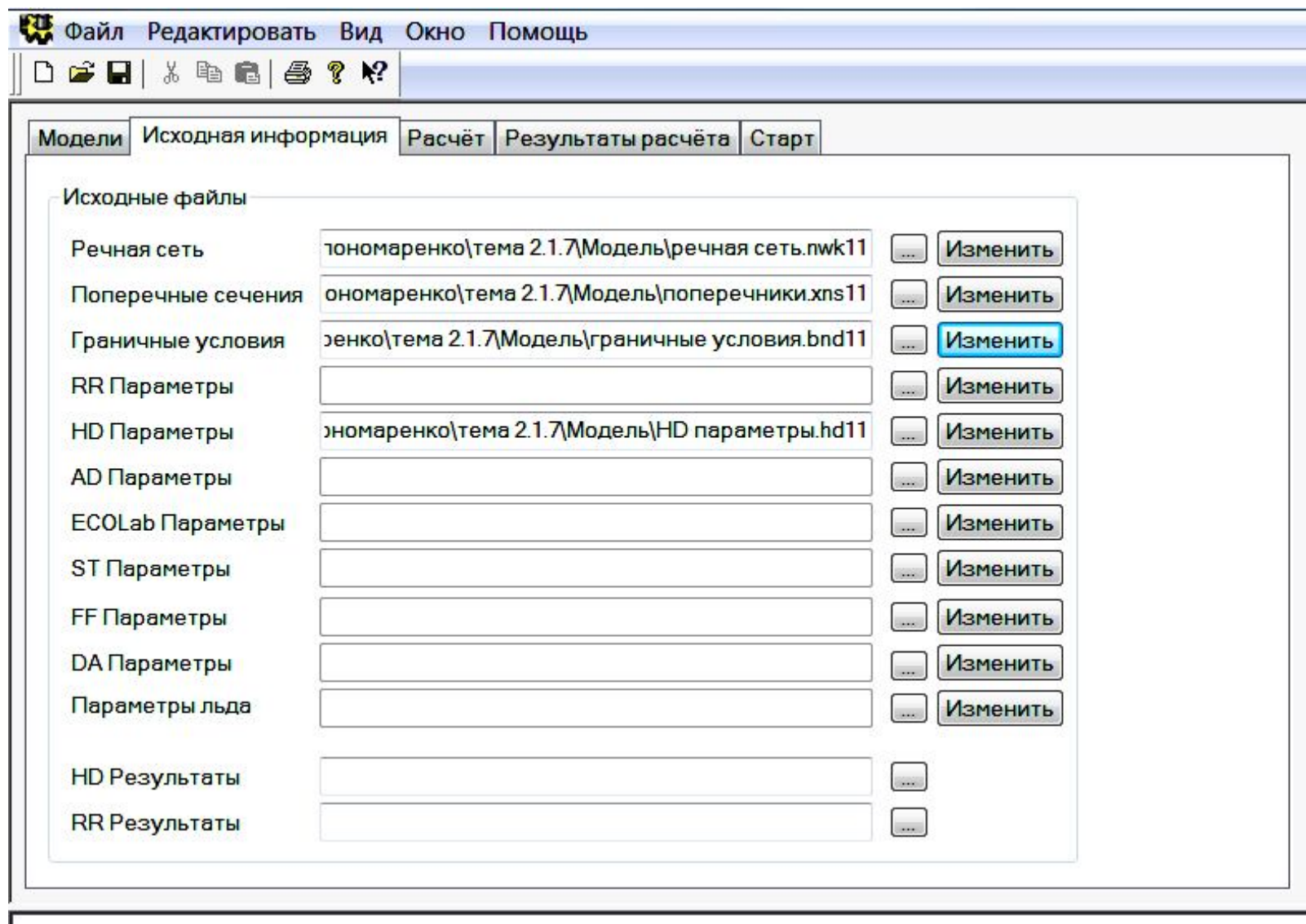


Рисунок 2 – Редактор моделирования



MIKE Zero - речная сеть

Файл Правка Вид Речная сеть Слои Настройки Окно Помощь

речная сеть.2

Привязка

X-Координата: 25920 Y-Координата: 18800

Атрибуты

Участок: ДМК Пикет: 0

Тип пикетажа: Определён пользователем

Проектор

	Х-коорд.	У-коорд.	Участок	Тип пикетажа	Пикет
1	25920	18800	ДМК	Определён пользователем	0
2	25640	18670	ДМК	Определён пользователем	500
3	25370	18540	ДМК	Определён пользователем	608.37346
4	25110	18310	ДМК	Определён системой	955.50456
5	24850	17860	ДМК	Определён системой	1475.216
6	24500	17370	ДМК	Определён системой	2077.3788
7	24130	16970	ДМК	Определён системой	2622.2641
8	23250	16130	ДМК	Определён системой	3838.8166
9	22920	15810	ДМК	Определён системой	4298.4904
10	22300	14970	ДМК	Определён системой	5342.5211
11	21910	14430	ДМК	Определён системой	6008.6292
12	21550	14140	ДМК	Определён системой	6470.9061
13	21070	13700	ДМК	Определён системой	7122.0589
14	20570	13300	ДМК	Определён системой	7762.3714
15	20240	13160	ДМК	Определён системой	8120.8403
16	19480	12850	ДМК	Определён системой	8941.6326
17	18760	12540	ДМК	Определён системой	9725.5331
18	18020	12150	ДМК	Определён системой	10562.014
19	17470	11850	ДМК	Определён системой	11188.512
20	16640	11360	ДМК	Определён системой	12152.359
21	16160	11130	ДМК	Определён системой	12684.618
22	15300	10950	ДМК	Определён системой	13563.253
23	14580	10760	ДМК	Определён системой	14307.901
24	13980	10550	ДМК	Определён системой	14943.589
25	13440	10360	ДМК	Определён системой	15516.04
26	12520	9960	ДМК	Определён системой	16519.235

Горизонт

x = 6300.3883 y = 19787.886

Select Objects NUM

11:47

Рисунок 3 – Редактор речной сети (табличный вид)

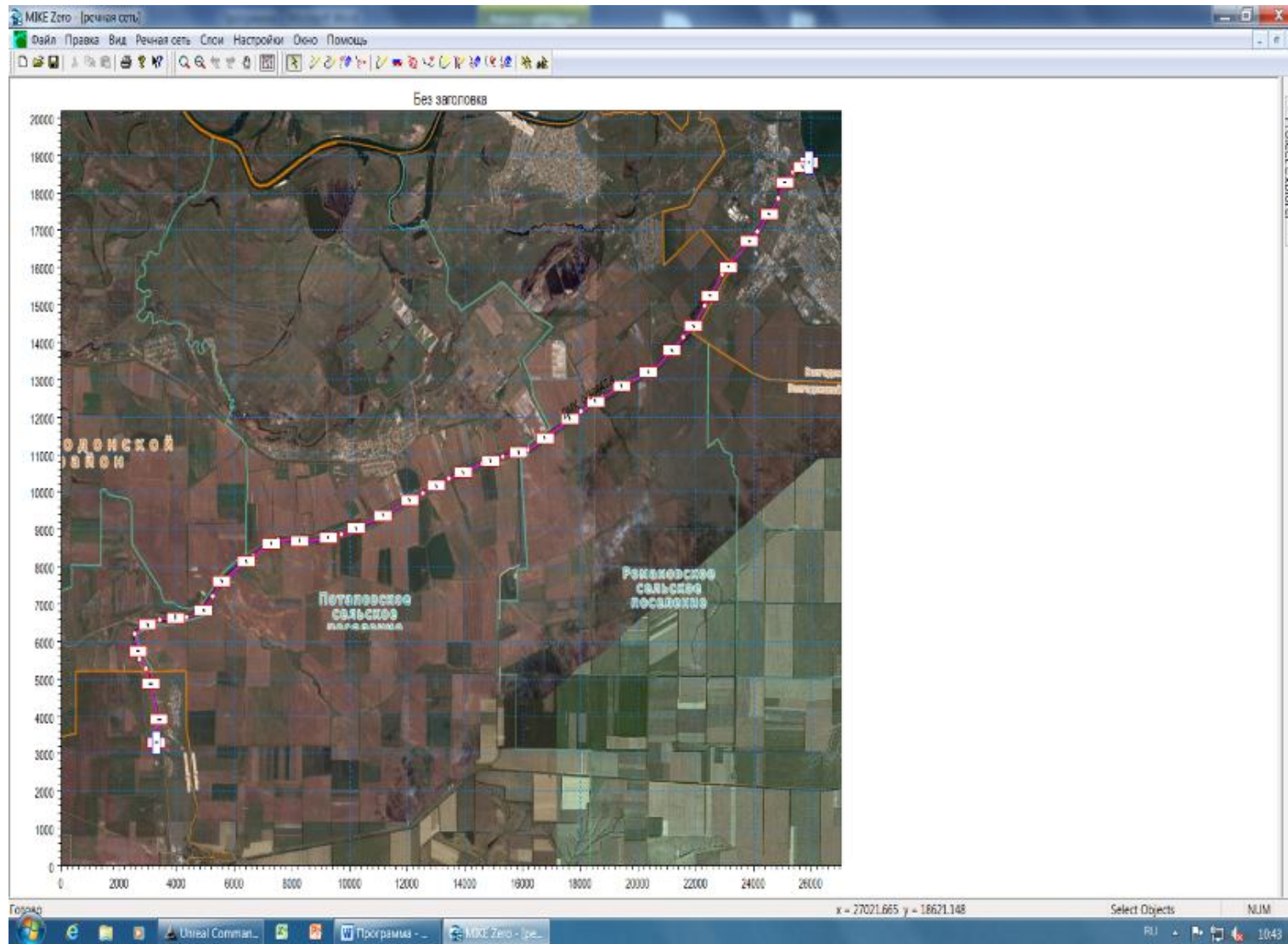


Рисунок 4 – Оцифрованный участок канала (графический вид редактора речной сети)



Третий этап – создание файла поперечных сечений, который имеет два типа набора данных: исходные и обработанные. Исходные данные описывают форму поперечных сечений, используя  $x$ - и  $z$ -координаты, получаемые обычно путем промеров и геодезических съемок. Редактор исходных данных включает в себя три вида: дерево, табличный вид и графический вид (рисунок 5). В качестве исходных данных для построения модели участка ДМК использованы материалы геодезической съемки русла канала масштаба 1:200. Для описания геометрических характеристик русла канала поперечные сечения заданы с равным интервалом 1000 м.

Четвертый этап – создание файла гидродинамических параметров, который предлагает возможность определения пользователем всех коэффициентов, используемых в гидродинамическом расчете (рисунок 6). Для моделируемого участка был задан коэффициент шероховатости, равный 0,04.

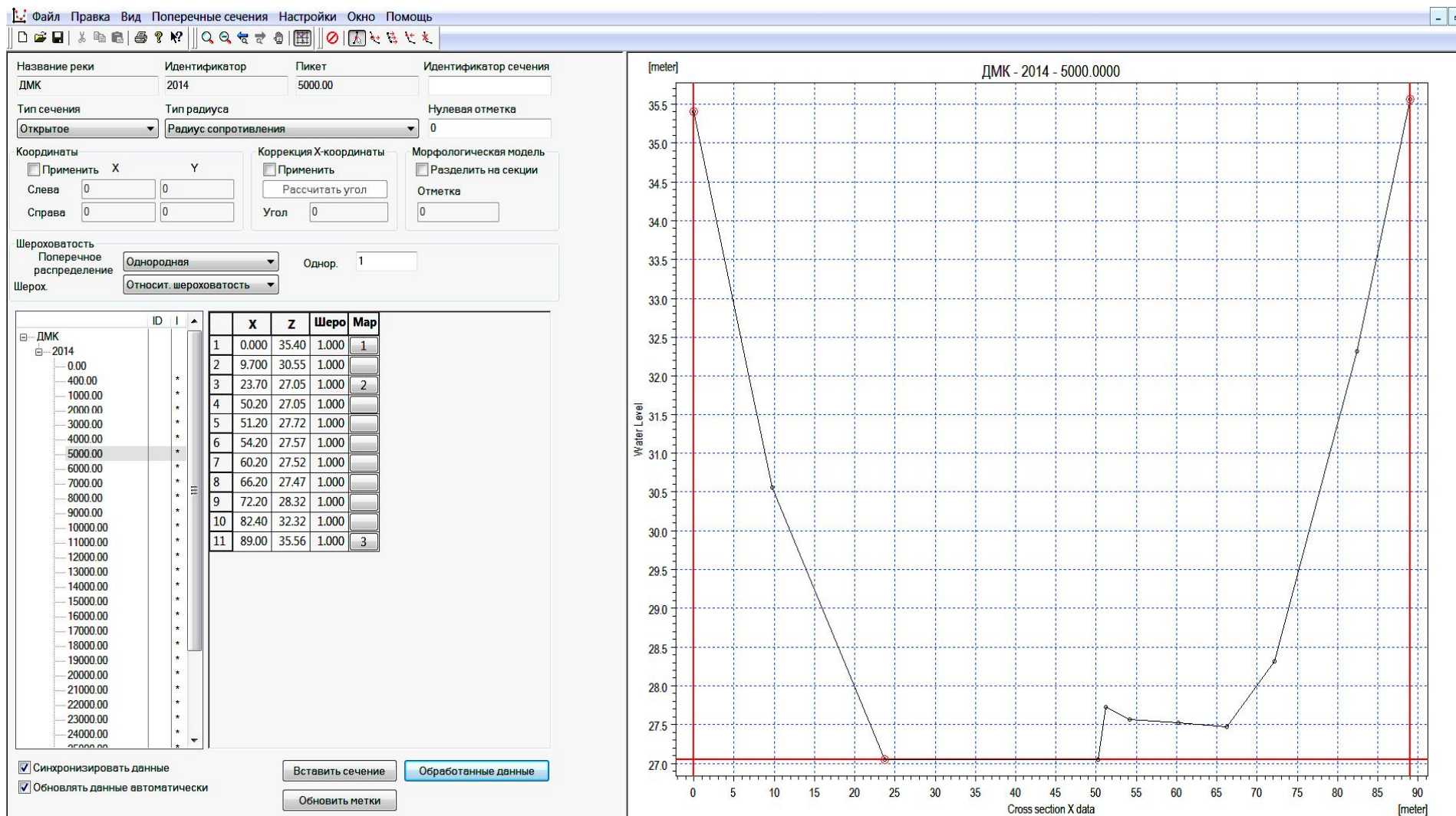
Пятый этап – создание файла граничных условий, который предназначен для объединения используемых данных временных рядов, подготовленных в соответствующем редакторе, и месторасположения этого условия в речной сети, типа условия и т. д. Этот редактор представлен двумя редакторами – временных рядов и граничных условий.

Редактор временных рядов предназначен для описания временной шкалы графиков с постоянным или переменным неравномерным шагом (рисунок 7). Здесь задается начальное время моделирования и определяется временной шаг. Для модели был выбран период моделирования с 18.04.2012 по 31.05.2012. Временной шаг – один день, число шагов – 44.

Для модели участка ДМК данные по расходам притока и уровням были получены из архивных данных эксплуатационной организации. На основании этих данных созданы графики различных характеристик потока (уровни и расходы) (рисунок 8).

В редакторе граничных условий необходимо указать описание и тип границы. При необходимости – подключить файлы временных рядов соответствующих параметров (рисунок 9).

Для модели были использованы временные ряды расходов на головном морском сооружении ДМК и расходов в гидротехническом тоннеле.



**Рисунок 5 – Редактор поперечных сечений, исходные данные (поперечное сечение участка ДМК на ПК 50)**

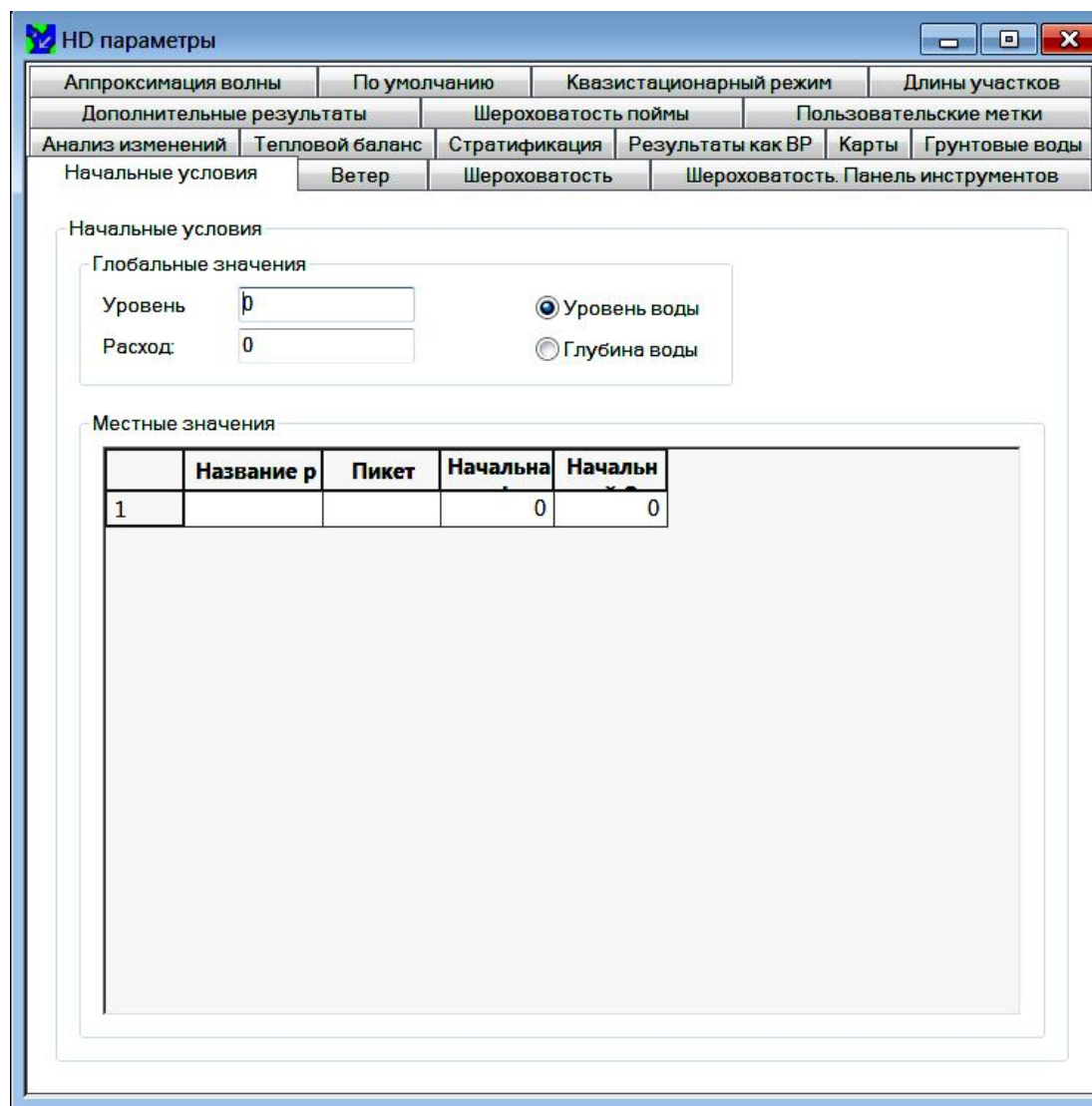


Рисунок 6 – Редактор гидродинамических параметров

Свойства

Информация

Заголовок:

Информация об оси

Тип оси:

Начальное время:

Временной шаг:  [дни]  
 [час:мин:сек]  
 [доля сек]

Число шагов:  Единицы:

Информация о параметрах

	Название	Тип	Единица
1	Без заголовка	Water Level	meter

Вставить    Добавить    Удалить    Отфильтровать параметры

OK  
Отмена  
Помощь

Рисунок 7 – Редактор временных рядов

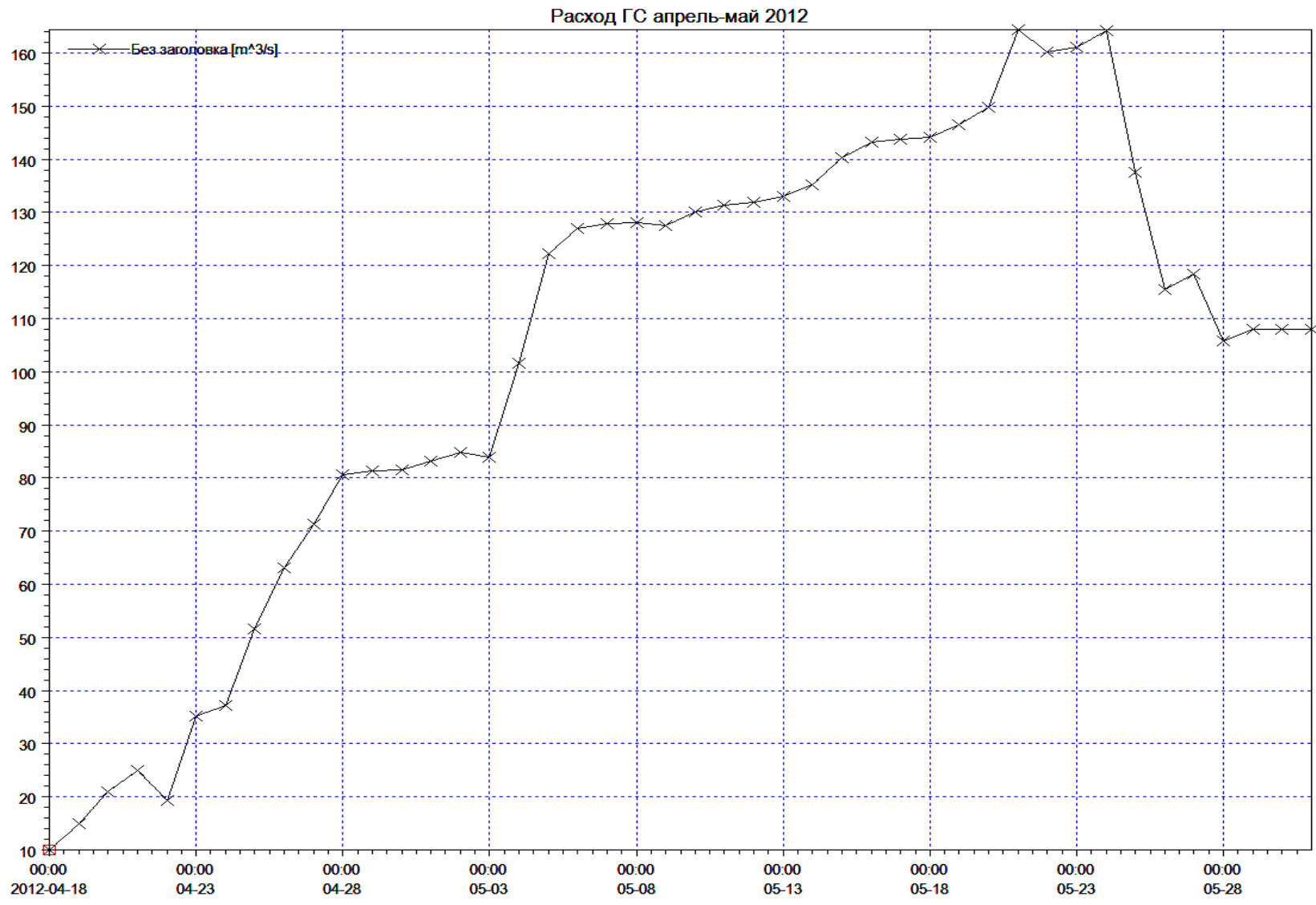


Рисунок 8 – График изменения расходов на головном сооружении

Файл Правка Вид Инструменты Окно Помощь

	Описание границы	Тип границы	Название участка	Пикет	Пикет	Идентификатор затвора	Идентификатор границы
1	Открытая	Приток	ДМК	0	0		
2	Открытая	Приток	ДМК	30647.42	0		

Включить HD-расчёт  
 Включить AD-границы

	Тип данных	Тип ВР	Файл / Значение	ВР инфо
1	Discharge: [	Файл	УВ в ДМК <input type="button" value="Правка"/>	Без загол

Рисунок 9 – Редактор граничных условий

После создания всех вышеперечисленных файлов и задания периода моделирования данные проверяются и модель рассчитывается.

Для запуска файла результата моделирования необходимо определить период моделирования и тип данных. Для моделируемого участка период моделирования – с 18.04.2012 по 31.05.2012, тип данных – уровень воды, расход (рисунок 10).

После этого открывается оцифрованный участок ДМК с нанесенными поперечными сечениями, который служит основой для дальнейшего изучения и анализа полученных результатов (рисунок 11).

Для просмотра и анализа полученных данных необходимо построить продольный профиль участка канала, на котором динамически отображается движение потока (рисунок 12).

Для отображения изменения уровня воды при различных значениях расхода и наоборот в расчетных точках оцифрованного участка строятся графики уровней воды и расходов. Все графики взаимосвязаны, поэтому при изменении временного интервала на одном такие же изменения происходят на всех построенных графиках, в том числе и на продольном профиле.

Для детального анализа результатов моделирования есть возможность вывода данных изменения уровня воды в каждом поперечном сечении (рисунок 13). Изменение уровня также отображается динамически.

Результаты расчетов могут быть экспортированы в виде электронных таблиц в MS Excel, шейп-файлов или в текстовом обменном формате для последующей обработки в ГИС, а также в виде растровых изображений в любые графические редакторы.

После получения, просмотра и анализа результатов моделирования была произведена калибровка модели.

Калибровка заключалась в корректировке коэффициента шероховатости в расчетных точках, который составил 0,04, и уточнении поперечных сечений русла канала.

Верификация модели осуществлена путем сравнения производственных наблюдений уровня воды на РЗС ДМК на ПК 100 с результатами моделирования (рисунок 14).

Согласно фактическим данным, уровень воды на ПК 100 на 25.04.2012 15:00:00 составил 32,02 м, по данным модели – 32,04 м (рисунки 15, 16).



**Выбор данных** X

Имя файла: расход ГС апрель-май с

Первый шаг: 18.04.2012 0 :00:00

Последний шаг: 31.05.2012 0 :00:00

Интервал: 1

Типы данных

Water Level  
 Discharge

Больше не спрашивать

OK  
Отмена  
Весь интервал  
Выбрать все  
Отменить выбор

Рисунок 10 – Выбор данных





Рисунок 11 – Оцифрованный участок ДМК

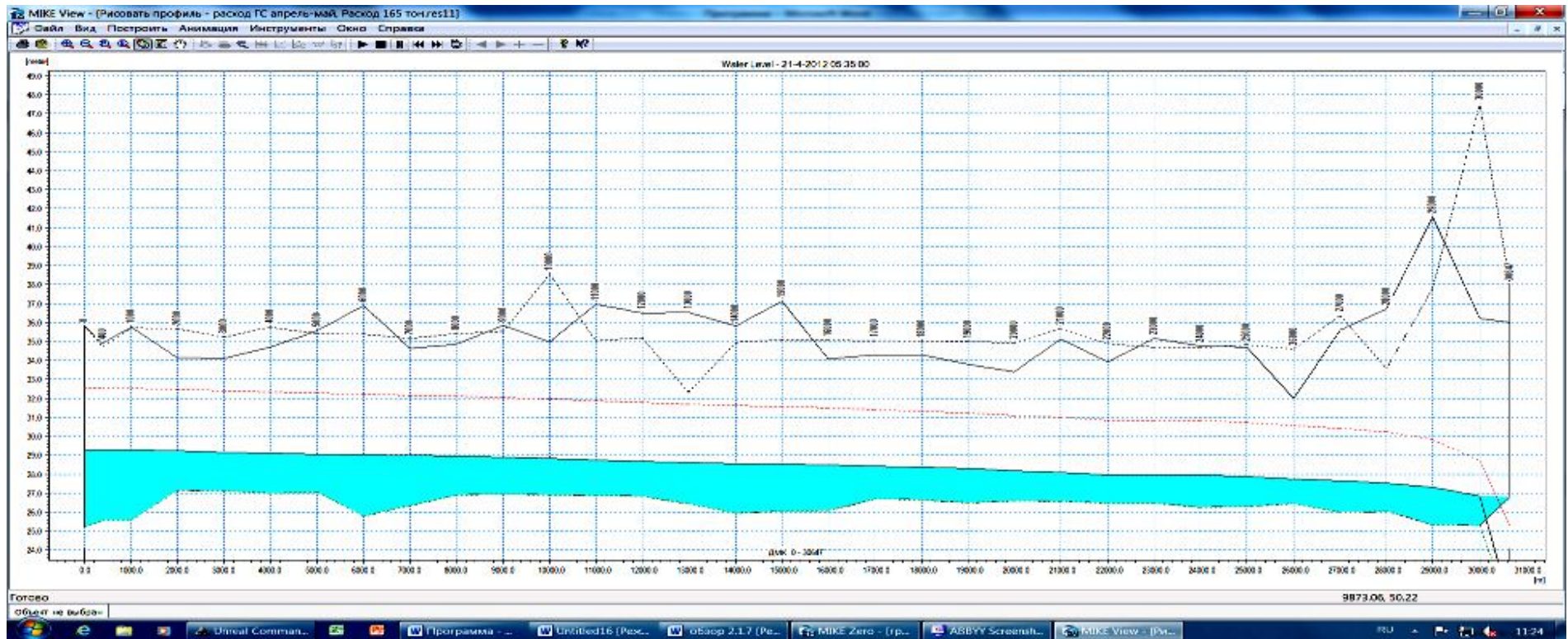


Рисунок 12 – Продольный профиль



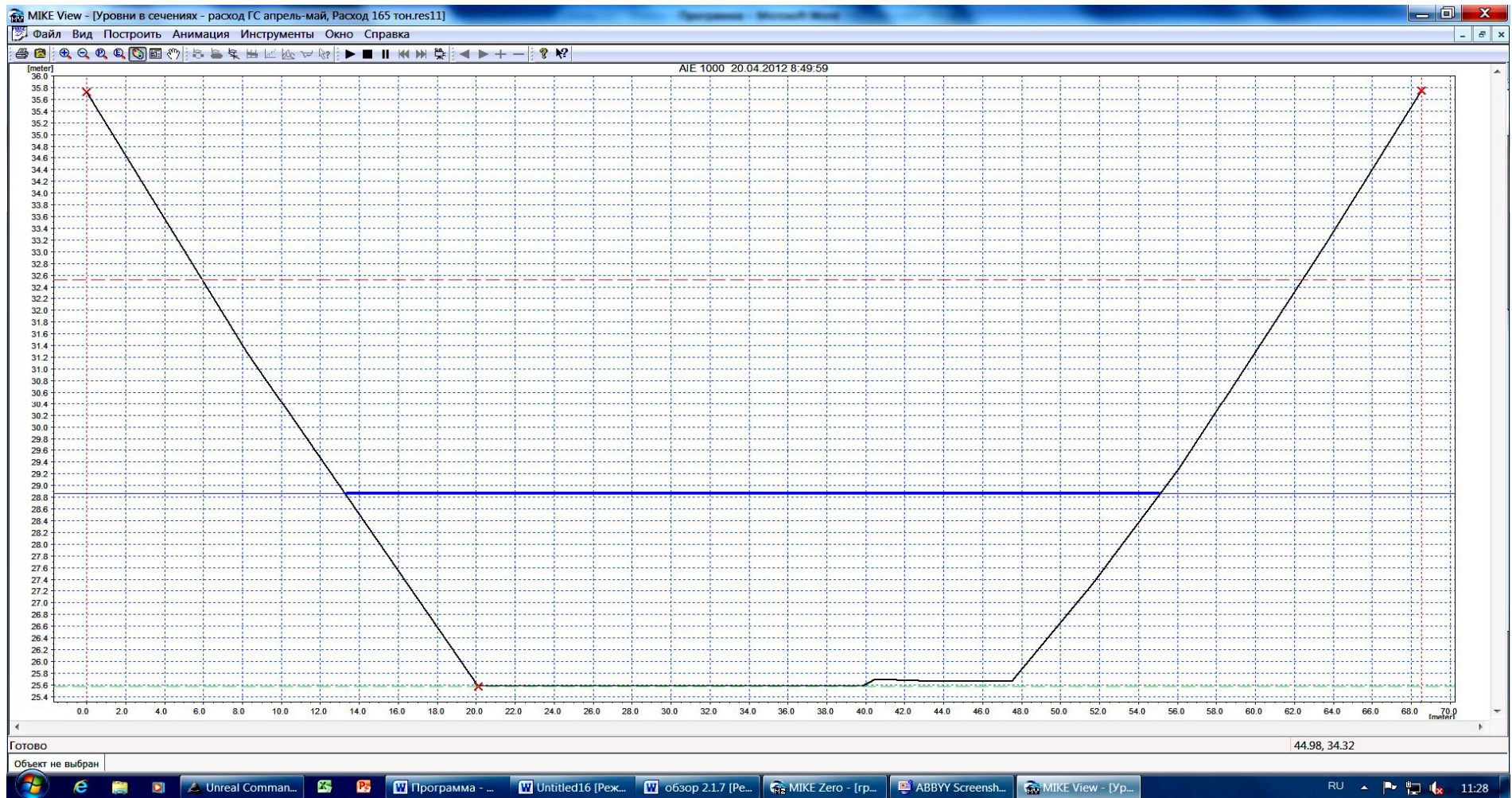


Рисунок 13 – Уровень воды в поперечном сечении канала

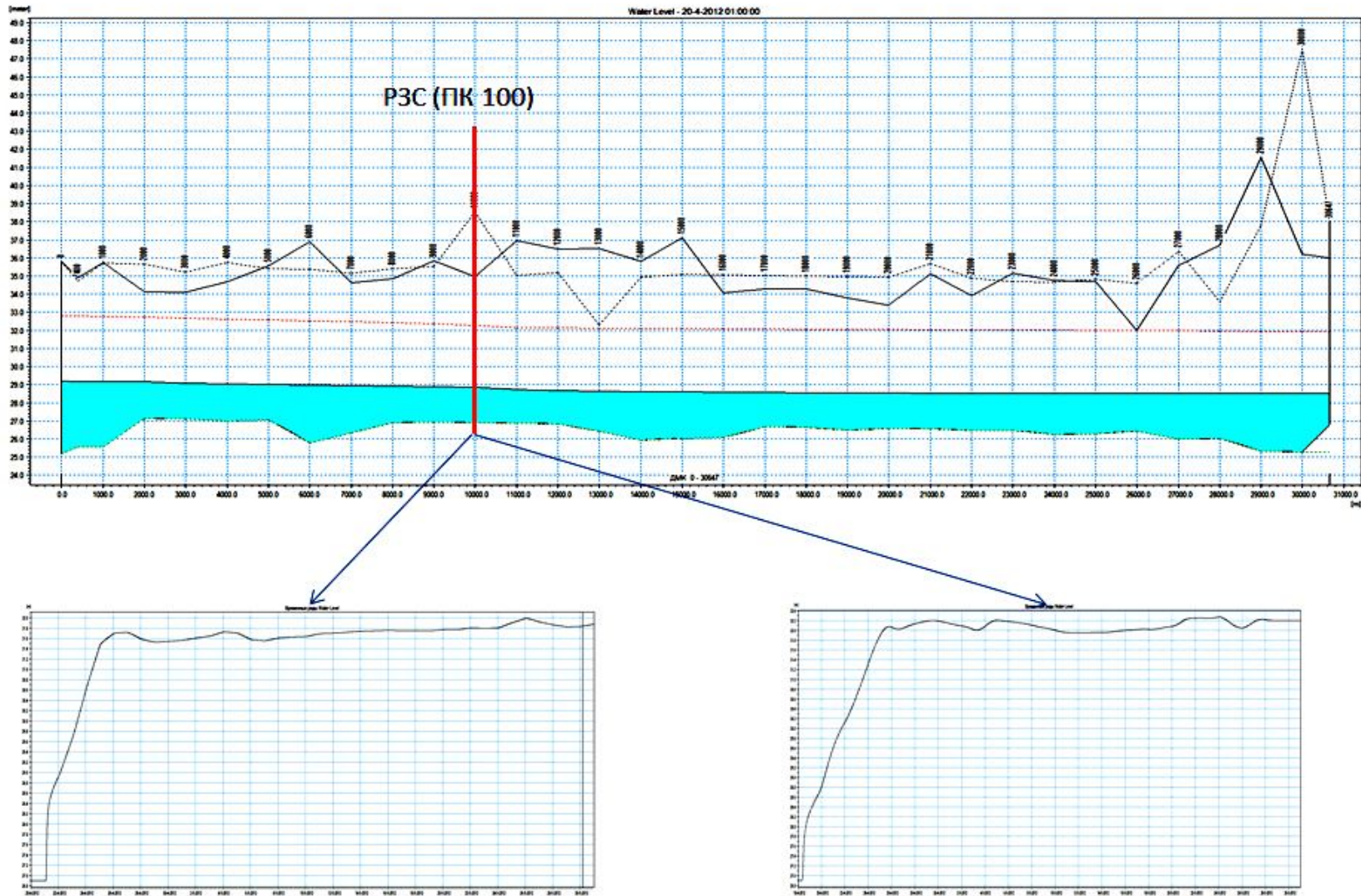


Рисунок 14 – Верификация модели участка ДМК



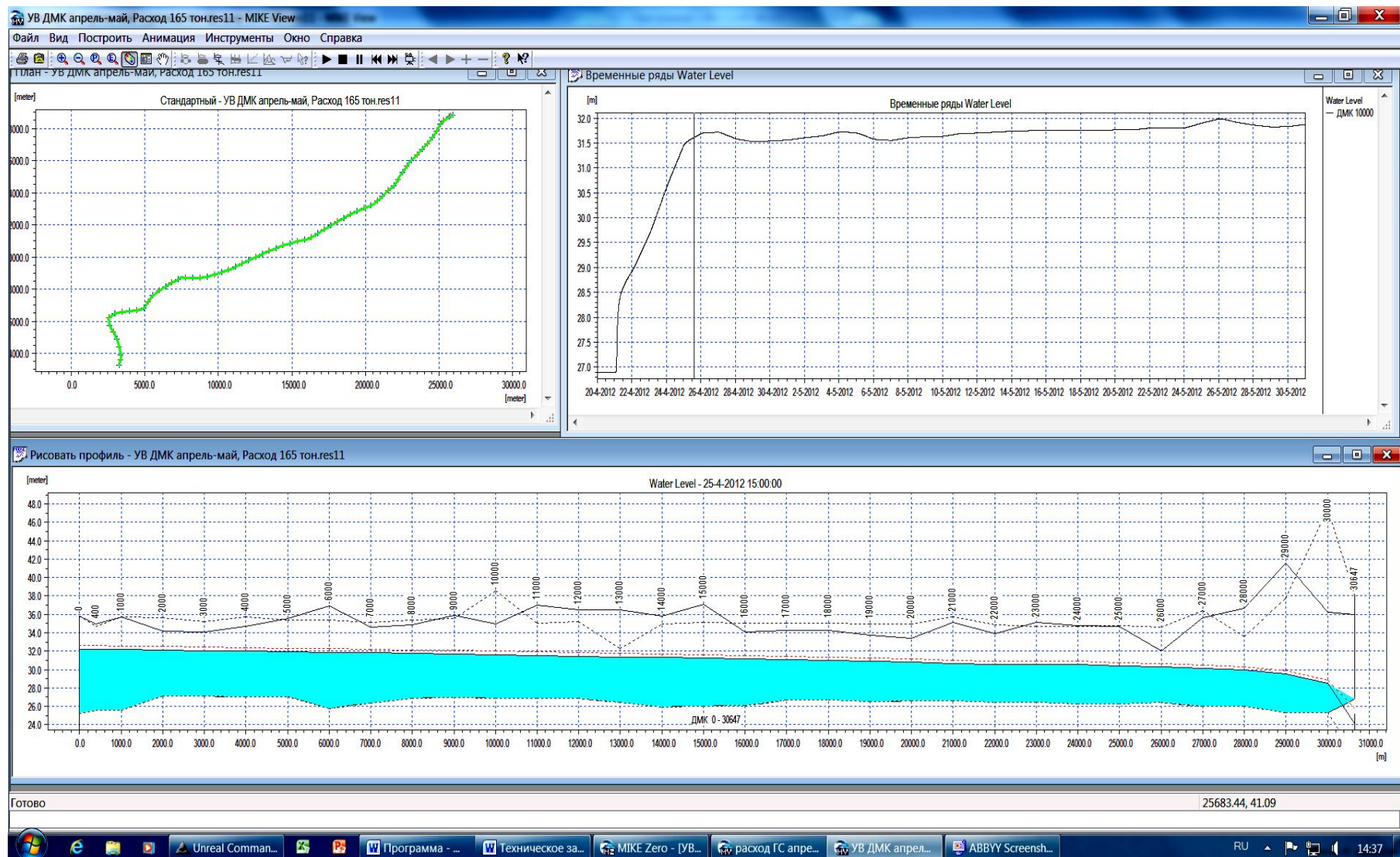


Рисунок 15 – Уровень воды на ПК 100 на 25.04.2014 (фактический)

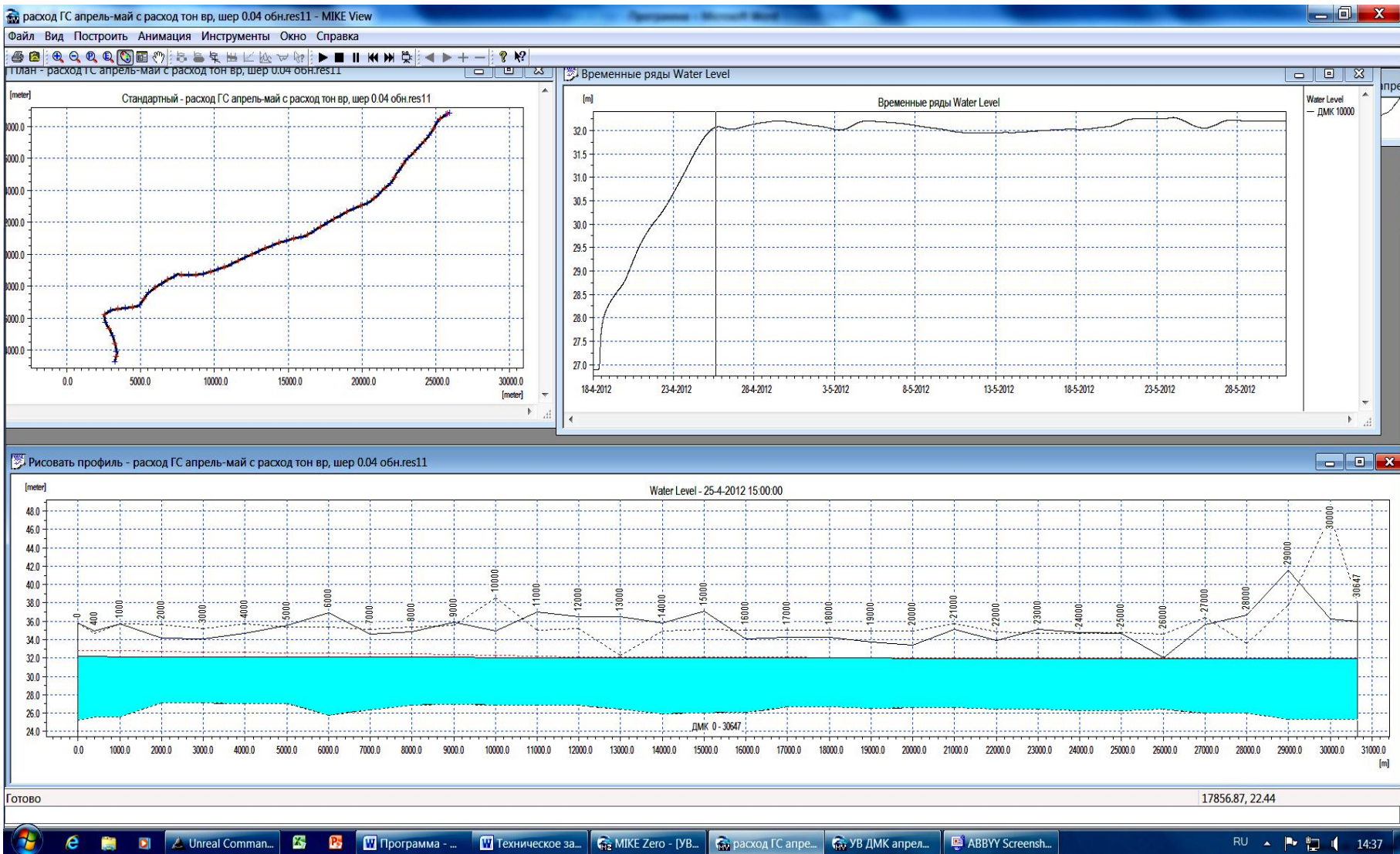


Рисунок 16 – Уровень воды на ПК 100 на 25.04.2014 (полученный в результате моделирования)

Разработанная гидродинамическая модель ДМК позволяет:

- определять уровни воды и расходы в ДМК на заданных пикетах при различных режимах в голове канала;
- определять плановое положение участков, на которых имеется риск перелива через дамбу ДМК при пропуске катастрофического паводка;
- осуществлять построение аналитических кривых  $Q - H$  в любом из заданных поперечных сечений канала в любой временной точке периода моделирования;
- анализировать изменение уровней и расходов воды в разрезе продольного сечения канала в любой временной точке периода моделирования.

Использование средств компьютерного цифрового моделирования на стадии предпроектных проработок, а также на стадии проектирования позволит повысить обоснованность и объективность принимаемых проектных решений, что, в свою очередь, приведет к повышению уровня безопасности ГТС и снижению затрат бюджета на проектные и строительные работы.

### **Список использованных источников**

1 MIKE 11: A Modelling System for Rivers and Channels. Reference Manual, DHI, August 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mikebydhi.com>, 2014.

2 MIKE 11: River and Channel Modelling, Short Introduction. – Tutorial, September 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mikebydhi.com>, 2014.

3 MIKE 11: A modelling system for Rivers and Channels, User Guide, DHI, August 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mikebydhi.com>, 2014.

УДК 626.80

**А. М. Островский**

Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Республика Беларусь

## **О ВЛИЯНИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ НА ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ В БЕЛАРУСИ**

С целью изучения отдаленных последствий влияния осушительных мелиораций на изменение климата в Беларуси проанализированы погодные условия за 5 лет с 2007 по 2011 г. В целом по республике отмечена положительная погодная аномалия. В большинстве регионов средняя температура воздуха была выше климатической нормы, осадки выпадали крайне неравномерно. Выдвинута идея, что сложившаяся в на-

стоящее время климатическая ситуация отчасти является следствием осушительных мелиораций на большей части территории Беларуси во второй половине XX века.

Ключевые слова: осушительная мелиорация, климатические и метеорологические условия, водно-воздушный режим почв, микроклиматический эффект осушения, погодная аномалия.

Климатические и метеорологические условия в значительной мере определяют водно-воздушный режим почвогрунтов, интенсивность почвенных и биологических процессов. Преобладание годовых осадков над испарением способствует переувлажнению земель, однако в летние месяцы водный баланс отличается большой изменчивостью, что значительно усложняет временную динамику осушенных природных комплексов [1].

Микроклиматический эффект осушения наиболее ярко проявляется в изменении температуры поверхности почвы. В летнее время на осушенном болоте в дневные часы температура поверхности почвы обычно на 1–5 °С выше, чем на болоте. Осушение приводит к росту суточной амплитуды температуры в разные сезоны года от 2,5 до 6,5 °С в период активной вегетации растений. Возрастают абсолютные значения минимальных температур на поверхности почвы: обычно на 1–3 °С в сроки наблюдений 1 и 7 часов и на 0,3–2,0 °С в 19 часов. Максимальные температуры поверхности почвы обычно на 3–5 °С выше на осушенных землях, чем на болоте [2].

С целью изучения отдаленных последствий влияния осушительных мелиораций на изменение климата в Беларуси автором подробно проанализированы погодные условия на протяжении 5 лет (2007–2011 гг.). Обзор условий погоды за данный период представлен ниже.

### ***1 Обзор условий погоды за 2007 год.***

Средняя годовая температура воздуха по республике составила от плюс 6,4 до плюс 9,2 °С и превысила климатическую норму на 2,0–2,5 °С. Такая высокая среднегодовая температура воздуха в Беларуси отмечена в третий раз за весь период метеорологических наблюдений (была в 1989 и 2000 годах).

Осадки в течение года выпадали крайне неравномерно. Самыми щедрыми на осадки были январь и июль. Недобор осадков отмечался в апреле, августе, сентябре и декабре. В целом за год по Беларуси выпало от 503 до 786 мм осадков, что близко к средним многолетним значениям.



Календарная зима началась с очень теплого и практически бесснежного декабря. Среднемесячная температура воздуха за декабрь 2006 г. составила от плюс 2 до плюс 3 °С, превысив норму на 5–8 °С. Средняя за январь температура воздуха составила от минус 1 до плюс 3 °С, что выше нормы на 6–8 °С. Январь 2007 года оказался самым теплым за весь период метеорологических наблюдений. В отдельные дни дневные температуры поднимались до плюс 8 – плюс 12 °С. По-настоящему зима наступила лишь в конце января: с 24 января установился зимний характер погоды с температурой, близкой к климатической норме, ночные морозы при этом достигали минус 13 – минус 19 °С, местами до минус 21 °С. Февраль был единственным зимним месяцем, когда преобладал пониженный температурный режим. Средняя за февраль температура воздуха составила от минус 6 до минус 11 °С и оказалась на 1–4 °С ниже климатической нормы. В ночные часы воздух иногда выхолаживался до минус 16 – минус 23 °С, местами по Витебской и Могилевской областям – до минус 29 – минус 33 °С.

Среднесуточная температура воздуха в марте на 3–4 недели раньше средних многолетних сроков перешла через 0 °С в сторону повышения и составила от плюс 1 до плюс 8 °С, в третьей декаде марта – от плюс 5 до плюс 10 °С, что на 6–9 °С выше нормы. В целом средняя за март температура воздуха составила плюс 4 – плюс 7 °С, на 6–8 °С превысив климатическую норму. Такой аномально теплый март наблюдался впервые за всю историю метеорологических наблюдений. В результате повышенного температурного фона снежный покров на большей части территории республики практически сошел к концу первой декады марта, а на юго-западе – к началу первой декады марта. Апрель характеризовался неустойчивым температурным режимом. Большая часть месяца была теплее обычного или около климатической нормы. В отдельные дни дневные максимумы достигали плюс 20 – плюс 23 °С. Средняя за апрель температура воздуха составила плюс 6 – плюс 9 °С и оказалась на 1 °С выше нормы. Со второй декады и почти до конца месяца среднесуточная температура воздуха достигала плюс 18 – плюс 24 °С, местами по югу – плюс 25 – плюс 26 °С, что на 5–11 °С выше средних для этого периода климатических данных. В мае на большей части страны сумма выпавших осадков составила 50–98 мм, что соответствует 1,0–1,5 ме-

сячной нормы. В первые дни месяца, когда наблюдалась очень холодная погода, выпадал снег, местами в северных и центральных районах устанавливался неустойчивый снежный покров высотой 1–8 см.

Большую часть летнего сезона наблюдалась теплая, в отдельные периоды жаркая погода. За лето отмечено от 30 до 55 дней с температурой воздуха плюс 25 °С и от 3 до 14 дней с максимумом температуры выше плюс 30 °С. В июне первые две декады характеризовались повышенным температурным режимом и дефицитом осадков. Средняя за месяц температура воздуха составила от плюс 17 до плюс 20 °С и была на 1–3 °С выше климатической нормы. В июле преобладала прохладная и дождливая погода, а в целом по температурным показателям месяц оказался близким к средним многолетним нормам (от плюс 16 до плюс 19 °С). Август был не только самым сухим, но и самым теплым из летних месяцев: среднемесячная температура воздуха составила от плюс 18 до плюс 21 °С, что на 2,0–3,5 °С выше нормы. За последние 60 лет такой август был лишь в 1992 г. К аномалии лета следует отнести жару, отмечавшуюся с середины июня и в начале третьей декады августа, когда во многих районах дневные температуры составили от плюс 32 до плюс 34 °С, а 17–18 июля и 21–24 августа местами по югу – от плюс 35 до плюс 36 °С и даже плюс 37 °С. В конце августа на торфяниках Полесья отмечались заморозки до 0–3 °С. Самым дождливым из летних месяцев оказался июль. Суммарное количество осадков за месяц составило в основном 120–180 мм (1,5–2,0 нормы), на большей части юго-запада страны – 190–257 мм (2,5–3,0 нормы). Таким дождливым июль в Беларуси бывает 1 раз в 15 лет.

В первые два месяца осени отмечалась положительная аномалия температуры воздуха, а в сентябре – и дефицит осадков. Ноябрь оказался по-зимнему холодным и снежным месяцем. В сентябре средняя температура воздуха составила от плюс 11 до плюс 14 °С, что на 0,5–1,0 °С выше нормы. В сентябре преобладал повышенный температурный режим. В ночные и утренние часы местами отмечались заморозки. В октябре на большей части территории республики выпало 44–86 мм осадков (1,0–1,5 месячной нормы). 13–14 октября отмечался первый снег и в северо-западных районах республики образовался неустойчивый снежный покров высотой 1–8 см. В ноябре средняя температура воздуха составила от плюс 1 до минус 2 °С, что

на 0,5–1,5 °С ниже нормы. 4–5 ноября на большей части территории среднесуточная температура перешла через 0 °С в сторону понижения.

Декабрь оказался теплым и малоснежным. Средняя за месяц температура воздуха составила от 0 до минус 2 °С, что на 1–4 °С выше нормы. Снежный покров большую часть месяца на преобладающей территории республики отсутствовал, местами, преимущественно на востоке Беларуси, он отмечался примерно в течение двух недель. Высота снега не превышала 1–8 см, лишь в первые дни в северо-восточной половине страны она достигала 10–18 см. Почва оставалась преимущественно талой и слабопромерзшей.

## ***2 Обзор условий погоды за 2008 год.***

Средняя годовая температура воздуха по республике составила от плюс 7,0 °С в Докшицах до плюс 9,4 °С в Бресте и превысила климатическую норму на 2,0–2,5 °С. Такая высокая среднегодовая температура воздуха в Беларуси за период метеорологических наблюдений была в 1989, 2000 и 2007 годах. Осадки в течение года выпадали крайне неравномерно. В целом за год по Беларуси выпало от 535 до 860 мм осадков, что близко к средним многолетним значениям и составляет от 83 до 126 %.

Календарная зима началась с очень теплого и практически бесснежного декабря. Среднемесячная температура воздуха за декабрь 2007 г. составила от 0 до минус 2 °С, превысив норму на 1–4 °С. Средняя за январь температура воздуха составила от минус 2 до минус 3 °С, что выше нормы на 4–5 °С. Большую часть января среднесуточная температура на 1–9 °С превышала норму. В отдельные дни дневные температуры поднимались до плюс 7 – плюс 9 °С. Февраль характеризовался аномально теплой погодой. Средняя за февраль температура воздуха составила минус 1 – плюс 2 °С и оказалась на 6–7 °С выше климатической нормы. В ночные часы воздух иногда выхолаживался до минус 13 – минус 17 °С.

Среднесуточная температура воздуха в марте составляла от 0 до плюс 5 °С и от плюс 6 до минус 10 °С, что на 1–6 °С, а по югу страны на 7–10 °С выше нормы. В целом средняя за март температура воздуха составила от плюс 1,0 до плюс 3,5 °С тепла, на 3–5 °С превысив климатическую норму. В первой декаде и во второй половине марта неоднократно образовывался снежный покров на большей части территории страны, который практически сошел к концу марта.

Апрель характеризовался преобладанием теплой погоды и частыми дождями в первой и второй декадах месяца. В отдельные дни дневные максимумы достигали плюс 17 – плюс 22 °С. Средняя за апрель температура воздуха составила от плюс 8 до плюс 10 °С и оказалась на 2–4 °С выше нормы. Май характеризовался преобладанием прохладной погоды и интенсивными дождями во второй половине месяца. В ночные часы 7 мая в воздухе и на поверхности почвы отмечались заморозки до 0 – минус 4 °С, на поверхности осушенных торфяников Полесья температура понижалась до минус 7 °С. Средняя за месяц температура составила от плюс 10 до плюс 14 °С.

Большую часть летнего сезона наблюдалась неустойчивая, в отдельные периоды жаркая погода. Июнь характеризовался преобладанием умеренно теплой погоды и дефицитом осадков. Средняя за месяц температура воздуха составила от плюс 15 до плюс 18 °С и была в основном в пределах климатической нормы. Исключительно сухой выдалась первая декада июня, когда количество выпавших осадков составляло всего 5 % от декадной нормы. В июле преобладала неустойчивая погода, в течение месяца с интервалом от двух до пяти дней периоды повышенного температурного режима сменялись пониженным, а в целом по температурным показателям месяц оказался близким к средним многолетним нормам (от плюс 17 до плюс 20 °С). За месяц выпало от 70 до 136 мм осадков (до 1,5 месячной нормы). Август был не только самым сухим, но и самым теплым из летних месяцев: среднемесячная температура воздуха составила от плюс 17 до плюс 20 °С, что на 1–3 °С выше нормы. К аномалии лета следует отнести жару в августе, когда во многих районах республики дневные температуры составили от плюс 35,0 до плюс 37,5 °С, при этом во многих районах страны были перекрыты абсолютные максимумы.

Сентябрь отличался значительными температурными контрастами – исключительно жаркой погодой в середине первой декады и аномально холодной во второй декаде месяца. 7–8 сентября преобладающая температура днем была от плюс 30 до плюс 33 °С (в Лельчицах – плюс 34 °С), при этом в юго-восточных районах страны были перекрыты абсолютные максимумы температуры. Во второй декаде месяца значительно похолодало, и даже дневная норма не превышала плюс 7 – плюс 3 °С. Столь низкий температурный режим на большей территории страны не отмечался с 1996 г. В октябре также преобла-

дал повышенный температурный фон, и среднемесячная температура воздуха была плюс 8 – плюс 10 °С, что на 2–3 °С выше нормы. В большинстве ночей второй и третьей декад отмечались заморозки до минус 1 – минус 3 °С, на торфяниках Полесья – до минус 4 – минус 5 °С. В октябре на большей части территории республики выпало 49–92 мм осадков. В ноябре преобладала теплая погода, средняя за месяц температура воздуха составила от плюс 1,0 до плюс 4,5 °С, что на 1–2 °С выше нормы. 22–23 ноября прошли сильные снегопады, в конце второй и в третьей декаде устанавливался снежный покров.

Декабрь оказался теплым и малоснежным. Исключительно теплой выдалась первая неделя месяца, когда среднесуточная температура составляла от плюс 3 до плюс 7 °С, что на 6–9 °С выше нормы. Средняя за месяц температура воздуха составила от минус 3 до плюс 1 °С, что на 2–4 °С выше нормы. Снежный покров большую часть месяца на преобладающей территории республики отсутствовал, местами на большей части территории он образовался в третьей декаде. Высота снега не превышала 1–9 см, в восточной половине страны она достигала 10–16 см.

### ***3 Обзор условий погоды за 2009 год.***

Средняя годовая температура воздуха по республике составила от плюс 6,0 до плюс 8,5 °С и превысила климатическую норму на 1–2 °С. Прошедший год по температурному режиму вошел в анналы теплых лет периода потепления, начавшегося в конце 80-х годов прошлого столетия, и занял восьмое место. Температура воздуха в большинстве месяцев года превышала климатическую норму. В течение года осадки выпадали крайне неравномерно. Самыми сухими оказались апрель, август и сентябрь. Очень влажными, с частыми интенсивными дождями были июнь и июль. Такими сырыми они бывают примерно раз в восемь лет. В целом за год по Беларуси выпало от 653 до 980 мм осадков (1,0–1,5 годовой нормы).

Зимой 2008–2009 года преобладал повышенный температурный режим. Средняя за сезон температура воздуха составила минус 1,8 °С, что выше нормы на 2,7 °С. Количество дней с оттепелью в каждом месяце составило в основном 10–19, в декабре на юго-западе их число достигало 20–24. Такая теплая зима бывает один раз в 5–6 лет. Средняя за декабрь температура воздуха была от минус 3 до плюс 1 °С, в январе и феврале она составила от минус 3 до минус 5 °С, в феврале

на юго-западе республики – от минус 1 до минус 2 °С. Снежный покров в январе сохранялся практически на всей территории. На конец зимы (28 февраля) высота снежного покрова колебалась от 1–10 см в южной и западной частях республики до 20–30 см в центральных и северо-восточных районах.

В течение первых двух весенних месяцев господствовали западные воздушные потоки, выносившие теплые воздушные массы с Европы, поэтому в марте и апреле преобладала теплая, на 1–6 °С выше климатической нормы, погода. Средняя за март и апрель температура воздуха соответственно составила от минус 1 до плюс 2 °С и от плюс 7 до плюс 11 °С, что на 1–3 °С и на 2,0–3,5 °С выше климатической нормы. На фоне теплой погоды в отдельные дни марта и апреля при вторжении воздушных масс арктического происхождения отмечались короткие периоды похолоданий. В мае отмечался пониженный на 1–4 °С температурный режим со среднесуточной температурой воздуха от плюс 9 до плюс 12 °С, по югу преимущественно от плюс 13 до плюс 15 °С. В дневные часы максимальная температура воздуха находилась в пределах от плюс 7 до плюс 14 °С. В конце первой и середине второй декады кое-где, в основном на высоте 2 см от поверхности почвы, отмечались заморозки до минус 4 °С. Наиболее сырыми за весну оказались март и май. Число дней с количеством осадков 1 мм и более в эти месяцы колебалось от 7 до 14, в марте на востоке Могилевской области оно достигало 17. В мае в течение 1–3 дней выпадал град.

Лето началось с очень неустойчивой, дождливой и контрастной погоды. В первой и второй декадах июня основные циклоны смещались от центральных районов Атлантики через Европу к северозападу России. При поступлении тропических воздушных масс средиземноморского происхождения средняя за сутки температура воздуха повышалась до плюс 23 – плюс 25 °С, что на 6–8 °С выше нормы. 28 июня при выносе очень теплого воздуха с территории Турции на большей части страны максимальная температура воздуха днем достигала плюс 30 – плюс 32 °С, минимальная температура ночью находилась в пределах плюс 15 – плюс 20 °С. В июле большую часть месяца наблюдалась умеренно теплая, с частыми интенсивными дождями погода. В середине июля по югу республики температура воздуха днем достигала плюс 30 – плюс 34 °С, а среднесуточная температура

повышалась до плюс 24 – плюс 26 °С, что на 6–8 °С теплее обычного. По температурному режиму самым теплым месяцем в летнем сезоне оказался июль. Средняя температура воздуха за этот месяц составила плюс 17 – плюс 20 °С, что на 1 °С выше климатической нормы. В июне и августе среднемесячная температура была около климатической нормы и составляла от плюс 15 до плюс 19 °С. В июне и июле количество дней с осадками 1 мм и более составило соответственно 12–23 и 9–15 дней. За каждый месяц на большей части территории выпало от 70 до 180 мм осадков, или 1–2 месячной нормы. Согласно климатическим данным, июнь 2009 года в Беларуси вошел в ряд самых дождливых июней за последние тридцать лет. В июне и июле в течение 4–14 дней наблюдались грозы, которые зачастую, особенно в июне, сопровождались шквалистым усилением ветра порывами до 15–24 м/с и выпадением града. В августе в предрассветные часы в течение 1–6 дней на территории республики образовывался туман.

Осенняя погода была контрастной. Сентябрь и ноябрь характеризовались значительной положительной аномалией температуры воздуха. Октябрь выдался не только холодным, но и дождливым. Среди месяцев осеннего сезона сентябрь оказался по-летнему теплым. Средняя за месяц температура воздуха составила от плюс 13 до плюс 15 °С и оказалась на 1–3 °С выше климатической нормы. Такой теплый сентябрь в Беларуси бывает примерно 1 раз в 10 лет. Октябрь был типично осенним месяцем со средней температурой от плюс 4 до плюс 7 °С, что в основном близко к норме. К его особенностям можно отнести неустойчивый температурный режим и изобилие осадков, обусловленных активной циклонической деятельностью. Средняя температура воздуха в ноябре оказалась на 2–4 °С выше нормы и составила от плюс 3 до плюс 5 °С. Осадки на протяжении осени наблюдались в виде дождя. Лишь в середине и конце октября местами по республике, а в середине первой декады ноября на значительной части страны отмечался мокрый снег. При этом в ноябре на непродолжительное время образовывался снежный покров высотой 1–9 см, в Гродненской области местами до 10–13 см. В октябре и ноябре иногда отмечались гололеды, а в октябре и налипание мокрого снега.

Повышенный температурный режим сохранялся и в первой декаде декабря. При адвекции теплого воздуха с южных морей средне-

суточная температура воздуха повышалась до минус 4 – плюс 2 °С, иногда по юго-западу, а 1 и 24–28 декабря во многих районах страны – до плюс 3 – плюс 5 °С, что соответственно на 1–5 °С и 6–9 °С выше нормы. Максимальная температура воздуха днем была в основном от 0 до плюс 8 °С. Аномально теплая погода отмечалась 2 декабря во многих районах. С начала второй декады резко похолодало, и почти до середины третьей декады, а также в последний день декабря наблюдалась морозная погода. Средняя температура воздуха составила от минус 2 до минус 5 °С и оказалась близкой к климатической норме. Осадки в виде снега, мокрого снега и дождя выпадали часто. В отдельные дни отмечались сильные осадки с суточным количеством 15–30 мм. В целом за месяц осадков выпало 58–97 мм (1,5–2,0 месячных нормы). Столь значительное количество осадков в декабре бывает один раз в 15 лет. Снежный покров начал устанавливаться уже в конце первой декады декабря, и к середине месяца он установился по всей республике. В конце декабря высота снежного покрова достигала 5–31 см.

#### ***4 Обзор условий погоды за 2010 год.***

2010 год занял 10 место как один из наиболее теплых в климатической летописи за период потепления, начавшегося в конце 80-х годов прошлого столетия (1989–2010 гг.). Положительная аномалия температуры воздуха удерживалась с февраля по август, а также отмечалась в ноябре. В январе, октябре и декабре отклонение температуры воздуха от климатической нормы было отрицательным. В сентябре среднемесячная температура была равна климатической норме. В результате средняя годовая температура воздуха составила от плюс 4,7 до плюс 7,3 °С, что на 0,7–2,1 °С выше климатической нормы, по западу Гродненской и в северо-западных районах Брестской области – около средних многолетних значений. Осадки в течение года выпадали неравномерно. Недобор осадков отмечался в январе, марте, апреле и особенно в октябре. Самыми щедрыми на осадки оказались февраль, ноябрь и декабрь. Количество осадков в остальные месяцы года было близко к средним многолетним значениям. В целом за год выпало 525,8–923,3 мм осадков (1,0–1,5 годовой нормы).

Климатическая зима началась во второй декаде декабря 2009 г. с резкого похолодания и установления снежного покрова. В самый холодный период – с 15 по 22 декабря – температура воздуха в тече-



ние суток находилась в пределах от минус 11 до минус 20 °С. В последнюю неделю декабря морозы ослабели, а высота снега составила от 5 до 31 см.

Весна наступила рано и была теплой. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С в сторону повышения (окончание климатической зимы) осуществился 18–20 марта, что на большей части территории страны на 5–12 дней раньше средних многолетних дат, в южных регионах страны – в сроки, близкие к обычным. В течение всего сезона отмечалась положительная аномалия температуры воздуха. Такая и более теплая весна бывает примерно один раз в 5 лет. В марте средняя месячная температура воздуха составила от минус 3 до плюс 3 °С, что на 1–3 °С выше нормы. Май, как и первые два месяца сезона, был теплым. Средняя за месяц температура воздуха составила от плюс 13 до плюс 18 °С и оказалась на 1–4 °С выше нормы. Дневные максимумы температуры достигали плюс 15 – плюс 23 °С, изредка по юго-востоку, а 7, 13–14 и 21–23 мая на значительной части территории в теплых секторах циклонов – плюс 24 – плюс 28 °С. Ночи в мае оставались в основном теплыми (от плюс 7 до плюс 16 °С).

Лето оказалось самым теплым за весь период наблюдений. За сезон отмечено от 43 до 70 дней с максимальной температурой воздуха выше плюс 25 °С и от 11 до 39 дней с температурой, превышающей плюс 30 °С. Во все месяцы сезона отмечалась значительная положительная аномалия температуры воздуха. В июне среднемесячная температура составила от плюс 16,5 до плюс 21,0 °С, что на 1–4 °С теплее обычного. Среднесуточная температура воздуха значительную часть месяца составляла от плюс 16 до плюс 24 °С и была на 1–6 °С выше нормы. Днем воздух прогревался до плюс 22 – плюс 29 °С, ночные минимумы оставались высокими – от плюс 10 до плюс 18 °С. Необычайно теплыми выдались июль и август. Средняя температура этих месяцев составляла от плюс 21,0 до плюс 24,5 °С и от плюс 19 до плюс 24 °С соответственно, а это на 3–6 °С теплее обычного. Среднесуточная температура воздуха находилась в пределах от плюс 23 до плюс 29 °С и на 5–12 °С превышала климатическую норму. Максимальная дневная температура воздуха почти на всей территории, а в первой декаде июля в основном по юго-востоку страны достигала плюс 27 – плюс 34 °С. В самые жаркие дни, преимущественно на востоке республики, воздух прогревался

до плюс 35 – плюс 36 °С, с 3 по 16 августа местами по Гомельской, Могилевской областям и востоку Витебской области – до экстремально высоких значений (плюс 37 – плюс 39 °С). 8 августа на метеостанции Гомель зарегистрирована абсолютно высокая в Беларуси температура воздуха – плюс 38,9 °С (в районе аэропорта Гомель – плюс 39,2 °С). Ночи на протяжении июля и августа оставались теплыми. Как правило, воздух ниже плюс 15 – плюс 22 °С не охлаждался, только иногда, в основном в западной части страны, столбики термометров опускались до отметок плюс 10 – плюс 13 °С. Окончательный спад жары начался 27 августа, когда на территорию страны сместился атлантический циклон. Дожди летом проходили часто, по территории распределялись неравномерно и носили в основном ливневый характер.

В сентябре после длительной летней жары последовало преобладание холодной и неустойчивой погоды. Средний за сутки температурный фон в основном находился в пределах плюс 8 – плюс 15 °С, в последние дни месяца – от плюс 4 до плюс 7 °С и был на 1–6 °С ниже климатической нормы, в отдельные дни – около нее. За месяц в преобладающей части страны выпало 46–117 мм осадков, что в основном соответствует 1,0–1,5 месячной нормы. Средняя температура воздуха в октябре составила от плюс 4 до плюс 6 °С, что на 1–2 °С ниже средних многолетних значений. Ноябрь в целом можно охарактеризовать как аномально теплый с избытком осадков за месяц. Значительную часть ноября среднесуточная температура воздуха превышала климатическую норму на 3–9 °С и составляла в основном от плюс 5 до плюс 10 °С. В дневные часы воздух прогревался преимущественно до плюс 6 – плюс 14 °С. Днем 29 и ночью 30 ноября в связи с выходом средиземноморского циклона в южной части страны прошел сильный снег с суточным количеством 14–32 мм. В результате установился снежный покров.

Декабрь характеризовался преобладанием по-настоящему зимней погоды. Средняя за месяц температура воздуха составила от минус 5 до минус 8 °С и оказалась на 2–4 °С ниже климатической нормы. Столь холодный декабрь бывает примерно один раз в 10 лет. В ночные часы морозы усиливались до минус 17 – минус 24 °С, кое-где – до минус 25 – минус 28 °С, 1 декабря метеостанция Полес-

ская отметила температурный минимум минус 29,5 °С. Дневная температура воздуха в основном не превышала минус 10 – минус 17 °С.

### ***5 Обзор условий погоды за 2011 год.***

Год характеризовался теплой погодой. Положительная аномалия температуры воздуха удерживалась в течение всего года – до 2 °С выше климатической нормы. Только в феврале отклонение температуры воздуха от климатической нормы было отрицательным. В октябре среднемесячная температура была равна климатической норме. Осадки в течение года выпадали неравномерно. Недобор осадков отмечался в марте, апреле, сентябре и особенно в ноябре. Самыми щедрыми на осадки оказались январь и июль. Количество осадков в остальные месяцы года было близко к средним многолетним значениям.

Декабрь 2010 г. характеризовался преобладанием по-настоящему зимней погоды. Средняя температура воздуха составила от минус 5 до минус 8 °С, что на 2–4 °С ниже климатической нормы. Столь холодный декабрь бывает примерно один раз в 10 лет. Снежный покров удерживался на протяжении месяца. Февраль характеризовался неоднородным температурным режимом. Средняя температура воздуха составила от минус 5 до минус 11 °С и оказалась на 1–4 °С ниже климатической нормы. Снежный покров удерживался в течение месяца.

Весна характеризовалась неустойчивым температурным режимом и недобором осадков. Средняя температура воздуха за март составила от минус 3 до плюс 2 °С и оказалась на 1–2 °С выше климатической нормы. На преобладающей части страны среднесуточная температура воздуха понижалась до минус 6 – минус 13 °С, что на 5–8 °С ниже средних многолетних значений. Снежный покров на протяжении первой декады марта удерживался повсеместно. Апрель характеризовался преобладанием повышенного температурного режима и дефицитом осадков. Средняя за месяц температура воздуха составила от плюс 7 до плюс 10 °С, что на 2–3 °С выше климатической нормы. Дожди в апреле выпадали редко, носили в основном кратковременный характер. Май характеризовался неоднородным температурным режимом. Средняя за месяц температура воздуха составила от плюс 12 до плюс 15 °С и оказалась в основном на 1 °С выше климатической нормы. Дневные максимумы температуры достигали плюс 19 – плюс 26 °С, в третьей декаде на юге страны – плюс 27 – плюс 30 °С. В ночные часы в мае температура воздуха

в основном изменялась от плюс 1 – плюс 8 до плюс 9 – плюс 15 °С. Дожди носили преимущественно кратковременный характер и по территории страны распределялись неравномерно.

Лето характеризовалось повышенным температурным режимом, средняя температура оказалась на 1–3 °С выше нормы. Июнь характеризовался преобладанием повышенного температурного режима. Среднемесячная температура воздуха за июнь составила от плюс 17 до плюс 20 °С и оказалась на 2–3 °С выше климатической нормы. Дневные максимумы при этом достигали плюс 28 – плюс 32 °С. Июль характеризовался в основном теплой и дождливой погодой. В целом за месяц средняя температура воздуха составила от плюс 19 до плюс 22 °С, что на 1–3 °С выше климатической нормы. Минимальная температура воздуха ночью в течение месяца в основном колебалась от плюс 12 до плюс 19 °С. Дожди носили ливневый характер и выпадали часто. В августе преобладала теплая, временами неустойчивая погода. Среднесуточная температура воздуха в основном находилась в пределах от плюс 16 до плюс 22 °С, что на 1–5 °С выше нормы. В дневные часы воздух прогревался до плюс 20 – плюс 27 °С, минимальная температура воздуха ночью колебалась от плюс 8 до плюс 17 °С. Дожди носили ливневый характер и распределялись по территории неравномерно.

Осень была теплой и сухой. Во все месяцы отмечалась значительная положительная аномалия температуры воздуха – на 1–4 °С выше климатической нормы. В отдельных районах Брестской, Гомельской и Могилевской областей такого сухого ноября не было ни разу за всю историю метеорологических наблюдений (метеостанции Пинск, Полесская, Ганцевичи, Ивацевичи, Пружаны, Октябрь, Лельчицы, Жлобин, Славгород и Бобруйск).

Декабрь характеризовался преобладанием очень теплой погоды. Среднемесячная температура воздуха составила от плюс 1 до плюс 2 °С, что выше климатической нормы на 4–6 °С. В дневные часы местами воздух прогревался до плюс 10 – плюс 11 °С, 5 декабря по южной половине Гомельской области – до плюс 12 – плюс 14 °С. Устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С в декабре не произошло, хотя обычно он отмечается еще во второй половине ноября. Устойчивого залегания снежного покрова не отмечалось.

В результате проведенных исследований выяснилось, что в течение 2007–2011 гг. в целом по республике наблюдалась положительная аномалия температуры воздуха. В большинстве регионов средняя температура воздуха была выше климатической нормы, однако осадки выпадали крайне неравномерно. Таким образом, можно предположить, что данная климатическая ситуация отчасти является следствием осушительных мелиораций на большей части территории Беларуси во второй половине XX века.

### **Список использованных источников**

1 Киселев, В. Н. Ландшафтно-экологические исследования Белорусского Полесья / В. Н. Киселев, К. Д. Чубанов. – Минск: Наука и техника, 1979. – 103 с.

2 Адаменко, В. Н. Мелиоративная микроклиматология / В. Н. Адаменко. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 184 с.

УДК 631.432:62

**А. Н. Рокочинский, Н. А. Фроленкова, Л. Н. Паллу**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**

Рассмотрены оптимизационные подходы при обосновании конструктивных и технологических решений водорегулирования осушаемых земель. Реализация таких подходов требует разработки комплексной модели оптимизации конструкции и параметров систем, которая обязательно должна учитывать и экологическую составляющую реализации гидромелиораций, давать возможность определять соответствующие экономически целесообразные и экологически приемлемые проектные решения. Приведены все составляющие комплексной модели оптимизации, такие как технико-экономические показатели, которые входят в состав экономико-математической модели, а также экологические показатели (критерии) водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель. Приведена разработанная авторами последовательность составления модели путем применения методов математического моделирования с использованием ЭВМ, основанная на создании комплекса иерархически связанных как оптимизационных, так и прогнозно-имитационных субмоделей по прогнозированию на долгосрочной основе водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель, их влияния на урожай выращиваемых культур и создаваемый экологический эффект. Применение оптимизационных подходов при обосновании конструктивных и технологических решений водорегулирования осушаемых земель в проектах их строительства и реконструкции дает возможность сократить дисконтный срок окупаемости капиталовложений до 5–7 лет.

Ключевые слова: осушаемые земли, оптимизационные методы, технология водорегулирования, водохозяйственно-мелиоративный проект, комплексная модель оптимизации.

Главными стратегическими направлениями мелиорации земель на перспективу должны стать всеохватывающая реконструкция и усовершенствование существующих систем, приведение к оптимальному соотношению орошения и осушения с другими мелиоративными методами улучшения свойств почвы и повышения ее плодородия. Поэтому повышение эффективности и уровня развития аграрного производства, в том числе на осушаемых землях, является одним из приоритетных направлений водохозяйственно-мелиоративного комплекса Украины на современном этапе, отвечающего основным задачам:

- Водного и Земельного кодексов Украины;
- Закона Украины «О мелиорации земель»;
- Общегосударственной целевой программы развития водного хозяйства и экологического оздоровления бассейна р. Днепр на период до 2020 года и других нормативно-правовых актов относительно обеспечения функционирования водохозяйственно-мелиоративных объектов.

Главной задачей мелиораций должно быть не только увеличение сельскохозяйственной продукции, но и сохранение и улучшение плодородия почвогрунтов при условии рационального использования земельных, водных и других ресурсов, охраны окружающей среды.

Развитию мелиораций в Украине вообще и в зоне осушения в частности присущи все общие объективно обусловленные как положительные, так и отрицательные тенденции. В первую очередь это касается того, что широкомасштабное развитие мелиораций связано со значительными капиталовложениями, очень ощутимыми для экономики любой страны, но полученный эффект при этом составляет в лучшем случае 60–70 % от проектного. Недостижение проектной эффективности мелиораций происходит из-за недостатка наших знаний о результатах взаимодействия мелиоративной деятельности человека с природными процессами и их учета при создании и функционировании мелиоративных объектов [1–3].

Решение данной проблемы возможно путем перехода на оптимизационные методы проектирования и расчета. Наиболее перспективным считается экономико-математический метод обоснования конструкций и параметров водохозяйственно-мелиоративных объек-

тов и составляющих их технических элементов, основанный на реализации комплекса оптимизационных и прогнозно-имитационных расчетов [3, 4].

Однако в условиях перехода на рыночные отношения данный метод в том виде, в котором он был реализован [4, 5], уже не дает возможности дифференцированно определять оптимальные конструкции и параметры гидромелиоративных систем (ГМС) и соответствующих технологий водорегулирования относительно разных уровней продуктивности выращиваемых сельскохозяйственных культур с соблюдением современных экономических и экологических требований в сменных природно-агроемелиоративных условиях реального объекта, а поэтому нуждается в дальнейшем усовершенствовании.

Реализация такого подхода требует разработки комплексной модели оптимизации конструкции и параметров ГМС, которая, в отличие от существующего экономико-математического метода, рассматривающего только аспекты экономической оптимизации, обязательно должна учитывать и экологическую составляющую реализации гидромелиораций, давать возможность определять соответствующие экономически целесообразные и экологически приемлемые проектные решения (ПР) при создании и функционировании водохозяйственно-мелиоративных объектов и комплексов, в том числе при осушении.

Рассмотрение ГМС как сложной природно-технической системы предопределяет в качестве необходимого условия нахождение общего оптимума в такой системе на основе системной оптимизации. Суть системной оптимизации заключается в соответствующем установлении промежуточных и локальных оптимумов для всех основных ее технических водорегулирующих элементов (дренажа, шлюза-регулятора, насосной станции, главной дрены и др.) по всем основным переменным в пространстве и времени факторам, влияющим на эффективность водорегулирования (климат, рельеф, выращиваемые сельскохозяйственные культуры, технологии водорегулирования и т. д.).

Поэтому исходная модель по обоснованию конструктивных решений относительно типов, конструкций и параметров ГМС в целом и составляющих их технических элементов (регулирующей сети, гидротехнических сооружений, насосных станций и т. п.) в общем неявном виде формулируется как комплексная модель вида [6, 7]:

$$\begin{cases} U_0 = \underset{\{i\}}{\text{extr}} U_i, i = \overline{1, n_i} \\ Z_{0j} = \min_{\{i\}} |Z_{ji} - \hat{Z}_j|, j = \overline{1, n_j}, i = \overline{1, n_i} \end{cases}$$

где  $U_0$  – экстремальное значение по принятому условию избранного критерия экономической оптимальности  $U$ , которая отвечает оптимальному ПР из возможных вариантов  $I = \{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$Z_{ji}$  – совокупность  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ , критериев (физических показателей) экологической эффективности соответствующих вариантов ПР;

$\hat{Z}_j$  – соответствующие принятые лимитирующие показатели экологической эффективности.

Оптимальный уровень расчетной обеспеченности, определяющий параметры конструктивных решений в проекте конкретного объекта, может быть установлен, в отличие от принятой практики ее нормирования, также на эколого-экономической основе с учетом имеющихся природно-агромелиоративных условий по соответствующей комплексной оптимизационной модели:

$$\begin{cases} p_0 = \underset{\{i\}}{\text{extr}} U_0(P), i = i_0, p = \overline{1, n_p} \\ Z_{0j} \geq \hat{Z}_j, j = \overline{1, n_j} \end{cases}$$

где  $p_0$  – оптимальная типовая схема природно-климатических условий объекта соответствующей расчетной обеспеченности периода вегетации из совокупности  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ , установленная по экстремуму функции  $U_0(P)$ , построенной для экономически оптимального проектного решения  $i = i_0$ ;

$Z_{0j}$  – совокупность  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ , критериев экологической эффективности при  $i = i_0$ .

Варианты ПР совокупности  $I = \{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ , формируются по разным технологиям водорегулирования осушаемых земель и соответствующим конструктивным решениям относительно ГМС и их технических элементов.

Реализация экономической составляющей модели определяется в общем случае принятой четырехуровневой иерархической структурой выполнения оптимизационных расчетов:



$$ZP_{0_v} = \min_{\{i\}} \sum_{l=1}^{n_l} \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left( \sum_{p=1}^{n_p} ZP_{i_p k g l} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_l, \quad v = \overline{1, n_v}, \quad i = \overline{1, n_i},$$

где  $ZP_{0_v}$  – оптимальное значение экономического критерия для каждого уровня иерархии  $v = \overline{1, n_v}$  реализации модели соответственно на уровне культур проектного севооборота ( $v=1$ ), почвогрунтов ( $v=2$ ), структурных элементов системы по характерным условиям (рельефным, грунтово-мелиоративным и т. п.) ( $v=3$ ) и системы в целом ( $v=4$ );

$i$  – варианты ПР совокупности  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ , определяющие тип и конструкцию мелиоративной системы на осушаемых землях относительно соответствующих технологий водорегулирования совокупности  $\{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$ ;

$\alpha_p$  – долевое участие расчетных по условиям тепло- и влагообеспеченности лет в пределах проектного срока функционирования объекта,  $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$ ;

$ZP_{i_p k g l}$  – значение экономического критерия по соответствующим вариантам ПР относительно множественных переменных природных и агро-мелиоративных условий исследуемого объекта;

$f_k, f_g, f_l$  – доли распространения соответственно культур проектного севооборота  $\{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ , почвенных условий  $\{g\}$ ,  $g = \overline{1, n_g}$ , выделенных структурных элементов системы с характерными условиями (рельефными, почвенно-мелиоративными и т. п.) совокупности  $\{l\}$ ,  $l = \overline{1, n_l}$ .

Реализация экологической составляющей модели нуждается в определении совокупности разнородных показателей и критериев экологической эффективности проектных решений, прежде всего в пределах мелиоративного поля. На основании анализа и обобщения многочисленных данных рекомендуется для использования такая совокупность показателей, которая отражает разные стороны сложного характера условий формирования водного режима осушаемых земель за вегетацию: глубину уровня грунтовых вод, уровень влагообеспеченности расчетного слоя почвы, величину инфильтрации, величину подпитывания расчетного слоя почвы, величину суммарного влагообмена, увлажнительную норму, урожай выращиваемых сельскохозяйственных культур и т. п.

Все составляющие комплексной модели оптимизации, такие как технико-экономические показатели, которые входят в состав экономико-математической модели, а также экологические показатели (критерии) водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель, определяются принятыми параметрами системы, являются переменными и зависят от многих факторов, главные из которых конструктивно-технологические, природно-климатические, почвенно-мелиоративные, агротехнические и другие условия объекта.

В связи с этим определение необходимых значений составляющих общих моделей оптимизации возможно только на базе решения сложной и разветвленной, многопараметрической и многофункциональной задачи путем применения методов математического моделирования с использованием ЭВМ и основывается на создании комплекса иерархически связанных как оптимизационных, так и прогнозно-имитационных субмоделей по прогнозированию на долгосрочной основе водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель, их влияния на урожай выращиваемых культур и создаваемый экологический эффект.

Принципы построения и реализации комплексной модели оптимизации в проектах строительства и реконструкции осушительных систем рассмотрены в работах А. Н. Рокочинского, Н. А. Фроленковой, Л. Ф. Кожушко (2007, 2010) [6, 7] и регламентированы соответствующим отраслевым нормативом [8].

В свою очередь, реализация моделей оптимизации водорегулирования осушаемых земель опирается на комплекс имитационных моделей по прогнозной оценке на долгосрочной основе погодноклиматических условий местности по расчетной тепло- и влагообеспеченности периодов вегетации, водного режима и технологий водорегулирования, а также продуктивности осушаемых земель в пределах исследуемого объекта, использование которых регламентировано [9–11].

**Сфера использования.** В качестве организаций, заинтересованных в применении данных разработок, могут выступать проектные и эксплуатационные подразделения управления водохозяйственно-мелиоративными объектами и комплексами, водными ресурсами, соответствующих служб аграрной политики, экологии и природных ресурсов, других заинтересованных ведомств, сфера деятельности которых распространяется на сельскохозяйственные угодья с регулируемым водным режимом гумидной зоны.

**Эффективность разработки.** Применение оптимизационных подходов при обосновании конструктивных и технологических решений водорегулирования осушаемых земель в проектах их строительства и реконструкции дает возможность сократить дисконтный срок окупаемости капиталовложений до 5–7 лет.

### **Список использованных источников**

- 1 Айдаров, И. П. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель: рекомендации / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. – М.: Агрометеоиздат, 1990. – 60 с.
- 2 Шумаков, Б. Б. Мелиорация в XXI веке / Б. Б. Шумаков // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 3. – С. 4–6.
- 3 Галямин, Е. П. Модель оптимального регулирования условий жизни растений на мелиорируемом поле / Е. П. Галямин // Гидротехника, мелиорация и использование осушенных земель. – Минск, 1968. – С. 125–137.
- 4 Принципы оптимизации управления водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах / Г. И. Афанасик, О. Р. Армоник, В. Н. Пятницкий, А. И. Финский // Управление водным режимом мелиорированных земель. – Минск: Урожай, 1987. – С. 9–15.
- 5 Лазарчук, А. М. Оптимізація розрахунку осушувальних систем та управління ними: монографія / А. М. Лазарчук. – Рівне, 2010. – 402 с.
- 6 Рокочинський, А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / А. М. Рокочинський; за ред. М. І. Ромащенко. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
- 7 Фроленкова, Н. А. Еколого-економічна оцінка в управлінні меліоративними проектами / Н. А. Фроленкова, Л. Ф. Кожушко, А. М. Рокочинський. – Рівне: НУВГП, 2007. – 260 с.
- 8 Тимчасові рекомендації з прогнозої оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель для проектування будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. І. Павлов, Н. А. Фроленкова [та ін.]. – Рівне, 2010. – 52 с.
- 9 Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А. М. Рокочинський, О. І. Галік, Н. А. Фроленкова, В. А. Волощук [та ін.]. – Рівне, 2008. – 64 с.
- 10 Тимчасові рекомендації з прогнозої оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель для проектування будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. І. Павлов, Н. А. Фроленкова [та ін.]. – Рівне, 2010. – 52 с.
- 11 Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди». Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, А. В. Сташук, В. Д. Дупляк, С. В. Шалай [та ін.]. – Київ – Рівне, 2006. – 50 с.

## **ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ДРЕНАЖА НА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ**

Рассмотрены подходы к обоснованию конструкции и параметров дренажа на эколого-экономической основе. Разработаны принципы построения и реализации комплексной модели оптимизации параметров дренажа с учетом климатологически оптимальной стратегии управления объектом, основанной на реализации взаимосвязанных конструктивно-технологического, прогноз-имитационного и оптимизационного блоков моделей, что позволяет определить экономически целесообразные и экологически приемлемые проектные решения по соответствующим критериям. В качестве экономического критерия и условия оптимизации рассматривается минимизация приведенных затрат с учетом погодно-климатического риска, а экологической составляющей – условие (как ограничение) соответствия значений модуля дренажного стока в пределах системы его экологически допустимому значению. Приведена обобщенная блок-схема построения и реализации комплексной модели оптимизации конструкции и параметров дренажа. Полученные авторами результаты показывают, что оптимальные расстояния между дренами на низшем уровне иерархии их выполнения «культура – почва» изменяются от 12 м для картофеля на торфах до 39 м для трав на песках при соответствующем изменении расчетного модуля дренажного стока по всему спектру уровней эффективности работы дренажа от экологического  $q_{\text{экол}} = 0,40$  л/(с·га) до экономического  $q_{\text{экон}} = 0,80$  л/(с·га). Разработанный подход позволит обосновывать конструкцию и параметры сельскохозяйственного дренажа в проектах строительства и реконструкции осушительных систем. Кроме того, рассмотренный подход после соответствующей параметризации и структуризации модельного комплекса может быть успешно применен при обосновании параметров дренажа на орошаемых землях.

Ключевые слова: дренаж, конструкции, параметры, эколого-экономическая основа обоснования.

В современных условиях развития гидромелиораций приоритетной задачей является реконструкция и модернизация существующего мелиоративного фонда с учетом современных экономических и экологических требований, в том числе и на осушаемых землях. Это требует разработки научно обоснованных подходов к расчету конструкций и параметров сельскохозяйственного дренажа, основанных на комплексе прогноз-оптимизационных моделей [1, 2].

Наиболее перспективным представляется экономико-математический метод определения параметров мелиоративных объектов и составляющих их технических элементов, в котором сочета-

ются преимущества гидромеханического и эмпирического методов [1–3].

В экономико-математическом методе, разработанном В. Г. Мурановым и Н. О. Лазарчуком [3], анализируется только экономическая составляющая и не учитывается экологическая эффективность при определении оптимальных конструкций и параметров дренажа, что не соответствует современным требованиям.

В связи с этим по аналогии с предыдущими разработками А. Н. Рокочинского (2010) [2], авторами подготовлена комплексная модель оптимизации конструкции и параметров дренажа осушаемых земель [4, 5], построенная с учетом климатологически оптимальной стратегии управления объектом и позволяющая определить экономически целесообразные и экологически приемлемые проектные решения (ПР) для дренажа по следующим критериям:

$$\left\{ \begin{array}{l} ZP_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} ZP_{ip} \cdot \alpha_p, \quad i = \overline{1, n_i} \\ q_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} |q_s - \hat{q}_{\text{экол}}| \cdot \alpha_p, \quad i = \overline{1, n_i} \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $ZP_0$  – оптимальное значение критерия по  $i$ -му варианту ПР по конструкции и параметрам дренажа совокупности  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$\alpha_p$  – известные (установленные или заданные) значения повторяемости или долевого участия возможного состояния типичных метеорологических режимов в расчетные периоды вегетации в пределах проектного срока функционирования объекта,  $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$ ;

$q_0$  – оптимальное по экологическим условиям значение модуля дренажного стока по  $i$ -му варианту;

$q_s$  – прогнозное средневзвешенное эффективное (проектное) значение модуля дренажного стока в пределах системы и проектного срока функционирования объекта по  $i$ -му варианту ПР;

$\hat{q}_{\text{экол}}$  – значение модуля дренажного стока, соответствующее экологическому уровню эффективности работы дренажа;

$i$  – варианты ПР совокупности  $\{i\}$ .

Все составляющие комплексной модели оптимизации, такие как технико-экономические показатели, входящие в состав экономико-

математической модели, а также экологический показатель (критерий) водного и общего природно-мелиоративного режимов осушаемых земель, определяются параметрами дренажа, являются переменными и зависят от многих факторов, главные из которых конструктивно-технологические, природно-климатические, почвенно-мелиоративные, агротехнические и другие условия объекта:

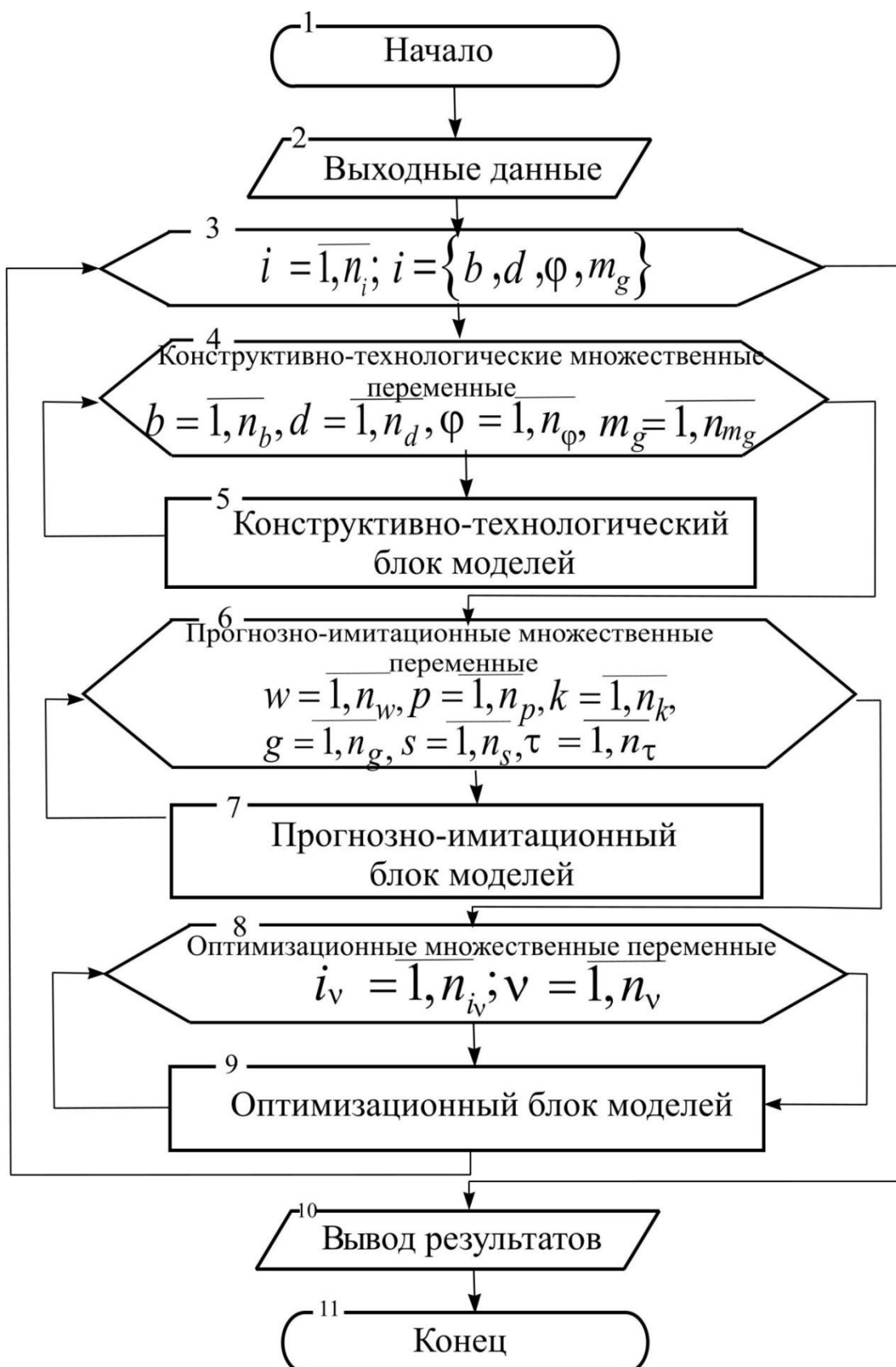
- *конструктивно-технологические множественные переменные*: виды дренажа по материалу изготовления совокупности  $\{b\}$ ,  $b=\overline{1, n_b}$ ; конструкции дренажа по разным диаметрам труб совокупности  $\{d\}$ ,  $d=\overline{1, n_d}$ ; конструкции фильтров дренажа совокупности  $\{\varphi\}$ ,  $\varphi=\overline{1, n_\varphi}$ ; расчетные схемы работы дренажа в зависимости от имеющихся почвенно-мелиоративных различностей совокупности  $\{m_g\}$ ,  $m_g=\overline{1, n_{m_g}}$ ;

- *прогнозно-имитационные множественные переменные*: метеорологические станции или посты в пределах системы совокупности  $\{\omega\}$ ,  $\omega=\overline{1, n_\omega}$ ; расчетные по условиям тепло- и влагообеспеченности периоды вегетации совокупности  $\{p\}$ ,  $p=\overline{1, n_p}$ ; виды осушаемых почв совокупности  $\{g\}$ ,  $g=\overline{1, n_g}$ ; выращиваемые сельскохозяйственные культуры проектного севооборота совокупности  $\{k\}$ ,  $k=\overline{1, n_k}$ ; способы водорегулирования осушаемых земель совокупности  $\{s\}$ ,  $s=\overline{1, n_s}$  (в нашем случае  $s=1$  – осушение).

Принципы построения и реализации модели оптимизации основаны на связанных между собой конструктивно-технологическом, прогнозно-имитационном и оптимизационном блоках моделей для обоснования оптимальных параметров дренажа и их влияния на урожай выращиваемых культур, а также создаваемые экономический и экологический эффекты [6, 7].

Характерными особенностями разработанной структуры являются блочное ее построение и цикличность осуществления расчетов (рисунок 1).

Поскольку предложенная авторами комплексная модель оптимизации конструкции и параметров дренажа включает в себя разнообразные показатели экономической и экологической эффективности, ее практическая реализация сводится к определению экономически оптимального и экологически приемлемого (целесообразного) ПР.



**Рисунок 1 – Обобщенная блок-схема построения и реализации комплексной модели оптимизации конструкции и параметров дренажа**

Экономическая составляющая модели (1) определяется в общем случае принятой четырехуровневой ( $v=\overline{1, n_v}$ ,  $n_v=4$ ) иерархической структурой выполнения оптимизационных расчетов:

$$ZP_{0_v} = \min_{\{i\}} \sum_{m_g=1}^{n_{m_g}} \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left( \sum_{p=1}^{n_p} ZP_{ipkgm_g} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_{m_g}, \quad v=\overline{1, n_v}, \quad i=\overline{1, n_i},$$

где  $ZP_{0_v}$  – оптимальное значение критерия для каждого уровня иерархии  $v=\overline{1, n_v}$  реализации модели соответственно на уровне культур проектного севооборота ( $v=1$ ), почвогрунтов ( $v=2$ ), почвенно-мелиоративных разностей ( $v=3$ ) и системы в целом ( $v=4$ );

$ZP_{ipkgm_g}$  – значение критерия по соответствующим вариантам ПР относительно множественных переменных природно-агротехнических условий исследуемого объекта;

$f_k, f_g, f_{m_g}$  – значение долей распространения соответственно культур проектного севооборота  $\{k\}$ ,  $k=\overline{1, n_k}$ , почвенно-грунтовых условий  $\{g\}$ ,  $g=\overline{1, n_g}$ , почвенно-мелиоративных различий в пределах объекта  $\{m_g\}$ ,  $m_g=\overline{1, n_{m_g}}$ .

По результатам реализации модели (1) можно получить оптимальные значения критерия  $ZP_0$  для каждого уровня иерархии  $ZP_{0_v}$ ,  $v=\overline{1, n_v}$ , в исследуемых условиях.

Экологическая приемлемость определенного экономически оптимального ПР по конструкции и параметрам дренажа на уровне системы достигается при условии, когда  $q_s \rightarrow \hat{q}_{\text{экол}}$ , где

$$q_s = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left[ \sum_{p=1}^{n_p} \left( \sum_{\tau=1}^{n_\tau} q_{kgp\tau} / n_{p\tau} \right) \cdot \alpha_p \right] \cdot f_k \cdot f_g,$$

где  $q_{kgp\tau}$  – среднедекадное значение модуля дренажного стока за расчетные интервалы времени (декады) совокупности  $\{\tau\}$ ,  $\tau=\overline{1, n_\tau}$ , для каждой культуры  $k=\overline{1, n_k}$ , почвогрунта  $g=\overline{1, n_g}$ , расчетных по условиям влаго- и теплообеспеченности периодов вегетации  $p=\overline{1, n_p}$ , которые формируются под влиянием множественных изменчивых природных, агротехнических и мелиоративных условий реального объекта;



$$\hat{q}_{\text{экол}} = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left( \sum_{p=1}^{n_p} \hat{q}_{kgp} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_g,$$

где  $\hat{q}_{kgp}$  – значение модуля дренажного стока, соответствующее экологическому уровню эффективности работы дренажа для таких переменных условий исследуемого объекта, как тепло- и влагообеспеченность расчетных периодов вегетации  $p = \overline{1, n_p}$ , выращиваемые культуры  $k = \overline{1, n_k}$  и виды почвогрунтов  $g = \overline{1, n_g}$ .

**Пример расчета** по обоснованию конструкции и параметров дренажа на основе учета современных экономических и экологических требований приводится на основе проекта, реализованного на землях осушительной системы «Милячи-Кзаки» Дубровицкого района Ровенской области (на площади 25 га). Почвы на участке представлены дерновыми слабоподзолистыми песчаными на песках с коэффициентом фильтрации  $k_{\phi} = 1,0$  м/сут и долевыми частями  $f_{g_m} = 0,1$ , дерново-оподзоленными глеевыми связно-супесчаными ( $k_{\phi} = 0,7$  м/сут,  $f_{g_m} = 0,3$ ), торфяными среднemosными малозольными ( $k_{\phi} = 0,4$  м/сут,  $f_{g_m} = 0,6$ ). На участке реконструкции укладывается пластмассовый дренаж с круглой перфорацией и песчано-гравийной засыпкой диаметром 63 мм. Севооборот на массиве представлен тремя культурами: озимой пшеницей ( $f_k = 0,3$ ), картофелем ( $f_k = 0,2$ ) и многолетними травами на сено ( $f_k = 0,5$ ).

Обобщающие результаты оптимизационных расчетов параметров дренажа по рассмотренному объекту представлены в таблице 1.

Анализ полученных результатов показывает, что в заданных условиях оптимальные расстояния между дренажами на низшем уровне иерархии их выполнения «культура – почва» изменяются от 12 м для картофеля на торфах до 39 м для трав на песках при соответствующем изменении расчетного модуля дренажного стока по всему спектру уровней эффективности работы дренажа от экологического  $q_{\text{экол}} = 0,40$  л/(с·га) до экономического  $q_{\text{экон}} = 0,80$  л/(с·га).

При этом соблюдение условия экологической приемлемости оптимального ПР определяется сравнением  $q_s = 0,40$  л/(с·га) с  $\hat{q}_{\text{экол}} = 0,45$  л/(с·га).

**Таблица 1 – Обобщающие результаты оптимизационных расчетов параметров дренажа**

Вид почвы ( $g_m$ )	Культура ( $k$ )	На уровне культуры			На уровне почвы			На уровне почвенно-мелиоративной разницы			На уровне системы		
		( $q_0$ )	( $B$ )	( $ZP_k$ )	( $q_0$ )	( $B$ )	( $ZP_{kg_m}$ )	( $q_0$ )	( $B$ )	( $ZP_{g_m m_g}$ )	( $q_0$ )	( $B$ )	( $ZP_0$ )
Дерновые слабо-подзолистые песчаные на песках ( $f_{g_m} = 0,1$ )	Озимая пшеница – 45 ц/га ( $f_k = 0,3$ )	0,55	30,00	0,931									
	Картофель – 280 ц/га ( $f_k = 0,2$ )	0,80	19,00	0,632	0,80	19,00	0,632	0,80	19,00	0,632			
	Многолетние травы – 52 ц/га ( $f_k = 0,5$ )	0,40	39,00	0,948									
Дерново-оподзоленные глеевые связно-супесчаные ( $f_{g_m} = 0,3$ )	Озимая пшеница – 45 ц/га ( $f_k = 0,3$ )	0,60	21,00	0,922									
	Картофель – 280 ц/га ( $f_k = 0,2$ )	0,70	14,00	0,615	0,70	14,00	0,615	0,70	14,00	0,613			
	Многолетние травы – 52 ц/га ( $f_k = 0,5$ )	0,50	24,00	0,892									
Торфяные сред-немощные мало-зольные ( $f_{g_m} = 0,6$ )	Озимая пшеница – 45 ц/га ( $f_k = 0,3$ )	0,50	18,00	0,871									
	Картофель – 280 ц/га ( $f_k = 0,2$ )	0,65	12,00	0,583	0,65	12,00	0,583	0,65	12,00	0,583	0,65	12,00	0,583
	Многолетние травы – 52 ц/га ( $f_k = 0,5$ )	0,40	22,00	0,872									
Примечание – Оптимальные параметры дренажа для всех возможных вариантов выделены серым цветом.													

Таким образом, разработанный подход позволяет обосновывать конструкции и параметры сельскохозяйственного дренажа на основе учета современных экономических и экологических требований в проектах строительства и реконструкции осушительных систем. Кроме того, рассмотренный подход после соответствующей параметризации и структуризации модельного комплекса может быть успешно применен также при обосновании параметров дренажа на орошаемых землях.

### **Список использованных источников**

1 Айдаров, И. П. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель: рекомендации / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. – М.: Агрометеоиздат, 1990. – 60 с.

2 Рокочинський, А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / А. М. Рокочинський; за ред. М. І. Ромащенко. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.

3 Технические указания по оптимизации параметров горизонтального дренажа на основании экономико-математического расчета при проектировании осушительных систем в Украинской ССР: НТД 33-63-090-89 / Н. А. Лазарчук, В. Г. Муранов, А. В. Черенков, А. Н. Рокочинский. – Киев: Укргипроводхоз, 1989. – 26 с.

4 Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова [та ін.]. – Рівне, 2010. – 52 с.

5 Тимчасові рекомендації з прогнозої оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова [та ін.]. – Рівне, 2011. – 54 с.

6 Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, С. В. Шалай, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк [та ін.]. – Рівне, 2006. – 50 с.

7 Волк, П. П. Влияние работы дренажа на формирование продуктивности осушаемых земель в весенний период / П. П. Волк, С. В. Шалай, А. Н. Рокочинский // Научно-технические и экологические проблемы природопользования: матер. Междунар. науч.-практ. конф., г. Брест, 18–20 апреля 2012 г. / Брестский гос. техн. ун-т; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2012. – С. 33–37.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДРЕНАЖНЫХ МОДУЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ СЕТИ ОСУШАЕМЫХ СИСТЕМ**

В статье приведены результаты аналитических исследований работы дренажных модулей в условиях близкого залегания водоупора и неравномерного во времени инфильтрационного питания. Дана оценка использованию фильтрационных элементов на дренажно-модульных системах. Авторами поставлена задача сравнить регулирующую сеть, представленную традиционным дренажем и дренажными модулями. Для этого соотнесены регулирующие свойства сети (отвод избыточных грунтовых вод), а также экономический аспект (длина регулирующей сети). Исходными данными для двух вариантов были следующие: норма осушения  $\Delta H = 0,4$  м; глубина залегания водоупора  $H_b = 1,2$  м; коэффициент фильтрации грунта  $k = 1$  м/сут; тип питания – инфильтрационный с интенсивностью  $q = 0,006$  м/сут. Далее с использованием расчетной схемы для определения расстояния между дренами для соседних разноглубоких дрен и схемы для определения параметров работы дренажных модулей при отключении дрен мелкого заложения были рассчитаны расстояния между дренами и определена глубина их заложения. Предлагается, используя дренажные модули, а также фильтрующие элементы, создавать принципиально новые гидромелиоративные системы в гумидной зоне, основным свойством которых является саморегулирование водопоглощающей способности в зависимости от положения уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: гидромелиоративная система, регулирующая сеть, дренажный модуль, уровень грунтовых вод, дрены мелкой и глубокой закладки, фильтрующие элементы, саморегулирование.

Гидромелиоративные системы должны обеспечивать оптимальные условия развития растений в разные по метеорологическому типу периоды. Строительство осушительных систем в гумидной зоне обеспечивает отвод избыточной влаги из поверхностных слоев почвы. Это позволяет вовремя начинать сельскохозяйственные работы и предупреждает переувлажнение корнеобитаемого слоя почвы в паводковые периоды. Однако такие системы недостаточно контролируемые, что делает невозможным регулирование уровня грунтовых вод (УГВ) в течение вегетационного периода. Более совершенны в этом плане осушительно-увлажняющие и осушительно-оросительные системы. Однако их строительство требует дополнительных капиталовложений, а эксплуатация является трудоемкой.

Решение проблемы совершенствования гидромелиоративных систем гумидной зоны должно основываться на комплексном подходе. Проблематика переувлажнения земель должна рассматриваться при условии недопущения их иссушения. Идею доувлажнения дренированных земель исследовали и обосновывали А. Н. Костяков, Б. С. Маслов, С. Потоцкий, А. М. Янголь и другие. Ряд ученых, среди которых Л. Ф. Кожушко, В. А. Живица, Н. Н. Ковальчук, исследовали возможность усовершенствования регулирующей сети осушаемых систем путем комбинации традиционного трубчатого дренажа с нетрадиционными конструкциями [1].

Инновационным методом регулирования водно-воздушного режима почвы в гумидной зоне является использование дренажных модулей в качестве регулирующей сети гидромелиоративных систем. Эти модули были разработаны в НУВХП под руководством д-ра техн. наук, профессора Н. Н. Ткачука. Их новизна заключается в возможности создания двух режимов работы регулирующей сети. Это достигается благодаря использованию разноглубоких смещенных в плане дрен. Принцип работы такого дренажа следующий. В период паводка, когда УГВ находится близко к поверхности почвы, идет интенсивный приток воды в дрены мелкого и глубокого заложения с последующим ее отводом. При этом УГВ интенсивно снижается. В момент приближения УГВ к глубине дрен мелкого заложения они исключаются из работы. Глубокие дрены продолжают работать, но объем отведенной воды уменьшается в несколько раз за счет увеличения расстояний между дренами [2].

На основе дренажных модулей были разработаны дренажно-модульные и дренажные экранно-модульные системы [3, 4]. Расчет параметров регулирующей сети осушительной системы является одной из важнейших задач, возникающих при проектировании гидромелиоративных систем. Основными такими параметрами являются глубина закладки элементов регулирующей сети и расстояние между ними. В данной статье рассмотрим случай неглубокого залегания водопора (до 1,5 м), что, согласно ДБН В.2.4-1-99 «Мелиоративные системы и сооружения» [5], позволит разместить регулирующую сеть на поверхности водопора.

Авторами поставлена задача сравнить регулирующую сеть, представленную традиционным дренажем и дренажными модулями.

Будем соотносить регулирующие свойства (отвод избыточных грунтовых вод), а также экономический аспект (длина регулирующей сети). Зададимся необходимыми исходными данными для двух вариантов: норму осушения примем  $\Delta H = 0,4$  м; глубину залегания водоупора  $H_B = 1,2$  м; коэффициент фильтрации грунта  $k = 1$  м/сут; тип питания – инфильтрационный с интенсивностью  $q = 0,006$  м/сут. Заданные условия не исключаются в гумидной зоне и для последующих вычислений служат лишь точкой отсчета. Для упрощения вычислений рассматриваем дрена как совершенную.

Из проведенного ранее анализа методик расчета расстояний между разноглубокими дренами [6] известно, что для расчета расстояния между дренами, залегающими на поверхности водоупора, следует использовать формулу Кене:

$$B = 2 \sqrt{\frac{k}{q}(H^2 - h^2)}, \quad (1)$$

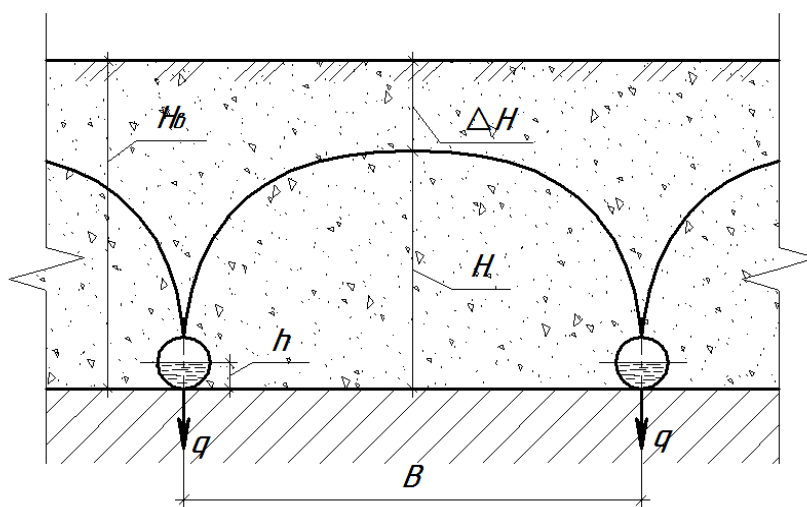
где  $B$  – расстояние между дренами;

$H$  – превышение УГВ над поверхностью водоупора в центре между дренами;

$h$  – уровень воды в дрене (принимаем, что дрена заполнена до половины, а следовательно,  $h = 0,025$  м).

Основываясь на исходных данных и расчетной схеме (рисунок 1), определим  $H$ :

$$H = H_B - \Delta H = 1,2 - 0,4 = 0,8 \text{ м.}$$



**Рисунок 1 – Расчетная схема для определения расстояния между дренами по формуле Кене**

Из зависимости (1) получим:

$$B=2\sqrt{\frac{1}{0,006}(0,8^2-0,025^2)}=20,6 \text{ м.}$$

Расстояние между дренами принимаем  $B = 21$  м.

Запроектируем дренажные модули, основываясь на тех же исходных данных. Для расчета расстояния между соседними дренами глубокого и мелкого заложения воспользуемся, согласно проведенному ранее анализу методик расчета расстояний между разноглубокими дренами [6], зависимостью:

$$B_{\text{мг}} = \sqrt{k} \left[ \sqrt{\frac{(h_0^2 - m_1^2 - h_{01}^2)}{q_1}} + \sqrt{\frac{(h_0^2 - m_2^2 - h_{02}^2)}{q_2}} \right], \quad (2)$$

где  $B_{\text{мг}}$  – расстояние между соседними дренами глубокого и мелкого заложения;

$h_0$  – превышение УГВ над водоупором;

$m_1$  – расстояние от водоупора до дрены глубокого заложения ( $m_1 = 0$ );

$m_2$  – расстояние от водоупора до дрены мелкого заложения;

$h_{01}, h_{02}$  – уровень воды в дренах глубокого и мелкого заложения соответственно ( $h_{01} = h_{02} = 0,025$  м);

$q_1, q_2$  – интенсивность притока воды к дренам соответственно глубокого и мелкого заложения.

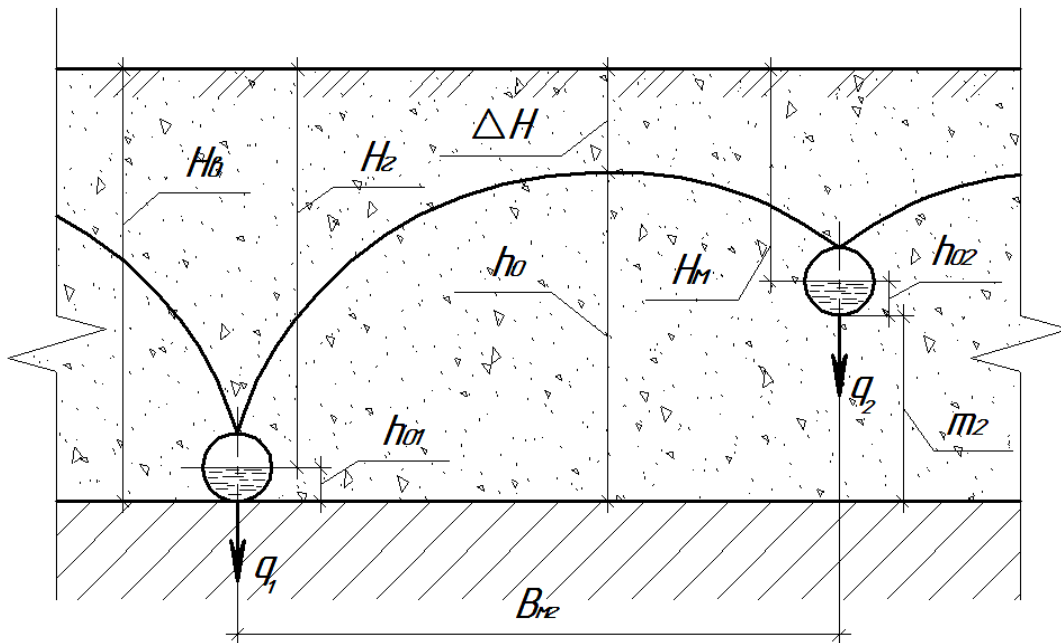
Вследствие различной глубины закладки дрен гидравлические характеристики их работы разные. Это перераспределяет сток  $q$  и изменяет его величину на коэффициент  $a_1$  для дрены глубокого заложения и  $a_2$  для дрены мелкого заложения [7]. Итак, стоки с глубокой и мелкой дрен будут соответственно равными (рисунок 2):

$$q_1 = a_1 \cdot q, \quad (3)$$

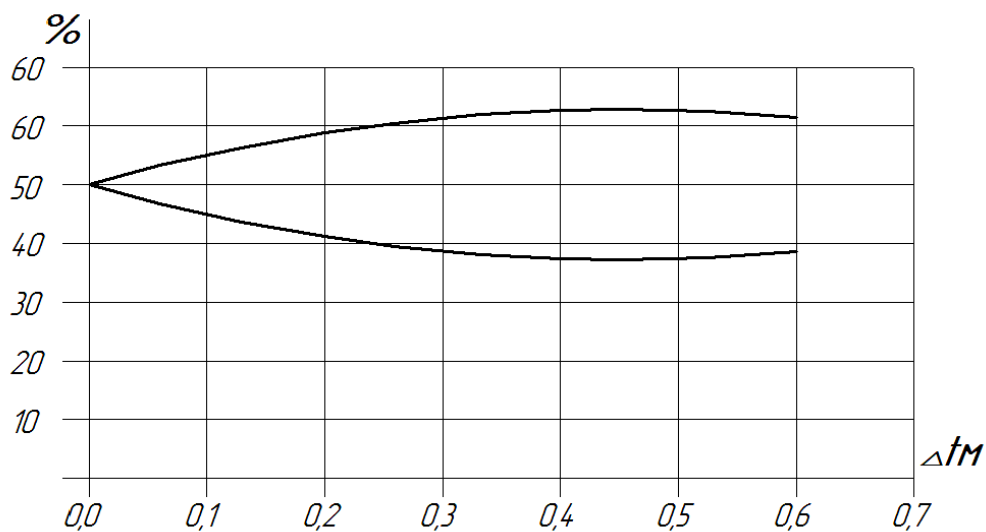
$$q_2 = a_2 \cdot q. \quad (4)$$

Согласно исследованиям Н. Н. Ткачука, П. П. Яковца, С. В. Климова (2007) [8], распределение стока зависит от разницы глубин закладки дрен  $\Delta t$  (рисунок 3). Согласно ДБН В.2.4-1-99 «Мелиоративные системы и сооружения» [5], минимально допустимая глубина за-

ложения дрен равна 0,8 м (принимая ее глубиной закладки мелких дрен  $H_M$ ).



**Рисунок 2 – Расчетная схема для определения расстояния между дренами для соседних разноглубоких дрен**



**Рисунок 3 – График распределения стока между мелкой и глубокой дренами**

При залегании глубокой дрены на водоупоре ( $H_{\Gamma} = H_{\text{в}} = 1,2$  м)  $\Delta t = H_{\Gamma} - H_M = 1,2 - 0,8 = 0,4$  м. Воспользовавшись графиком распределения стока между дренами мелкого и глубокого заложения (рисунок 3) и выразив процентное отношение в долях от единицы,



получим коэффициенты распределения стока. Подставив их в зависимости (3) и (4), получим сток с глубокой и мелкой дрен (м/сут):

$$q_1 = 0,37 \cdot 0,006 = 0,0022 ,$$

$$q_2 = 0,63 \cdot 0,006 = 0,0038 .$$

Подставив данные значения в зависимость (2), получим:

$$B_{\text{мг}} = \sqrt{1 \left[ \sqrt{\frac{(0,8^2 - 0,025^2)}{0,0022}} + \sqrt{\frac{(0,8^2 - 0,4^2 - 0,025^2)}{0,0038}} \right]} = 28,2 \text{ м.}$$

Принимаем, что  $B_{\text{мг}} = 29 \text{ м.}$

При заданных исходных данных и единых требованиях к отводу избыточной влаги регулирующая сеть, представленная дренажными модулями, позволяет увеличить расстояние между дренами на 38,1 %.

Инфильтрационный тип питания характеризуется неравномерностью. Так, после критических периодов переувлажнения почвы (наводнения, паводка), когда осушительные системы интенсивно сбрасывают лишнюю влагу, могут наступать засушливые периоды, когда регулирующая сеть отводит почвенную влагу, снижая УГВ и приводя к иссушению почвы. Рассмотрим такой процесс на регулирующей сети из традиционного и модульного дренажа, воспользовавшись произведенными расчетами. Построим графики зависимости стока с дрен от положения УГВ, который постепенно снижается. Для этого решим уравнения (1) и (2) относительно  $g$ .

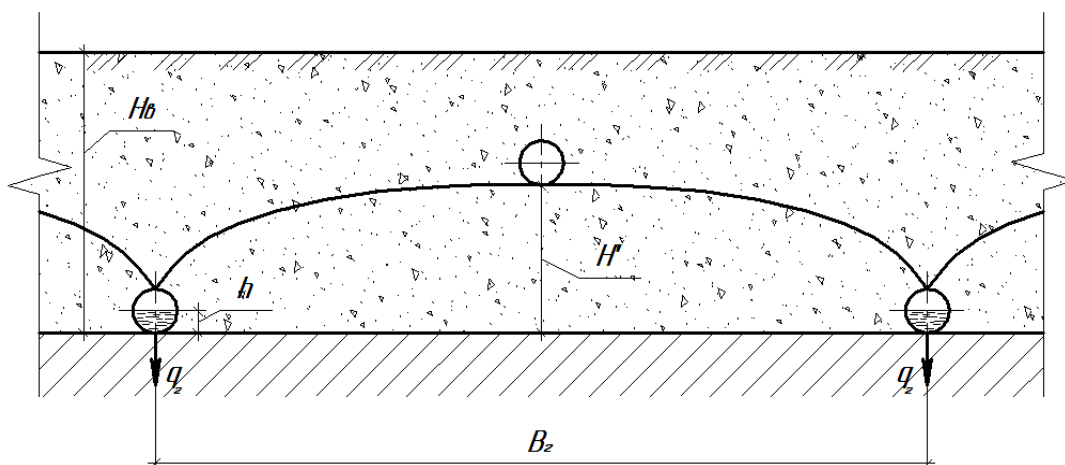
Для классического дренажа:

$$q_{\text{д}} = \frac{4k(H^2 - h^2)}{B^2} . \quad (5)$$

Для дренажных модулей:

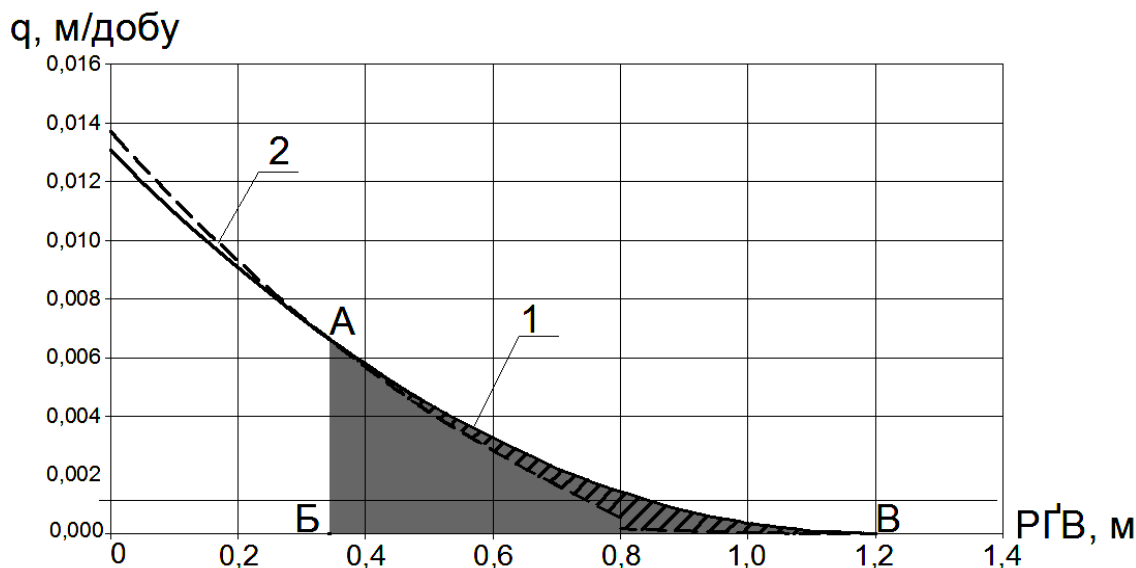
$$q_{\text{дм}} = \frac{k \left( \sqrt{a_2(h_0^2 - m_1^2 - h_{01}^2)} + \sqrt{a_1(h_0^2 - m_2^2 - h_{02}^2)} \right)^2}{a_1 \cdot a_2 \cdot B^2} . \quad (6)$$

Следует отметить, что при отсутствии инфильтрационного питания  $q$  имеет значение дренажного стока, образуемого разгрузкой грунтовых вод. Как уже отмечалось, после опускания УГВ ниже уровня закладки мелкой дрены она исключается из работы. Работать остаются только дренажи глубокого заложения (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Расчетная схема для определения параметров работы дренажных модулей при исключении из работы дрены мелкого заложения**

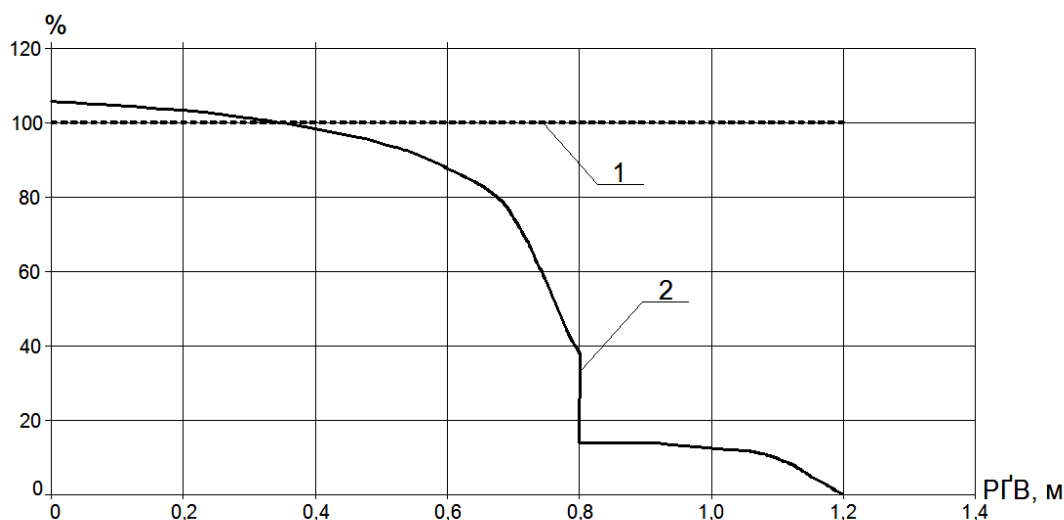
В таком режиме регулирующая сеть работает аналогично традиционной, и расчет ее целесообразно проводить по зависимости (5). Построим в одной системе координат графики зависимостей  $q = f$  (УГВ), которые будут изображать дренажный сток по мере опускания УГВ (при условии прекращения питания) до полного исключения регулирующей сети из работы (рисунок 5).



**Рисунок 5 – График зависимости дренажного стока от УГВ**

На рисунке 5 кривая 1 соответствует варианту традиционного дренажа, кривая 2 – дренажным модулям. Характерным является отрицательный скачок ординаты кривой 2, что соответствует положению УГВ на глубине заложения мелкой дрены и характеризует пол-

ное исключение ее из работы. Точка А на графике является пересечением кривых 1 и 2 и соответствует одинаковой водопоглощающей способности регулирующих сетей. Из графика можно сделать вывод, что до достижения нормы осушения классический и модульный дренажи работают почти идентично. Наблюдается (до точки А) большая водопоглощающая способность именно дренажных модулей (до 5 %). При дальнейшем снижении УГВ наблюдается стабильное уменьшение количества отвода грунтовых вод дренажными модулями по сравнению с обычным дренажем (до 90 %). Приравняв в процентном соотношении ординаты кривых 1 и 2 рисунка 5 и приняв за 100 % водопоглощающую способность традиционного дренажа, получим соотношение водопоглощающей способности регулирующих сетей (рисунок 6).

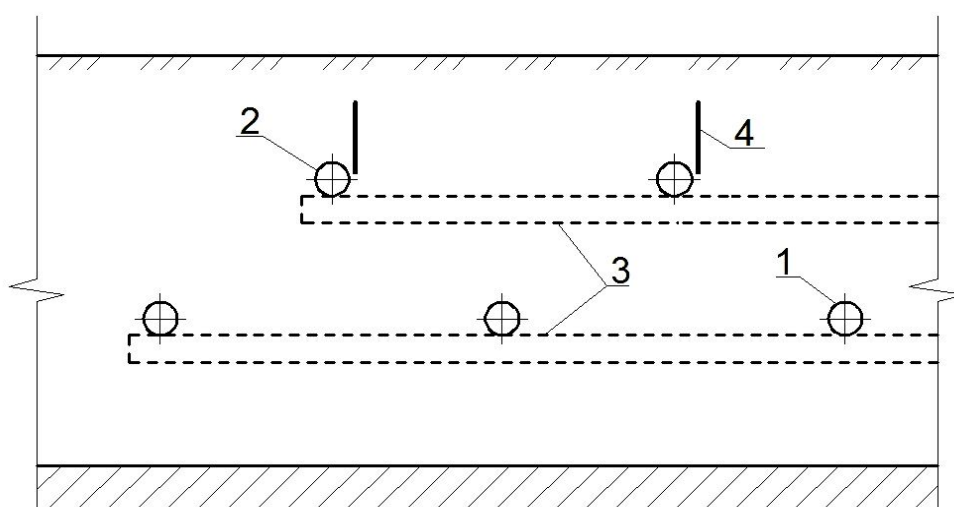


**Рисунок 6 – График соотношения между водопоглощающей способностью модульного (2) и обычного дренажа (1)**

Площадь заштрихованной области графика на рисунке 5 будет равна разнице проинтегрированных уравнений кривых 1 и 2 с границами, представленными абсциссой точки А (точкой Б) и минимальным значением УГВ (точкой В). Абсциссу точки А можно найти, приравняв зависимости (5) и (6); минимальное значение УГВ – это нижняя граница закладки регулирующей сети (поверхность водоупора). Физическое значение полученной площади – аккумулирующая способность дренажных модулей в сравнении с обычным дренажем.

Произведенный сравнительный анализ традиционной регулирующей сети и сети, представленной дренажными модулями, свиде-

тельствует об эффективной работе дренажных модулей. Регулирующая сеть, представленная ими, позволяет при большем расстоянии между дренами ускорить отвод избыточных грунтовых вод. Также использование дренажных модулей дает возможность существенно уменьшить количество отведенной грунтовой воды при условии прекращения водного питания. Увеличения водопоглощающей способности дренажно-модульных и дренажных экранно-модульных систем можно достичь благодаря использованию фильтрующих элементов на регулирующей сети (рисунок 7). Это ускорит отвод избыточных грунтовых вод при наводнениях и паводках с последующим их аккумулярованием в нижних слоях [9].



1 – дрены глубокого заложения; 2 – дрены мелкого заложения;  
3 – коллекторы; 4 – фильтрационные элементы

**Рисунок 7 – Фильтрационные элементы на дренажной экранно-модульной системе**

Используя дренажные модули, а также фильтрующие элементы, мы можем создавать принципиально новые гидромелиоративные системы в гумидной зоне, основным свойством которых является саморегулирование водопоглощающей способности в зависимости от положения уровня грунтовых вод.

#### **Список использованных источников**

- 1 Кожушко, Л. Ф. Удосконалення дренажних систем / Л. Ф. Кожушко. – Рівне: РДТУ, 2001. – 276 с.
- 2 Ткачук, Н. Н. Осушительная система с дренами различной глубины / Н. Н. Ткачук // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – № 5. – С. 43–44.

3 А.с. 2004031531 України, МПК Е 02 В 11/00. Дренажно-модульна система / Л. Ф. Кожушко, М. М. Ткачук, Р. М. Ткачук (Україна). – № 4754; заявл. 02.03.04; опубл. 15.02.05, Бюл. № 2.

4 Пат. 2002118728 Україна, МПК Е 02 В 11/00. Дренажна екранно-модульна система / Ткачук М. М., Ткачук Р. М., Клімов С. В.; заявник і патентотримач Український державний університет водного господарства і природокористування. – № 58819; заявл. 04.11.02; опубл. 15.08.03, Бюл. № 8.

5 Меліоративні системи і споруди: ДБН В.2.4-1-99: затв. Держбудом України 25.06.99: ввод. в дію з 01.01.00. – Київ: Управління промислової забудови, інженерної інфраструктури по захисту територій Держбуду України, 1999. – 74 с.

6 Ткачук, М. М. Аналіз методик розрахунку відстаней між різноглибокими дренами для проектування дренажно-модульних систем / М. М. Ткачук, Н. В. Кухнюк, С. В. Клімов // Вісник НУВГП. – 2009. – № 3(47). – С. 112–124.

7 Ткачук, М. М. Розрахунок відстаней між дренами з використанням елементів водного балансу при регулюванні рівня ґрунтових вод дренажними модулями / М. М. Ткачук, П. П. Яковець // Вісник НУВГП. – 2000. – № 3(5). – С. 99–103.

8 Ткачук, М. М. Дослідження впливу водоупору на сумісну роботу глибоких та мілких дрен дренажного модуля / М. М. Ткачук, П. П. Яковець, С. В. Клімов // Вісник НУВГП. – 2007. – № 4(40). – С. 370–375.

9 А.с. 43242 України, МПК Е 02 В 11/00. Дренажна-екранно модульна система / М. М. Ткачук, С. В. Клімов, Р. О. Кириша, Р. М. Ткачук (Україна). – № 43243; заявл. 12.03.09; опубл. 10.08.09, Бюл. № 15.

УДК 631.16:502.63

**А. Н. Рокочинский, С. П. Мендусь, П. И. Мендусь**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина

## **ОЦЕНКА И ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДРЕНАЖА ПРИДУНАЙСКИХ РИСОВЫХ СИСТЕМ**

В статье приведены результаты многолетних исследований на Килийской рисовой оросительной системе площадью 3273 га, расположенной в Восточно-Килийских плавнях дельты р. Дунай в Килийском районе Одесской области. Исследования проведены путем анализа и соответствующей обработки ретроспективных многолетних данных наблюдений за водно-солевым режимом почв рисовых полей, выполненных в период 1972–1987 гг., а также собственных исследований авторов, проведенных в 2004–2012 гг. Была изучена динамика солевого и аэрационного режимов почв при возделывании риса и сопутствующих культур при разных вариантах конструкций картовой дренажной сети с целью определения работоспособности существующего дренажа и разработки рекомендаций по усилению его дренирующей способности. Предлагаемый авторами метод оценки может быть рекомендован для решения аналогичных задач на рисовых системах других регионов, где производились систематические наблюдения за водно-солевым режимом почв и создана соответствующая база данных многолетних режимных наблюдений за технологическими параметрами их реализации на системе. Соответственно, разработанная конструкция поливной карты-чека с внутрикартовым дренажем, охраняемая в режиме авторского права, может быть использована

при разработке проектов строительства и реконструкции рисовых систем на орошаемых засоленных землях. Параметры внутрикартового дренажа и плановое размещение его элементов должны уточняться в зависимости от конкретных почвенно-гидрогеологических условий объекта.

Ключевые слова: мелиоративные системы, дренаж, оценка, работоспособность дренажа, Придунайские рисовые системы, водно-солевой режим почв.

Строительство инженерных рисовых оросительных систем на Украине началось в 70-х годах прошлого столетия, и на сегодня их площадь составляет около 62 тыс. га. Такие системы были построены по известной схеме карт краснодарского типа (ККТ) с односторонним и двусторонним командованием оросительных и дренажно-сбросных каналов, расстояние между которыми в зависимости от почвенно-гидрогеологических условий составляет 200–400 м.

Одним из основных элементов рисовых оросительных систем является дренаж, обеспечивающий сброс поверхностных вод с рисовых полей и регулирование уровня грунтовых вод (УГВ) в разные периоды вегетации риса и возделываемых сопутствующих сельскохозяйственных культур рисового севооборота. Дренажная сеть на рисовых системах выполняет больше функций, чем на обычных, и называется дренажно-сбросной [1].

На орошаемых засоленных землях с принятым режимом возделывания риса, предусматривающим поддержание слоя воды на рисовых полях, практически на всем протяжении вегетационного периода дренаж кроме функции отвода воды должен:

- обеспечить рассоление слоя почвы в течение 2–3 лет на глубину 1,2–1,5 м, что создает нормальные условия для возделывания риса и сопутствующих культур;

- исключить возможность вторичного засоления на агро-мелиоративных полях, не занятых рисом, и полях с сопутствующими культурами.

Так как почвы рисовых полей в течение длительного времени (~ 100 сут) находятся в состоянии сильного переувлажнения, то во избежание нежелательного хода почвенных процессов в анаэробных условиях, влияющих на качество и количество производимой сельскохозяйственной продукции, дренаж должен быть в состоянии обеспечить:

- быстрое (в течение 5–6 сут) снижение уровня грунтовых вод до глубины 0,4–0,6 м в период получения всходов риса, что определяет их качество при наличии на поверхности слоя воды;

- регулярную аэрацию грунтовых вод в период постоянного затопления рисовых полей с целью предотвращения болотных процессов и вспышек содового засоления.

Анализ работы дренажа на рисовых системах Украины, в том числе и в дельте Дуная, проведенный нами по результатам исследований, в том числе разных авторов [2, 3], показал, что при существующих параметрах и конструктивном плановом расположении дренажных элементов удовлетворительный промывной эффект достигается только путем возделывания затопляемого риса по рису в течение 3–4 лет.

Как следствие, почвы рисовых полей обеднялись питательными веществами, имело место развитие восстановительных и глеевых процессов, что привело к накапливанию в них токсических веществ (сероводорода, закисных форм железа, алюминия и др.) и снижению эффективности рисосеяния. В целом это в первую очередь иллюстрировалось падением урожайности риса с 50–60 ц/га на заре рисосеяния в Украине до 17–20 ц/га в последующие годы. Одной из главных причин наметившейся тенденции многие исследователи считали и считают плохое мелиоративное состояние рисовых полей, обусловленное низкой их дренированностью (А. Я. Олейник и др., 1976; Т. Н. Кириченко, 1986; В. А. Попов, 1990; С. В. Ковалев, 2006, и др.) [4–6].

Поэтому целью настоящей работы является исследование динамики водного, солевого и аэрационного режимов почв при возделывании затопляемого риса и сопутствующих культур и на основании этого обоснование и разработка конструктивных решений, обеспечивающих успешную работу дренажа в условиях рисовых систем.

Как объект исследований была выбрана Килийская рисовая оросительная система (КРОС) площадью 3273 га, расположенная в Восточно-Килийских плавнях дельты р. Дунай в Килийском районе Одесской области.

Определяющим фактором при выборе объекта исследований было то, что по конструкции данная система является типичной для рисовых систем Украины и дельты Дуная, построена по схеме ККТ одной из первых. Часть таких систем в начале 90-х годов прошлого столетия была реконструирована в карты-чеки с сохранением картовой дренажной сети (так называемые карты-чеки с дренажем – КЧД).

Исследования также включали изучение динамики солевого и аэрационного режима почв при возделывании риса и сопутствующих культур при разных вариантах конструкций картовой дренажной сети с целью определения работоспособности существующего дренажа и разработки рекомендаций по усилению его дренирующей способности.

Исследования проведены путем анализа и соответствующей обработки ретроспективных многолетних данных наблюдений за водно-солевым режимом почв рисовых полей (1972–1984 гг.), выполненных в свое время на территории КРОС С. М. Гончаровым (1971, 1984), М. Г. Степаненко (1975), С. В. Ковалевым (1975), П. И. Мендусем (1975), С. М. Кропивко (1987) и др., а также собственных исследований, проведенных в 2004–2012 гг. [5–11].

На основании исследований установлено, что общее эколого-мелиоративное состояние рисовых систем определяется водным, солевым, аэрационным и фильтрационным режимами, которые формируются на поливных картах в период поддержания на них слоя воды при затоплении риса в вегетационный период, включая также вневегетационный период.

В связи с этим оценку эффективности дренажа целесообразно осуществлять по таким показателям, как его способность обеспечить соответствующую интенсивность рассоления почв, скорость фильтрации с поверхности поливных карт и необходимую норму осушения в различные технологические периоды работы системы.

Многолетние наблюдения за динамикой опреснения почв при возделывании затопляемого риса на КРОС показали, что в первые годы эксплуатации, когда содержание риса в севообороте было максимальным (в первые годы 100 %, в последующие 50–75 %), солевые режимы почв на рисовых картах с разными параметрами дренажа изменялись по типу рассоления, но с разной интенсивностью [2].

На поливных ККТ при междренных расстояниях 200–250 м практически полное опреснение метрового слоя почв наблюдалось уже через 2–3 года выращивания риса по рису. Более интенсивно этот процесс протекал в первый год со снижением интенсивности в дальнейшем.

При междренных расстояниях соответственно 400 и 500 м уменьшение содержания солей до допустимых пределов не было зафиксировано даже через 5–6 лет эксплуатации системы.



На поливных КЧД процесс рассоления почв протекал достаточно интенсивно при значительно меньшем исходном засолении.

В результате статистической обработки данных наблюдений за изменением во времени солевых запасов в метровом слое почв на КРОС при длительном возделывании затопляемого риса авторами получена зависимость, которая подтверждает ранее установленную закономерность динамики рассоления (В. Р. Волобуев, 1975) вида:

$$S_t = S_0 \cdot e^{-\beta t}, \quad (1)$$

где  $S_t$  – содержание солей в метровом слое почв в процентах от массы сухой почвы;

$S_0$  – исходное содержание солей в процентах от массы сухой почвы;

$e$  – основание натуральных логарифмов;

$\beta$  – постоянная величина для конкретных условий промывки;

$t$  – время, необходимое для снижения содержания солей от некоторого исходного его значения  $S_0$  до значения  $S_t$ , сут.

Показатель  $\beta$  в уравнении (1) характеризует интенсивность процесса освобождения почв от избытка легкорастворимых солей и обобщенно отражает конкретные условия промывки (природные условия, параметры дренажа и т. п.). Большие значения  $\beta$  отвечают более высоким темпам опреснения почв, а меньшие – наоборот.

Следовательно, показатель  $\beta$  правомерно назвать показателем интенсивности промывки, величина которого для условий рисовых систем логически должна зависеть от гранулометрического состава почв и параметров дренажа, т. е.

$$\beta = f(a, B), \quad (2)$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от гранулометрического состава почв;

$B$  – расстояние между дренами, м.

Для действующих Придунайских РОС уравнение (2) не учитывает глубины заложения дрен и неравномерности условий промывки почв по площади поливной карты, обусловленной влиянием ее конструктивных особенностей (оросительной сети) на формирование режима УГВ. Поэтому при установлении связи между величиной показателя  $\beta$  и параметрами дренажа величина междреннего расстоя-

ния  $B$  в уравнении (2) заменена на коэффициент дренированности поливной карты  $k_{\text{дк}}$ , который определялся по зависимости:

$$k_{\text{дк}} = \frac{\sum Z_i \cdot l_i}{\omega_{\text{пк}}},$$

где  $\sum Z_i \cdot l_i$  – алгебраическая сумма произведений разности между средневзвешенным уровнем воды в чеках поливной карты и уровнями воды в ограничивающих ее каналах оросительной и дренажной сетей;  
 $\omega_{\text{пк}}$  – площадь поливной карты.

Полученная авторами зависимость показателя  $\beta$  от величины коэффициента дренированности для ККТ  $k_{\text{дк}}$  по сути представляет собой прямую типа  $y = a + bx$ , проходящую через начало координат [3]:

$$\beta = ak_{\text{дк}},$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от гранулометрического состава почв. Установленная величина его для условий КРОС составляет 54,5 для легкосуглинистых и 42,0 для тяжелосуглинистых почв.

Таким образом, на основании вышеприведенных формул можно получить зависимости, позволяющие оценивать работоспособность дренажа с точки зрения его рассоляющего действия при разной доле затапливаемого риса в севообороте и разной конструкции поливных карт:

- для ККТ:

$$B = \frac{2at(h_{\text{д}} - h_{\text{к}})}{\ln S_0 - \ln S_t};$$

- для КЧД:

$$B = \frac{2a \cdot t \cdot h_{\text{д}}}{\ln S_0 - \ln S_t},$$

где  $B$  – расстояние между дренами, м;

$t$  – продолжительность промывки, лет;

$h_{\text{д}}$  – глубина дрены, м;

$h_{\text{к}}$  – напор воды в картовом оросителе, м;

$S_0$  – исходное засоление метрового слоя почвы, %;

$S_t$  – допустимое засоление метрового слоя почвы, %.

Оценка осушительного действия дренажа в соответствующие технологические периоды выращивания риса может быть осуществлена по зависимости, полученной для условий КРОС:

$$h = m \cdot e^{-n \cdot B},$$

где  $h$  – глубина залегания УГВ в междуренье, м;

$m, n$  – эмпирические коэффициенты, значения которых для условий КРОС приведены в таблице 1;

$B$  – расстояние между дренами, м.

**Таблица 1 – Значение эмпирических коэффициентов  $m, n$**

$t$ , сут	5	10	15
$m$	1,74	2,93	3,14
$ n $	0,018	0,017	0,013
Примечание – Значения коэффициентов рассчитаны при глубине заложения дрен 2 м.			

Одним из показателей эффективности дренажа РОС является его способность обеспечить соответствующую скорость фильтрации  $V_\phi$  с поверхности поливной карты, которая может быть определена по выражению:

$$V_\phi = V_y \cdot k_r,$$

где  $V_y$  – вертикальная составляющая общей скорости фильтрации, м/сут;

$k_r$  – эмпирический коэффициент, который зависит от  $h_d$ .

Величина  $V_y$  определяется по формуле:

$$V_y = \frac{2K_\phi H \cdot Sh \frac{2\pi \cdot h_d}{B}}{B \cdot \theta \left( Ch \frac{2\pi h_d}{B} - \cos \frac{2\pi \cdot x}{B} \right)}, \quad (3)$$

где  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации, м/сут;

$H$  – напор над дренаем, м,  $H \cong h_d$ ;

$h_d$  – глубина закладки дрен, м;

$B$  – расстояние между дренами, м;

$\theta$  – фильтрационное сопротивление дрена, м:

$$\theta = 0,73 m \lg [m / (\pi d)], \quad (4)$$

где  $m$  – мощность водоносной толщи под дном дрены, м;

$d$  – внешний диаметр дрены, м.

Для открытых дрен в выражение (4) подставляется приведенный диаметр дрены:

$$d' = 0,5b + h_0,$$

где  $b$  – ширина дрены по дну, м;

$h_0$  – средняя глубина воды в дрене, м;

$x$  – расстояние от уреза воды в чеке, изменяющееся от 0 до  $B_k$ , м,

где  $B_k$  – ширина поливной карты, м. Для определения средней скорости фильтрации с поверхности поливной карты в выражение (3) следует подставлять  $x = B_k / 3$ ;

В зависимости от глубины дрен ( $h_d$ ) для условий КРОС получены следующие значения коэффициента  $k_r$ :

$h_d$ , м	1,2	1,5	2,0
$k_r$	25–30	35–40	55–60

Обобщенная оценка работоспособности дренажа КРОС по всем вышерассмотренным показателям приведена в таблице 2.

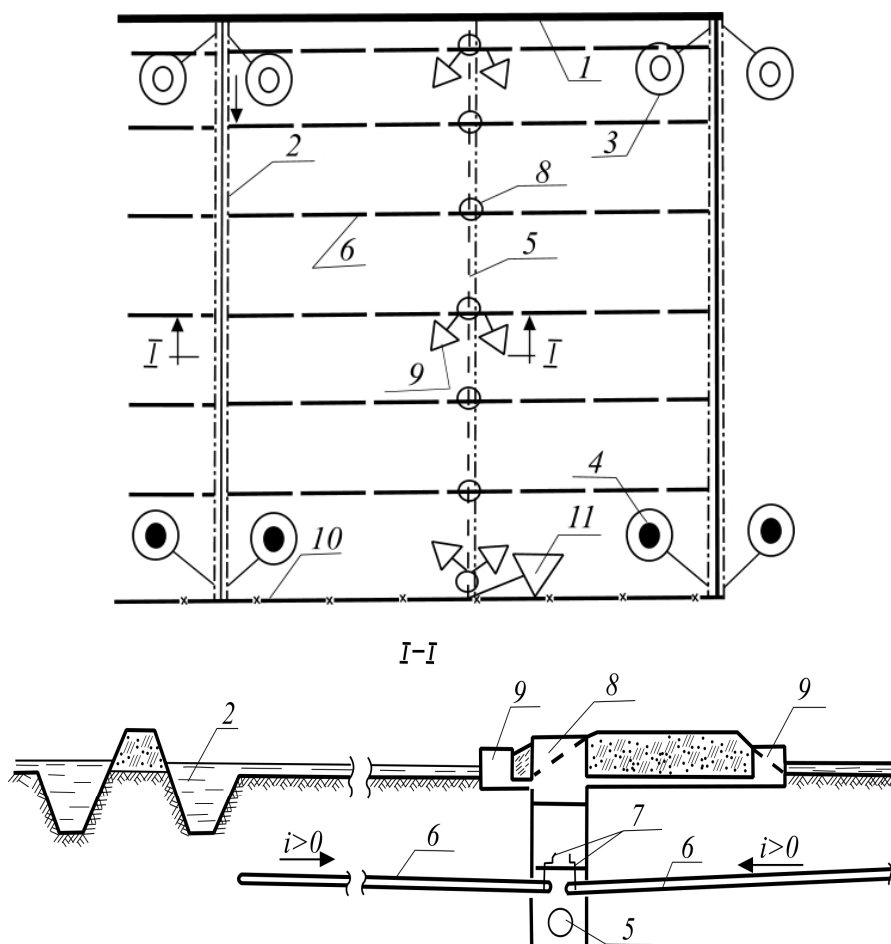
**Таблица 2 – Оценка работоспособности дренажа с разными параметрами для условий КРОС Придунайских РОС**

Междрен- ное рас- стояние $B$ , м	По интенсивности (длительности) расслоения $t$ , лет		По скорости фильтрации с поверхности карты $V_\phi$ , м/сут		По норме осушения $h$ , м	
	факт.	необх.	факт.	необх.	факт.	необх.
200	2,8	1,0	0,0016	0,01	0,24	1,0
175	2,4	1,0	0,002	0,01	0,32	1,0
150	2,1	1,0	0,003	0,01	0,45	1,0
125	1,8	1,0	0,004	0,01	0,62	1,0
100	1,4	1,0	0,007	0,01	0,80	1,0
75	1,07	1,0	0,010	0,01	1,20	1,0

Примечание – Оценка работоспособности дренажа по норме осушения осуществляется на 15-е сутки после сброса воды с чеков.

Полученные результаты расчетов (таблица 2) убедительно свидетельствуют о том, что для обеспечения благоприятного эколого-мелиоративного состояния поливных карт рисовых систем существующие расстояния между открытыми дренажно-сбросными каналами, которые составляют 200–500 м, должны быть уменьшены до 70–100 м за счет усовершенствования конструкции внутрикартового дренажа.

В условиях рисовых систем это возможно путем замены широко распространенного в практике устройства дренажной сети в виде открытых картовых дрен на разработанную авторами конструкцию систематического закрытого внутрикартового дренажа, приведенную на рисунке 1 [12].



- 1 – распределительный оросительный канал; 2 – ороситель-сброс; 3 – водовыпуск в ороситель-сброс; 4 – водовыпуск из оросителя-сброса; 5 – картовый закрытый дренажный коллектор; 6 – закрытые горизонтальные регулируемые дрены; 7 – клапанный затвор; 8 – смотровой колодец; 9 – водовыпуск из карты-чека в картовый дренажный коллектор; 10 – участковый дренажно-сбросной канал; 11 – водовыпуск из картового дренажного коллектора

**Рисунок 1 – Поливная карта-чек с внутрикартовым дренажем на рисовых системах**

Предлагаемый метод оценки работоспособности дренажа на рисовых системах дельты Дуная может быть рекомендован для решения аналогичных задач на рисовых системах других регионов, где производились систематические наблюдения за водно-солевым режимом почв и создана соответствующая база данных многолетних режимных наблюдений за технологическими параметрами их реализации на системе.

Соответственно, разработанная конструкция поливной карты-чека с внутрикартовым дренажем может быть использована при разработке проектов строительства и реконструкции рисовых систем на орошаемых засоленных землях. Параметры внутрикартового дренажа и плановое размещение его элементов должны уточняться в зависимости от конкретных почвенно-гидрогеологических условий объекта.

### **Список использованных источников**

1 Зайцев, В. Б. Рисовая оросительная система / В. Б. Зайцев. – М.: Колос, 1975. – 352 с.

2 Деякі аспекти оцінки ефективності роботи дренажу на рисових системах / С. П. Мендусь, П. І. Мендусь, М. Г. Степаненко, А. М. Рокочинський // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2008. – Вип. 1(41). – С. 134–139.

3 Мендусь, С. П. До оцінки дієздатності існуючого дренажу на рисових системах дельти Дунаю / С. П. Мендусь, П. І. Мендусь, А. М. Рокочинський // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. – 2008. – Вип. 3(43). – С. 67–76.

4 Кириенко, Т. Н. Рисовые поля Украины и пути оптимизации почвообразовательных процессов / Т. Н. Кириенко. – Львов: Вища школа, 1985. – 184 с.

5 Ковальов, С. В. Концептуальні передумови раціонального природокористування на Придунайських рисових зрошувальних системах / С. В. Ковальов, Т. С. Ковальова, С. М. Кропивко // Меліорація і водне господарство. – 2006. – Вип. 93–94. – С. 351–363.

6 Розробка водо- та енергозберігаючих технологій водокористування на рисових зрошувальних системах України: звіт про НДР / під ред. Ковальова С. В. – Рівне, 2006. – 112 с.

7 Гончаров, С. М. Водно-солевой баланс как основа для оценки мелиоративных мероприятий в условиях дельты Дуная: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.531 / Гончаров С. М. – Ровно, 1971.

8 Гончаров, С. М. Мелиоративное состояние рисовых систем дельты Дуная / С. М. Гончаров // Гидромелиорация и гидротехническое строительство. – 1977. – № 5. – С. 3–7.

9 Гончаров, С. М. Окислительно-восстановительный режим почв Дунайских рисовых оросительных систем / С. М. Гончаров // Мелиорация и гидротехническое строительство. – 1978. – № 6. – С. 11–13.

10 Мендусь, П. И. Влияние оросительных каналов разных конструкций на к.п.д. рисовых систем и прилегающие территории в условиях дельты Дуная: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Мендусь П. И. – Ровно, 1975.

11 Мендусь, С. П. Оцінка меліоративного стану та ефективності використання рисових систем / С. П. Мендусь, П. І. Мендусь, А. М. Рокочинський // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – 2007. – Вип. 32. – С. 38–48.

12 Патент 36395 Україна, Е 02 В 13/00, 11/00. Поливна карта-чек з внутрішньокартовим дренажем на рисових системах / Мендусь С. П., Мендусь П. І., Рокочинський А. М. – Бюл. № 20.

*Научное издание*

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Сборник научных трудов

Выпуск 56

Часть 1

Подписано в печать 10.11.2014. Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л. 7,96. Тираж 500 экз. Заказ № 29.

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

Отпечатано с готового оригинал-макета  
ИП Белоусов А. Ю.  
346421, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190 «Е»