

ISSN 2313-2248

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Научно-практический журнал

Выпуск № 4(68)/2017

Новочеркасск

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

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

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

Выпуск № 4(68)/2017

Октябрь – декабрь 2017 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор ФГБНУ «РосНИИПМ» В. Н. Щедрин

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

Ответственный секретарь – Л. И. Юрина

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

Технический редактор, выпускающий – Е. А. Бабичева

Литературный редактор – А. И. Литовченко

Переводчик – В. В. Кульгавюк

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61083 от 19 марта 2015 г.

Подписано в печать 23.11.2017. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 20,47. Тираж 500 экз. Заказ № 77

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

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

ISSN 2313-2248



9

772313 224008

Дата выхода в свет 08.12.2017
Свободная цена

© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Научно-практическая конференция «Современное состояние мелиоративной отрасли и перспективы ее развития»

Гостищев В. Д., Кузьмичев А. А. К вопросу о повышении эффективности использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения.....	5
Вердыш М. В. Анализ планового водопользования на Каховской оросительной системе.....	11
Чураев А. А., Снопич Ю. Ф., Юченко Л. В., Школьная В. М. Конструктивное исполнение дождевальной машины нового поколения.....	19
Насырова Н. Р., Гловацкий О. Я., Печейкина Е. А. Анализ критериальных значений ресурсо- и энергосберегающих технологий при эксплуатации насосных станций оросительных систем.....	25
Иванютин Н. М. Исследование эффективности работы установки по очистке воды, использующей технологию обратного осмоса.....	29
Шепелев А. Е. Исследования характеристик искусственного дождя широкозахватной многоопорной дождевальной техники.....	36
Докучаева Л. М., Юркова Р. Е., Балакай Г. Т., Бабичев А. Н., Монастырский В. А. Почвенный покров Райгородской оросительной системы	42
Кореновский А. М., Чураев А. А. Оценка безопасности гидротехнических сооружений водохранилища на р. Оёш Воробьевской оросительной системы Кольванского района Новосибирской области.....	49
Гловацкий О. Я., Насырова Н. Р., Бекчанов Ф. А. Повышение эффективности эксплуатации насосных станций оросительных систем	54
Вайнберг М. В., Чураев А. А. Обзор и анализ существующих средств измерения уровня воды (перепада уровней) на открытых каналах оросительных систем.....	58
Кременской В. И., Волкова Н. Е., Джапарова А. М. Стендовые исследования микроводовыпусков	65
Кузьмичев А. А. Определение гидрографических характеристик реки Бельбек с использованием геоинформационных систем.....	71
Рудик А. Л., Рудик Н. М. Изучение адаптивных способностей сортов льна масличного в различных условиях влагообеспечения	74
Селицкий С. А. Усовершенствование орошаемых севооборотов.....	79
Волкова Н. Е., Захаров Р. Ю. Дождевание как способ полива в Республике Крым	83
Лобанов Г. Л. Методы расчета устойчивого русла крупных мелиоративных каналов в земляном русле.....	89
Салугин А. Н. Динамика перехвата дождевых осадков растительностью и депрессиями.....	95
Подовалова С. В., Иванютин Н. М. Изучение динамики качественных характеристик вод реки Салгир и ее притоков.....	101
Хожамуратова Р. Т., Чембарисов Э. И., Мирзакобулов Ж. Б. Особенности распределения минерализации и химического состава грунтовых вод орошаемой зоны Республики Каракалпакстан	111

Гарбуз А. Ю. Моделирование фильтрации через трещины бетонных облицовок с использованием метода электрогидродинамических аналогий.....	117
Чураев А. А., Снопич Ю. Ф., Юченко Л. В., Вайнберг М. В. Теоретический расчет дождеобразующих устройств для 3-опорной широкозахватной дождевальной машины.....	126

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Бабичев А. Н., Ляшевский В. И., Монастырский В. А., Ольгаренко В. Иг. Дифференцированные оросительные нормы сельскохозяйственных культур для почвенно-климатических условий Республики Крым.....	133
---	-----

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Куприянов А. А., Кореновский А. М. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений Тайганского водохранилища в Республике Крым.....	138
---	-----

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Василенко Н. Е., Антонив С. Ф., Фостолович С. И. Продуктивность злаковых трав в зависимости от предуборочной влажности семян	143
Лавренко С. О., Лавренко Н. Н., Максимов М. В. Эффективность использования элементов питания из почвы растениями чечевицы в различных условиях увлажнения.....	147

О МЕЛИОРАЦИИ ДОСТУПНО

Кладиев А. К. Решение проблем закрепления открытых песков на Черных землях фитолесомелиоративными приемами.....	153
--	-----

НАУКА – ПРАКТИКЕ

Турко С. Ю., Трубакова К. Ю. Планирование земельных ресурсов зерно-овцеводческой фермы	157
Радочинская Л. П. Сохранение видового и популяционного биоразнообразия на лесопастбищах Черных земель как фактор экологической стабильности в регионе.....	161
Лепеско В. В. Опыт Богдинской научно-исследовательской агролесомелиоративной опытной станции по комплексной мелиорации аридных ландшафтов Прикаспия	167
Власенко М. В. Приемы улучшения пастбищных угодий на деградированных землях аридной зоны.....	170

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Научно-практическая конференция «Современное состояние мелиоративной отрасли и перспективы ее развития»

УДК 631.6:556.164

В. Д. Гостищев, А. А. Кузьмичев

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

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНОГО СТОКА ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения. В настоящее время суммарный забор воды из природных водных объектов составляет порядка 80 км³, при этом в ряде регионов испытывается острый дефицит водоснабжения. Частичным решением этого вопроса в разрезе мелиоративного комплекса может быть эффективное использование вод местного стока, которые в настоящее время забыты или же мало используются в силу различных обстоятельств.

Ключевые слова: местный сток, регулирование стока, комплексное использование, оросительная система, лиманное орошение, технологии орошения, экономическая эффективность.

V. D. Gostishchev, A. A. Kuzmichov

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

IMPROVING EFFICIENCY OF LOCAL STOCK USE FOR AGRICULTURAL LAND IRRIGATION

The issues of increasing the efficiency of using local water flow for irrigation of agricultural lands are considered in the article. At present, total water abstraction from natural water bodies is about 80 km cubic, while in some regions there is an acute shortage of water supply. Partial solution of this issue in the context of meliorative complex can be the effective use of water from local runoff, which are currently forgotten or are not used for various reasons.

Key words: local runoff, runoff regulation, integrated use, irrigation system, catch-work irrigation, irrigation technologies, economic efficiency.

Ежегодно в степных и лесостепных районах нашей страны только весной при снеготаянии с полей стекает свыше 60 млрд м³ воды, или 200–800 м³/га. Сток талых вод, унося огромное количество воды с сельскохозяйственных угодий, вызывает эрозию почв, ухудшает плодородие и нарушает целостность земельного фонда. Однако при рациональном использовании этот объем воды может оросить огромные дополнительные площади, в т. ч. в районах, испытывающих дефицит в водных ресурсах [1].

Расчеты показывают, что из основных рек России резервами водных ресурсов для орошения общим объемом 39,42 км³ в год 75%-й обеспеченности располагают Волга, Обь, Амур, Енисей, Лена, Нева, Нарва и Сулак. В остальных реках южного склона

резервы воды уже исчерпаны, а водные ресурсы Дона нуждаются в пополнении для восстановления видового состава экосистемы в акватории реки и Таганрогского залива Азовского моря в объеме не менее 6 км³ [2]. По данным государственного водного кадастра, суммарный забор воды из природных водных объектов в настоящее время составляет порядка 80 км³ [3].

Рассматривая местный сток как водный источник, необходимо учитывать основные особенности, отличающие его от других водных источников. Важной отличительной особенностью местного стока является его изменчивость по годам. В некоторые годы объем весеннего стока настолько велик, что вызывает половодья, разливы, в другие годы он вообще может отсутствовать [4].

В различных географических районах страны и на разных по рельефу и почвенным условиям водосборах в разные годы колебания весеннего стока неодинаковы. Эта особенность местного стока также является серьезным недостатком при использовании его как источника орошения, так как в соответствии с изменением объема стока по годам ежегодно меняются размеры орошаемой площади. Устранение этого недостатка или сведение его к минимуму возможно при осуществлении многолетнего регулирования стока, которое заключается в задержании возможно большего его объема в многоводные годы с целью дальнейшего его использования в маловодные годы [1].

Другой важной особенностью местного стока является период его проявления и продолжительность. Местный сток проявляется в большинстве случаев ранней весной в период весеннего снеготаяния и сравнительно редко во время выпадения летних ливневых дождей. В практике проектирования за расчетный принимается сток, образующийся во время весеннего снеготаяния, как более вероятный. Продолжительность местного стока исчисляется от нескольких дней до одного, максимум двух месяцев. При использовании местного стока для орошения следует учитывать, что период его проявления не совпадает с периодом потребности растений в воде, и эта особенность также является его существенным недостатком, который возможно устранить путем сезонного регулирования стока.

Сезонное регулирование представляет собой аккумуляцию стока в прудах и водохранилищах весной, во время весеннего снеготаяния, с целью дальнейшего его использования для орошения летом в период наибольшей потребности растений в воде. При лиманном орошении сезонное регулирование осуществляется путем аккумуляции стока в толще почвогрунта, откуда растения потребляют влагу в период вегетации [1, 4].

В связи с этим вопросы комплексного и эффективного использования местного стока для такой водоемкой отрасли, как орошение, являются весьма актуальными.

Для решения данной задачи целесообразно рассмотрение комплекса мер, которые для реализации потребуют дальнейшей детализации и уточнения.

Инвентаризация оросительных систем, использующих воды местного стока, проводится с целью выявления технического состояния всех ее элементов, включая водопроводящую сеть и сооружения на ней, выявления объектов мелиоративных систем, требующих затрат на восстановление работоспособного состояния и поддержание их надлежащей эксплуатационной готовности, определения орошаемых участков, требующих затрат на планировочные работы и на восстановление эколого-мелиоративного состояния.

При организации орошения на местном стоке имеющиеся в хозяйстве финансовые, материальные и трудовые ресурсы следует направлять в первую очередь на те объекты, которые обеспечат быструю и высокую отдачу при производстве, переработке и реализации продукции. Часть этих средств необходимо использовать для поддержания систем в надлежащей эксплуатационной готовности, в т. ч. за счет повышения надежности работы оросительной сети и сооружений на ней и обеспечения современными компьютерными технологиями энергосберегающего водопользования и эксплуатации.

На землях, использующих местный сток для орошения, следует возделывать высокоэффективные сельскохозяйственные культуры с учетом федеральных и региональных потребностей и рыночной конъюнктуры.

Экономическая эффективность орошения обеспечивается при возделывании отзывчивых на поливы культур (овощных, плодовых, картофеля, кукурузы, сахарной свеклы и др.), прежде всего на более легких почвах и в годы с недостаточным увлажнением. Эффективность орошения на местном стоке должна достигаться за счет развития и внедрения адаптивно-ландшафтных систем земледелия, гарантирующих устойчиво высокую биопродуктивность сельскохозяйственных земель при нормированной компенсации дефицитов водопотребления культур, оптимальном использовании земель и водных ресурсов, согласно требованиям поддержания рационального уровня почв и экологической безопасности окружающей среды.

Современный этап развития производства сельскохозяйственной продукции характеризуется постоянным совершенствованием технологий орошения и повышением эффективности использования природных, трудовых и энергетических ресурсов, переходом к использованию передовых технологий, стремлением добиться предельно высоких эксплуатационных показателей при минимуме экономических затрат.

Кроме того, в последнее время все активнее выдвигаются на первый план проблемы сбережения ресурсов, сохранения экологического равновесия [5, 6]. Все это возможно при условии существенного повышения качества управления технологическими процессами в сельском хозяйстве, использования экономических методов хозяйствования, широкого внедрения компьютерных технологий, модернизации производства с учетом конъюнктуры рынка.

При расчете экономической эффективности мероприятий по использованию местного стока нужно учитывать следующие факторы:

- мероприятия по развитию орошения в хозяйстве выражаются в увеличении дополнительного выпуска продукции на орошаемых землях, обеспечении животноводства устойчивой кормовой базой, создании дополнительных рабочих мест;

- улучшение условий рыбохозяйственного использования водохранилища позволяет увеличить рыбопродуктивность водоема, что позволит получать дополнительный выход товарной рыбы;

- мероприятия по очистке сточных вод, в т. ч. аккумулируемых вод местного стока, а также рекультивационные мероприятия позволяют уменьшить поступление загрязняющих веществ в водный объект, улучшить условия для хозяйственного использования реки на подкомандной водосборной площади, снизить концентрации загрязняющих веществ в водотоке. В результате этого улучшается общая экологическая обстановка в водохранилище и на прилегающих территориях (эффективность этого мероприятия оценивается через расчет предотвращенного ущерба хозяйственному комплексу предприятий от загрязнения водных объектов) [5–7].

Реализация перечисленных мероприятий связана с капитальными вложениями, эксплуатационными издержками, возможными рисками и ущербами, поэтому при расчете экономической эффективности мероприятий по использованию вод местного стока следует сопоставить дополнительный эффект от мероприятий с объемом капитальных затрат на реализацию мероприятий и возможными ущербами после и в процессе их реализации.

Для рационального использования местных водных ресурсов различных федеральных округов и административных областей Российской Федерации необходимо учитывать технологии орошения в тесной увязке с их почвенно-климатическими особенностями.

Новые системы орошения на местном стоке должны быть технически совершенными, обеспечивать экономное и наиболее эффективное использование воды, исключать возможность подъема уровня грунтовых вод и возможность вторичного засоления

почв, гарантировать получение высоких урожаев всех сельскохозяйственных культур, возделываемых на их площадях [5, 7].

Отдельно можно сказать об устаревших технологиях орошения земель сельскохозяйственного назначения, которые имели место при использовании воды, аккумулированной в прудах и малых водохранилищах, в советские годы. Большинство таких орошаемых участков, впрочем, как и прудов, строилось хозяйственным способом, без детального изучения водного бассейна территории и проектов оросительной системы. Кроме того, технические средства для забора, транспортировки и орошения не всегда соответствовали потребностям, при поливе в основном применялись поверхностные способы с завышенными поливными нормами, не учитывался весь комплекс почвенных, гидрологических и тому подобных показателей.

С хозяйственной точки зрения целесообразнее не стационарное орошение отдельных участков, а мобильное орошение с подачей воды для полива тех площадей и культур, которые в данный период более всего нуждаются в поливах и где можно получить от орошения наибольший выход дополнительной продукции на каждый затраченный кубометр оросительной воды. Речь идет о том, чтобы поливы сельскохозяйственных культур применять так же, как и другие агротехнические мероприятия, т. е. каждый раз на тех площадях, где они обеспечивают получение наибольшего экономического эффекта.

Мобильное орошение может быть реализовано на основе блочно-модульной компоновки оросительной сети. Переход на блочно-модульный принцип компоновки сети позволит уменьшить общую потребность в строительных материалах на 40–50 %, при строительстве закрытой оросительной сети сократить потребность в земляных и монтажных работах на 30–40 %, улучшить условия по уходу и ремонту за счет размещения значительной части закрытой сети на поверхности поля [8].

Мобильные оросительные комплексы в ряде случаев имеют преимущество перед стационарной оросительной сетью. Применение комплексов позволяет ускорить и упростить организацию орошения сельскохозяйственных культур, дает возможность сложный процесс строительства постоянных оросительных сооружений с дорогостоящими проектно-изыскательскими работами заменить сборкой на месте изготовленного на заводе комплекта оборудования, сократить капиталовложения в пересчете на гектар орошаемой площади. Кроме того, мобильные оросительные комплексы не привязаны к одному орошаемому участку и могут перемещаться по орошаемым массивам в зависимости от фактической потребности в поливах.

Совершенствование технологии орошения на местном стоке может быть реализовано как сочетание современной блочно-модульной компоновки оросительной системы с лиманным орошением.

Например, весной, когда источники орошения наиболее полноводны, а на орошаемых участках, еще достаточно увлажненных талыми водами, идут предпосевная обработка почвы, посев, нарезка временной оросительной сети и другие сельскохозяйственные работы, из водохранилищ и прудов после их заполнения безвозвратно сбрасываются огромные объемы воды. Таких водохранилищ и прудов сезонного регулирования много. На конец года в них остаются миллионы кубометров неиспользованной воды, которая теряется на испарение. Чтобы предотвратить накопление солей, остаточные объемы воды периодически сбрасываются и бесполезно теряются. Осенью заравнивание временной оросительной сети, уборка урожая, вспашка зяби и посев озимых культур также препятствуют подаче оросительной воды на поля и сокращают ее потребление. Кроме того, глубокой осенью большинство каналов опорожняется и целые реки оросительной воды уходят через сбросные сооружения. А между тем эти воды целесообразно было бы использовать для влагозарядки лиманов с целью создания культурных пастбищ на основе многолетних трав.

Для повышения эффективности использования вод местного стока необходимо предусмотреть ряд мероприятий, направленных на упорядочение эксплуатации прудов и малых водохранилищ, а также приведение их в удовлетворительное техническое состояние. Эти мероприятия могут дополнительно обеспечить водными ресурсами для орошения сельскохозяйственных культур до 7,0 км³/год и полив к 2025 г. на площади 1,75 млн га [2].

Регулирование вод местного стока позволит снизить эрозионные процессы, усилит внутренний влагооборот, улучшит водный режим почв и в конечном итоге будет способствовать повышению их плодородия. Широкое развитие ярусных систем лиманного орошения, прудового хозяйства и устройство малых водохранилищ обеспечат прочную основу дальнейшего развития орошения и получение высоких и гарантированных урожаев независимо от погодных условий.

В России во всех засушливых зонах с засоленными почвами эксплуатируемый массив должен постоянно орошаться. После нескольких лет орошения перевод полей севооборота в богарный режим не допускается, так как при этом вследствие климатических условий эти участки полностью теряют свои потребительские свойства. Однако в зоне Северного Кавказа орошение размещается на черноземных и каштановых почвах, которые сформировались на базе тяжелых грунтов в условиях чередования влажных и сухих сезонных циклов. Обобщение опыта орошения в степной зоне показывает, что орошение в таких природно-хозяйственных условиях целесообразно осуществлять по принципу циклических мелиораций, когда процесс производства сельскохозяйственной продукции основан на сочетании циклов богарного и орошаемого земледелия [9, 10].

С учетом изменчивой обеспеченности водоисточников на местном стоке следует в севооборотах предусматривать определенный набор засухоустойчивых и влаголюбивых культур с режимом орошения, обеспечивающим водосбережение и сохранение высоких уровней почвенного плодородия.

Для объединений землевладельцев и коммерческих фирм, а также для садовых участков рекомендуется строительство систем микроорошения (капельного, синхронно-импульсного и подкранового дождевания), экономически оправданное при выращивании ценных садовых и овощных культур.

Современные системы дождевания с промывным режимом следует применять в комплексе с повторным использованием засоленных дренажных вод или со сбросом их в искусственные водоприемники. Для полива лугов в засушливые годы применимы лиманное орошение и орошение по широким полосам в зависимости от условий рельефа [7].

Для приведения потребности в орошении в соответствие с возможностью ее удовлетворения необходимо постоянное совершенствование способов орошения, повышение коэффициентов полезного использования воды и уровня водосбережения. Наиболее строгий режим экономии воды должен быть установлен в южных регионах страны с их плодородными почвами и оптимальной суммой эффективных температур, где орошение наиболее продуктивно, а располагаемые водные ресурсы крайне ограничены.

Усовершенствованные технологии орошения в современных условиях должны учитывать почвенные, геоморфологические, гидрологические, агробиологические, водохозяйственные и технико-экономические показатели (рисунок 1). Только такой комплексный и всесторонний подход вкупе с побассейновым регулированием стока позволит определить и использовать на практике наиболее эффективные производственные процессы, требующие наименьших затрат времени и материальных ресурсов при сохранении экологически устойчивой и благоприятной среды обитания человека.

В заключение следует отметить, что в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов проблематика, связанная с недостаточно эффективным использованием местного стока, является весьма актуальной.

В этой связи необходимо бороться со всевозможными потерями оросительной

воды, широко развивать орошение земель водами местного стока, комплексно подходить к созданию новых орошаемых массивов на основе аккумулирования местного стока и постоянного совершенствования технологий орошения.



Рисунок 1 – Схема использования местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения

К создаваемым системам орошения на местном стоке должны предъявляться такие же высокие требования, как и к современным системам регулярного орошения.

Использование резервов местного стока на основе современных научных и технических достижений перспективно, а в засушливых районах страны это вообще единственно возможный источник, который может быть использован при орошении земель сельскохозяйственного назначения.

Список использованных источников

1 Шумаков, Б. Б. Гидромелиоративные основы лиманного орошения / Б. Б. Шумаков. – М.: Гидрометеиздат, 1979. – 215 с.

2 Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года: Постановление Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р // Гарант Эксперт 2011 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2011.

3 Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов РФ в 2015 году» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1999>, 2017.

4 Тимченко, Н. С. Использование местных водных ресурсов для орошения / Н. С. Тимченко. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 152 с.

5 Щедрин, В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 255 с.

6 Туктаров, Б. И. Мелиорация естественных лиманов Заволжья / Б. И. Туктаров, С. С. Ермилов, С. Н. Косолапов. – Саратов: Сарат. ГАУ, 2002. – 124 с.

7 Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Г. А. Сенчуков, Е. И. Шкуланов; под ред. В. Н. Щедрина. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. – 342 с.

8 Бредихин, Н. П. Полустационарно-мобильные оросительные системы для восстановления и сохранения природного плодородия черноземов / Н. П. Бредихин, В. Н. Щедрин // Современные проблемы планирования и управления водохозяйственными проблемами: тез. конф. 8–12 октября 1990 г. – Новочеркасск: Югмелиорация, 1990. – С. 88–89.

9 Докучаева, Л. М. Принцип подбора культур для севооборотов, осваиваемых при циклическом орошении / Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, Э. Н. Стратинская // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2007. – Вып. 37. – С. 63–68.

10 Альтернативная система орошаемого земледелия (циклическое орошение) / В. Н. Щедрин [и др.]; ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2007. – 27 с.

УДК 631.062.2(477.22)

М. В. Вердыш

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь,
Российская Федерация

АНАЛИЗ ПЛАНОВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА КАХОВСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

В статье приведены результаты анализа водораспределения в зоне действия Каховской оросительной системы за период 2010–2014 гг. Установлено, что коэффициенты водообеспеченности и равномерности водораспределения в большинстве управлений водного хозяйства в рассматриваемый период оставались нестабильными и склонными к колебаниям. Путем оценки корреляции установлена обратная зависимость между выполнением плана водоподачи и годовым количеством осадков в зоне Каховской оросительной системы. В современных условиях на выполнение плана поливов в значительной мере влияет способность водопользователей оплачивать услуги по подаче воды на орошение, а также состояние внутриводхозяйственной оросительной сети. На водохозяйственных предприятиях, где фактические показатели водообеспеченности не превышают плановых значений, имеет место равномерное распределение воды между водопользователями.

Ключевые слова: орошение, магистральный канал, водохозяйственные предприятия, плановое водопользование, распределение воды, показатели водораспределения, коэффициент корреляции.

M. V. Verdysch

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

ANALYSIS OF PLANNED WATER USE ON KAKHOVSKAYA IRRIGATION SYSTEM

The results of water distribution analysis in the Kakhovka irrigation system for the period 2010–2014 are presented. It was found that the coefficients of water availability and uniformity of water distribution in most water management departments during the period under review remained unstable and prone to fluctuations. The inverse dependence between the ful-

fillment of water supply plan and the annual amount of precipitation in the Kakhovka irrigation system has been established by the evaluation of correlation. In modern conditions the ability of water users to pay for irrigation water supply services as well as the state of the on-farm irrigation network greatly influences the implementation of irrigation plans. A uniform distribution of water between water users occurs at water management enterprises, where actual water availability indicators do not exceed the planned values.

Key words: irrigation, main canal, water management enterprises, planned water use, water distribution, water distribution indicators, correlation coefficient.

Введение. Одним из основных объектов водохозяйственно-мелиоративного комплекса юга Украины является Каховская оросительная система (ОС) – крупнейшая оросительная система в Европе, которая в случае полной реализации проекта могла бы обеспечить орошение сельскохозяйственных угодий на территории Херсонской и Запорожской областей площадью 780 тыс. га [1]. Функционирование Каховской ОС в 2010–2014 гг. характеризуется следующими факторами:

- сокращением бюджетного финансирования и завершением перехода водопользования на принцип платности;

- постепенным ухудшением мелиоративного состояния орошаемых угодий;

- ежегодным изменением числа сельскохозяйственных водопользователей с малыми по площади орошаемыми участками, что усложняет процесс водораспределения и эксплуатацию системы в целом.

Каховская ОС находилась в хорошем техническом состоянии: коэффициент полезного действия межхозяйственной сети (КПД) с учетом магистрального канала равен 0,90, закрытой внутрихозяйственной сети – 0,97.

В современных условиях использование водных ресурсов для нужд орошения осуществляется на основе планового водопользования – забора и распределения воды между водопользователями по заранее составленному плану. Организация планового водопользования на ОС должна обеспечивать эффективное использование оросительной воды, минимизацию ее сбросов с полей, оптимальную влажность активного слоя почвы [2, 3]. Эффективность использования водных ресурсов водопользователями зависит от качества водоподачи. Под качеством водоподачи подразумевается стабильность и соответствие плановым показателям подачи воды за период времени – сутки, декаду, месяц, поливной период. Завышенные объемы водоподачи используются для полива в незначительной мере и увеличивают непродуктивные сбросы. Значительное снижение фактических объемов водоподачи по сравнению с плановыми уменьшает КПД производительности техники полива, что дезорганизует ход полива и агротехнических работ. Планы распределения воды на ОС могут корректироваться в случаях: выпадения достаточного количества осадков для обеспечения растений влагой; аварии, которая влечет за собой длительное нарушение планового режима водоподачи; значительного уменьшения водоносности источника орошения; изменения специализации сельскохозяйственного производства на орошаемых землях, что сопровождается изменением структуры посевных площадей более чем на 15 % [4], а также отсутствия у значительного числа водопользователей средств для оплаты подачи воды им в точки выдела; неудовлетворительного технического состояния внутрихозяйственной оросительной сети.

Результаты и обсуждение. Проблемой реализации планового водопользования в условиях Каховской ОС является несоответствие организационной структуры управления системы сложившимся социально-экономическим условиям. Управление Главного Каховского магистрального канала (УГКМК), эксплуатирующее головную насосную станцию, магистральный канал и часть точек водовыдела, находится в непосредственном подчинении Государственному агентству водных ресурсов Украины. Районные и межрайонные управления водного хозяйства (УВХ и МУВХ), которые находятся в зоне действия магистрального канала и эксплуатируют межхозяйственные распределители и большинство точек водовыдела, являются подразделениями Херсонского

(семь УВХ) и Запорожского (два УВХ) областных управлений водных ресурсов. Структурная разобщенность вызывает дополнительные сложности в процессе подачи и распределения воды, а также в процессе заключения договоров на ее подачу.

Основные технико-эксплуатационные показатели Каховского магистрального канала и предприятий, забирающих воду из него и подающих ее на нужды орошения, приведены в таблицах 1 и 2. Данные таблиц 1, 2 свидетельствуют о сравнительно высоком уровне использования орошаемых земель, значительной мощности Каховской ОС и высокой интенсивности поливов сельскохозяйственных культур. В то же время технологическая мощность головной насосной станции системы используется не полностью. В 2010–2014 гг. площади политых земель в зоне действия системы составляли 210–230 тыс. га (65–70 % от общей площади орошения в зоне действия системы и около 40 % политых орошаемых земель на Украине). Средняя удельная водоподача на гектар в зоне действия Каховской ОС составила 2800 м³/га, а максимальная достигала 4480 м³/га, средняя кратность поливов – 5,7, а в районах интенсивного выращивания сои – до 10 поливов за сезон. Плановые объемы водоподачи по Каховскому магистральному каналу ежегодно постепенно увеличивались на 2,0–5,5 % относительно уровня предыдущего года, фактические объемы увеличивались скачкообразно, на 2,5–25,0 %, а в 2014 г. наблюдалось их уменьшение на 1,0 %.

Таблица 1 – Основные технико-эксплуатационные показатели предприятий в зоне действия Каховской ОС

Название предприятия	Год	Фактическая площадь полива, тыс. га	Водоподача, тыс. м ³		КПД	Кратность поливов сельскохозяйственных культур	Удельная водоподача, тыс. м ³ /га
			план	факт			
1	2	3	4	5	6	7	8
УГКМК	2010	29,28	120766	95231	1,00	5,9	3,25
	2011	29,80	135063	122262	1,00	7,9	4,10
	2012	29,86	145700	133813	1,00	9,0	4,48
	2013	29,70	151934	127017	1,00	8,6	4,28
	2014	30,79	162994	120602	1,00	7,3	3,92
Каховское МУВХ	2010	28,73	90925	71799	0,85	7,1	2,92
	2011	28,14	86903	82062	0,80	9,0	3,59
	2012	28,14	103849	101090	0,72	9,7	3,46
	2013	29,72	107145	102828	0,89	10,2	4,19
	2014	29,72	98147	124686	0,88	8,6	3,68
Горностаевское УВХ	2010	17,32	60430	50323	0,99	5,5	2,62
	2011	17,22	59355	45472	0,98	6,9	3,39
	2012	17,54	52678	58468	0,95	8,1	3,73
	2013	17,74	48146	65447	0,99	8,5	4,25
	2014	17,92	48144	75390	0,97	8,2	3,89
Новотроицкое УВХ	2010	44,82	93264	73200	0,94	3,3	1,63
	2011	44,93	94596	111906	0,96	5,3	2,49
	2012	45,14	103095	130114	0,93	5,2	2,88
	2013	47,26	104981	136971	0,96	5,3	2,90
	2014	48,71	107930	147073	0,97	5,3	3,02
Цюрупинское МУВХ	2010	1,54	4680	4173	0,91	5,7	2,71
	2011	1,54	5742	3771	1,00	5,1	2,49
	2012	1,33	5473	3876	0,98	5,9	2,91
	2013	1,51	5445	6373	1,00	8,4	4,20
	2014	1,58	6531	6008	1,00	7,9	3,79

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Чаплинское УВХ	2010	34,55	66221	80182	1,03	4,5	2,32
	2011	28,38	79806	106642	0,97	5,5	3,76
	2012	28,57	73205	120530	1,02	6,4	4,22
	2013	29,09	78446	119228	0,96	7,7	4,10
	2014	34,55	78155	140898	1,05	7,1	4,08
Ивановское УВХ	2010	13,90	30700	32809	1,08	3,8	2,36
	2011	14,53	36269	47868	1,00	5,9	3,29
	2012	14,54	36200	51224	0,96	5,2	3,52
	2013	14,83	41808	60391	0,99	6,8	4,07
	2014	15,33	39496	60184	0,99	6,5	3,93
Геническое УВХ	2010	20,50	48221	37670	0,90	4,8	1,84
	2011	20,50	44771	47613	0,94	5,6	2,32
	2012	20,70	45269	48435	0,93	5,6	2,34
	2013	21,00	45361	50416	0,95	5,6	2,40
	2014	21,00	47650	47958	0,98	5,5	2,25
Акимовское УВХ	2010	13,66	34414	11530	0,63	2,1	0,84
	2011	14,16	32007	18121	0,66	3,0	1,28
	2012	14,45	22282	17708	0,60	3,0	1,23
	2013	15,49	22282	21438	0,70	3,2	1,38
	2014	15,65	22282	16924	0,63	2,9	1,08
Мелитополь- ское УВХ	2010	12,20	44083	15126	0,73	2,9	1,24
	2011	12,20	32220	13315	0,62	2,3	1,09
	2012	12,31	22680	19862	0,68	3,3	1,61
	2013	12,61	31300	24308	0,70	3,7	1,93
	2014	12,48	34600	26094	0,73	4,0	2,09

Таблица 2 – Плановые и фактические объемы водоподачи Каховского магистрального канала

В тыс. м³

Год	Плановая водоподача	Фактическая водоподача
2010	716655	540031
2011	729630	711912
2012	748148	811300
2013	767231	831853
2014	812721	822327

В практике водораспределения на Каховской ОС в ряде случаев складывалась ситуация, когда КПД межхозяйственной сети некоторых УВХ достигал и превышал значение 1. Это объясняется забором воды не только из рабочего, а и из резервного объема магистрального канала и межхозяйственных распределителей, который образуется благодаря сложной полигональной форме его поперечного сечения, что позволяет накапливать дополнительные объемы воды.

Выполнение и эффективность водопользования на ОС оценивается системой технико-экономических показателей. Помимо показателей, характеризующих работу ОС, таких как объем водозабора и водоподачи, площадь и кратность поливов, оросительная норма, ученые предлагают ряд других показателей, которые характеризуют управление водораспределением и эффективность планового водопользования, таких как водообеспеченность и равномерность водоподачи [5, 6].

Коэффициент водообеспеченности характеризует выполнение плана водоподачи как отдельному водопользователю или группе водопользователей, так и в целом по магистральному каналу:

- коэффициент водообеспеченности группы водопользователей или отдельного водопользователя:

$$K_B = \frac{W_{\text{факт}}}{W_{\text{план}}},$$

где $W_{\text{факт}}$, $W_{\text{план}}$ – фактическая и плановая водоподача, м³;

- коэффициент водообеспеченности магистрального канала:

$$K_{\text{вМК}} = \frac{W_{\text{фактМК}}}{W_{\text{планМК}}},$$

где $W_{\text{фактМК}}$ – фактическая водоподача по магистральному каналу, м³;

$W_{\text{планМК}}$ – плановая водоподача по магистральному каналу, м³.

Критерием оценки справедливости фактического распределения воды между водопользователями является коэффициент равномерности водоподачи. Чем он выше, тем равномернее происходит процесс водораспределения из магистрального канала:

- коэффициент равномерности водоподачи УВХ или отдельного водопользователя:

$$K_p = 1 - \frac{K_B - K_{\text{вМК}}}{K_{\text{вМК}}};$$

- коэффициент равномерности водоподачи из магистрального канала рассчитывается как среднее арифметическое коэффициентов равномерности водоподачи всех водопользователей (групп водопользователей):

$$K_{\text{рМК}} = \frac{\sum K_p}{n}.$$

Величины коэффициентов водообеспеченности и равномерности водоподачи водохозяйственных предприятий, функционирующих в зоне Каховской ОС, для каждого года анализируемого периода, а также метеоусловия этих лет, характеризующиеся количеством осадков (мм) и обеспеченностью осадками (%), приведены в таблице 3.

Изучение данных таблиц 2 и 3 позволяет установить:

- показатели метеоусловий каждого года наблюдений значительно отличались, обеспеченность осадками изменялась от 7 до 99 %, слой осадков – от 598 мм в 2010 г. до 240 мм в 2011 г.;

- исходя из благоприятных условий: достаточного объема водных ресурсов в источнике орошения (Каховском водохранилище), надежной работы головной насосной станции системы, высокого КПД оросительной сети – коэффициент водообеспеченности магистрального канала ОС ($K_{\text{вМК}}$) имел высокие значения (от 0,75 до 1,08);

- коэффициенты водообеспеченности каждого УВХ (K_p) были подвержены колебаниям как в годовом разрезе, так и в течение периода наблюдений;

- коэффициент равномерности водоподачи Каховского магистрального канала ($K_{\text{рМК}}$) в течение анализируемого периода изменялся в пределах 0,68–0,78.

В силу различных причин объемы подачи воды на орошение могут значительно колебаться. Полного соответствия между плановыми и фактическими показателями достичь невозможно. Практика использования орошаемых земель показывает, что отклонение в пределах 90–110 % не вызовет отрицательных последствий для водопользователей. Для нормирования отклонения водоподачи Н. Т. Лактаев предлагает показатель отношения числа случаев подачи воды группам водопользователей в пределах 90–110 % от плановой водоподачи к общему числу случаев подачи воды, равному произведению числа групп водопользователей и числа декад анализируемого периода [7]. На Каховской ОС за анализируемый период 2010–2014 гг. из 50 случаев подачи воды водоподача за поливной сезон в пределах 90–110 % была только в девяти случаях (18 % от общего числа).

Таблица 3 – Показатели и условия водораспределения на Каховской ОС в 2010–2014 гг.

Год	Показатель и условия водораспределения	Водохозяйственное предприятие											
		Херсонская область								Запорожская область			
		УТКМК	Каховское МУВХ	Горностаевское УВХ	Новотроицкое УВХ	Цюрупинское МУВХ	Чаплинское УВХ	Ивановское УВХ	Геническое УВХ	Акимовское УВХ	Мелитопольское УВХ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2010	Коэффициент водообеспеченности (K_B)	0,79	0,94	0,77	0,78	0,89	1,21	1,07	0,78	0,33	0,34		
	Коэффициент водообеспеченности канала ($K_{BМК}$)	0,75											
	Коэффициент равномерности водоподачи (K_p)	0,96	0,74	0,97	0,96	0,82	0,39	0,57	0,98	0,44	0,46		
	Коэффициент равномерности водоподачи канала ($K_{pМК}$)	0,72											
2011	Количество осадков (O_c), мм / обеспеченность, %	598,4 / 7,0											
	Коэффициент водообеспеченности (K_B)	0,91	0,97	1,11	1,18	0,66	1,33	1,31	1,06	0,57	0,41		
	Коэффициент водообеспеченности канала ($K_{BМК}$)	0,97											
	Коэффициент равномерности водоподачи (K_p)	0,93	1,00	0,86	0,78	0,68	0,63	0,65	0,93	0,59	0,48		
2012	Коэффициент равномерности водоподачи канала ($K_{pМК}$)	0,76											
	Количество осадков (O_c), мм / обеспеченность, %	240,3 / 99,0											
	Коэффициент водообеспеченности (K_B)	0,92	0,96	1,36	1,26	0,71	1,65	1,42	1,06	0,79	0,87		
	Коэффициент водообеспеченности канала ($K_{BМК}$)	1,08											
2012	Коэффициент равномерности водоподачи (K_p)	0,84	0,89	0,78	0,83	0,66	0,48	0,69	0,99	0,74	0,81		
	Коэффициент равномерности водоподачи канала ($K_{pМК}$)	0,78											
Количество осадков (O_c), мм / обеспеченность, %		503,4 / 21,0											

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2013	Коэффициент водообеспеченности (K_B)	0,83	1,27	1,56	1,32	1,17	1,52	1,46	1,11	0,72	0,77	
	Коэффициент водообеспеченности канала ($K_{BМК}$)	1,08										
	Коэффициент равномерности водоподачи (K_p)	0,77	0,82	0,56	0,78	0,92	0,59	0,70	0,97	0,67	0,71	
	Коэффициент равномерности водоподачи канала ($K_{pМК}$)	0,73										
	Количество осадков (O_c), мм / обеспеченность, %	342,7 / 68,0										
2014	Коэффициент водообеспеченности (K_B)	0,73	1,05	1,40	1,36	0,92	1,80	1,52	1,00	0,72	0,71	
	Коэффициент водообеспеченности канала ($K_{BМК}$)	1,01										
	Коэффициент равномерности водоподачи (K_p)	0,73	0,97	0,61	0,65	0,91	0,28	0,50	0,99	0,75	0,74	
	Коэффициент равномерности водоподачи канала ($K_{pМК}$)	0,68										
	Количество осадков (O_c), мм / обеспеченность, %	340,1 / 72,0										

Анализ корреляционной связи между выполнением плана водоподачи и годовым количеством осадков в зоне Каховской ОС показал обратную зависимость между этими величинами различной степени силы (от минус 0,14 для УГКМК до минус 0,70 для Генического УВХ) для большинства водохозяйственных предприятий, за исключением Цюрупинского МУВХ, для которого взаимосвязи не прослеживалось (таблица 4).

Таблица 4 – Корреляционная связь между показателями водораспределения и количеством осадков

Показатель корреляционной связи	Название предприятия									
	УГКМК	Каховское МУВХ	Горностаевское УВХ	Новотроицкое УВХ	Цюрупинское МУВХ	Чаплинское УВХ	Ивановское УВХ	Геническое УВХ	Акимовское УВХ	Мелитопольское УВХ
$r(K_B, O)$	-0,14	-0,38	-0,49	-0,66	0,01	-0,25	-0,59	-0,70	-0,43	-0,09
$r(K_P, O)$	0,34	-0,78	0,48	0,75	-0,06	-0,43	-0,01	0,64	-0,40	-0,02
$r(K_B, K_P)$	0,36	-0,14	-0,93	-0,88	0,90	-0,41	0,07	-0,24	0,84	0,99

Опыт эксплуатации ОС на юге Украины в современных условиях указывает на приоритетность принципа платности водопользования и договорных взаимоотношений между водопользователями и водохозяйственными предприятиями как при перспективном, так и при оперативном планировании водопользования. При краткосрочном планировании водопользователь вынужден принимать во внимание заранее оплаченный им лимит на спецводопользование и возможность оплатить услуги водохозяйственных предприятий по подаче воды.

Выводы. Показатели выполнения плана подачи воды на орошение в различных водохозяйственных организациях в зоне действия Каховской ОС значительно отличаются. В ряде управлений водного хозяйства: Горностаевском, Новотроицком, Чаплинском, Ивановском – фактическая водоподача значительно превышает планируемую из-за несоблюдения структуры севооборота на орошаемых участках и увеличения доли более рентабельных и влаголюбивых культур. В УГКМК, Каховском и Цюрупинском МУВХ, Геническом УВХ показатели фактической водоподачи близки к планируемым значениям. В управлениях водного хозяйства, расположенных в Запорожской области (Акимовском и Мелитопольском), фактические объемы водоподачи значительно меньше запланированных, что свидетельствует о допущении завышенных норм водопотребления при планировании водопользования на поливной сезон.

У большинства водохозяйственных организаций с увеличением количества осадков в различной степени снижается показатель водообеспеченности, т. е. выполнения плана подачи воды. В то же время закономерной взаимосвязи между изменениями количества осадков и показателя равномерности водораспределения не выявлено. В ряде водохозяйственных предприятий с фактическими показателями выполнения плана водоподачи, не превышающими плановые (Цюрупинском МУВХ, Мелитопольском и Акимовском УВХ, УГКМК), наблюдается прямая связь между водообеспеченностью и равномерностью водораспределения. У предприятий с превышением фактической водоподачи над плановой: Новотроицкого, Горностаевского и Чаплинского УВХ – связь между этими показателями обратная. Это свидетельствует о том, что значительное превышение фактических величин водоподачи над плановыми приводит к снижению равномерности водоподачи по межхозяйственной оросительной сети.

Важными факторами при планировании водопользования на Каховской ОС в современных условиях являются договорные взаимоотношения при водоподаче на оро-

шение и финансовое состояние водопользователей, определяющее способность оплачивать лимит на спецводопользование, водоподачу и поддерживать в исправном состоянии внутривозвратную сеть и поливную технику.

Список использованных источников

- 1 Мелиорация на Украине / под ред. Н. А. Гаркуши. – 2-е изд., доп. и перераб. – Киев: Урожай, 1985. – 376 с.
- 2 Эксплуатация гидромелиоративных систем / под ред. Н. А. Орловой. – Киев: Выш. шк., 1985. – 368 с.
- 3 Натальчук, М. Ф. Эксплуатация гидромелиоративных систем / М. Ф. Натальчук, В. И. Ольгаренко, В. А. Сурин. – М.: Колос, 1995. – 320 с.
- 4 Киенчук, А. Ф. Водораспределение на оросительных системах / А. Ф. Киенчук. – Киев: Урожай, 1989. – 176 с.
- 5 Руководство по расчету и анализу показателей водораспределения / В. А. Духовный [и др.]. – Ташкент, 2006. – 56 с.
- 6 Интегрированное управление водными ресурсами: от теории к реальной практике. Опыт Центральной Азии / под ред. В. А. Духовного, В. И. Соколова, Х. Мантри-тилаке. – Ташкент: НИЦ МКВК, 2008. – 364 с.
- 7 Лактаев, Н. Т. Полив хлопчатника / Н. Т. Лактаев. – М.: Колос, 1978. – 174 с.

УДК 631.347

А. А. Чураев, Ю. Ф. Снопич, Л. В. Юченко, В. М. Школьная

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

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Статья посвящена описанию конструктивного исполнения разрабатываемой широкозахватной многоопорной дождевальной машины вантовой конструкции. Приведена конструктивная характеристика разрабатываемого опытного образца и краткое описание приборного оборудования.

Ключевые слова: дождевальная машина, водопроводящий трубопровод, дождеобразующее устройство, натяжной трос, тележка, приборное оборудование.

A. A. Churaev, Yu. F. Snipich, L. V. Yuchenko, V. M. Shkolnaya

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

CONSTRUCTIVE DESIGN OF A NEW GENERATION SPRINKLING MACHINE

The article is devoted to the description of the constructive design of a wide-cut cable-structured multi-tower sprinkling machine. The features of a trial model being developed and a brief description of the instrument equipment are given.

Key words: sprinkling machine, water conducting pipe, sprinkler, tension cable, trolley, instrument equipment.

В настоящее время основные направления развития дождевальной техники – это разработка новых конструкций и совершенствование существующих дождевальных машин с применением современных материалов. Разработка новых конструкций должна быть направлена на серьезные преобразования технологических и технических характеристик машин, способствующих повышению их эксплуатационной надежности и экологической безопасности. Необходима также разработка базовых моделей полив-

ной техники, универсально адаптируемых к различным технологическим условиям [1].

Конструктивное исполнение дождевальных машин нового поколения должно опираться на используемые в настоящее время системы перемещения составных модулей (тележек) для закрытой напорной и открытой оросительных сетей:

- дождевальная машина с круговым перемещением с гидравлическим приводом и (или) электроприводом для закрытой сети;
- дождевальная машина с фронтальным перемещением с гидравлическим приводом и (или) электроприводом для закрытой сети;
- дождевальная машина с фронтальным перемещением с электроприводом для открытой сети.

Состав предоставляемой пользователям информации должен дифференцироваться в зависимости от сетевой или автономной организации работы дождевальных машин в хозяйствах. Дождевальные машины нового поколения должны быть укомплектованы современными блоками, реализующими следующие опции [2]:

- регулирование норм полива пролетами дождевальной машины в зависимости от контролируемого параметра влажности (использование датчиков влажности – радиометров и исполнительных механизмов – программируемых блоков управления с компенсаторами давления);
- регулирование пролетами дождевальной машины норм подачи с поливной водой органических и минеральных удобрений, химмелиорантов, микроэлементов, средств борьбы с сорной растительностью (гербицидов), с вредителями растений;
- регулирование высоты пролета в зависимости от скорости ветра и высоты растений (использование датчиков контроля скорости ветра и программируемых исполнительных механизмов);
- отдельный режим полива отдельных участков, углов, обеспечение обратного хода дождевальной машины;
- управление поливами в режиме малоинтенсивного дождевания нормами 80–120 м³/га (в режиме «дополива»).

При разработке и изготовлении дождевальных машин необходимо рассматривать варианты использования современных материалов для напорной водопроводящей части, конструкций насадок и дождевальных аппаратов с учетом обеспечения необходимого качества дождя, а также варианты использования инженерно-конструкторских решений по созданию и внедрению автономных энергообеспечивающих устройств для работы различных датчиков контроля и исполнительных механизмов.

Объектом разработки отдела эксплуатации мелиоративных систем и водоучета федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ») в 2016–2017 гг. являлись опытно-конструкторская документация и изготовление опытного образца широкозахватной дождевальной машины (ШДМ) кругового действия вантавой конструкции.

Новизна разработки заключается в использовании современных материалов для напорной водопроводящей части (армированных стекловолокном труб), новых конструкций дождеобразующих устройств, а также в возможности реализации дождевальной машиной прецизионного (точного) управления производственными процессами орошения сельскохозяйственных культур.

Разрабатываемая широкозахватная многоопорная дождевальная машина должна обеспечивать работу на полях со спокойным рельефом (уклоны вдоль водопроводящего трубопровода до 0,01), повышенным (от 0,02 до 0,05) и большим (от 0,05 до 0,07) на любых типах почв и отвечать климатическому исполнению «У» по категории 1 ГОСТ 15150 [3]. Не меньше 80 % комплектующих ШДМ должно быть отечественного производства.

Конструктивная характеристика разработанного опытного образца ШДМ представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Конструктивная характеристика опытного образца ШДМ

Наименование параметра	Характеристика
Длина опытного образца, м	90
Радиус полива концевым дождевальным аппаратом, м	3,5
Диаметр водопроводящего трубопровода, м	0,15; 0,10
Количество секций (тележек), шт.	3
Количество дождевальных аппаратов, шт.	35 + 1*
Расстояние между дождевальными аппаратами, м	2,5
1* – концевой дождевальный аппарат.	

Вантовая конструкция ШДМ представляет собой систему вертикальной тросовой подвески для поддержания водопроводящего трубопровода и тележек в вертикальной плоскости и систему горизонтальных тросовых растяжек для увеличения жесткости трубопровода в горизонтальной плоскости, система состоит из поддерживающих и натяжных тросов, присоединительной арматуры и крепежных деталей.

Разрабатываемая ШДМ состоит из центральной опоры, водопроводящего трубопровода, дождеобразующих устройств, натяжных тросов или тросовых растяжек, тележек с силовым и приборным оборудованием.

Центральная, неподвижная опора является центром дождевальной машины кругового перемещения. Рама неподвижной опоры состоит из четырех стоек, скрепленных поперечными балками. Опора неподвижно закрепляется на фундаменте.

В средней части опоры посредством хомутов и кронштейнов закрепляется неподвижная труба. Нижняя часть трубы через угловое соединение, расходомер, фильтр и гидравлическую задвижку с электроприводом присоединяется к напорному трубопроводу непосредственно дождевальной машины.

Верхняя часть неподвижной трубы через цилиндрический патрубок шарнирно соединяется с поворотным коленом. Соединение уплотняется резиновым кольцом. Цилиндрический патрубок с обоймой образует подшипник поворотного колена. К фланцу поворотного колена присоединен водопроводящий трубопровод дождевальной машины.

Водопроводящий трубопровод состоит из последовательно соединенных полипропиленовых армированных стекловолокном труб диаметром 150 и 100 мм, которые вместе с тросами вантовой подвески образуют пролет. Пролет состоит из шести труб с двумя фланцами каждая. Монтируется резьбовым соединением последовательно и герметизируется прокладками.

Для качественного полива в зависимости от климатических и почвенных условий, а также вегетативного периода развития растений дождевальная машина будет комплектоваться соответствующими дождевальными насадками с комплектами дюз. На конце водопроводящего трубопровода устанавливается дальнеструйный дождевальный аппарат секторного действия.

Дождеобразующие устройства должны обеспечивать равномерное распределение оросительной воды по орошаемому участку. Крупность капель – не более 2 мм, интенсивность дождя в пределах 0,2–0,8 мм/мин.

Для обеспечения необходимой интенсивности дождя опытный образец ШДМ будет оснащен двумя типами насадок (дефлекторными насадками секторного типа, среднеструйными аппаратами кругового действия) и концевым дождевателем секторного действия.

На рисунке 1 представлены типы дефлекторных насадок, применяемых на дождевальных машинах.

На рисунке 2 представлена дефлекторная насадка секторного действия, разработанная в ФГБНУ «РосНИИПМ» (патент № 2385192 РФ от 27.03.2010) [4].



Рисунок 1 – Дефлекторные насадки (две слева – кругового и две справа – секторного действия)

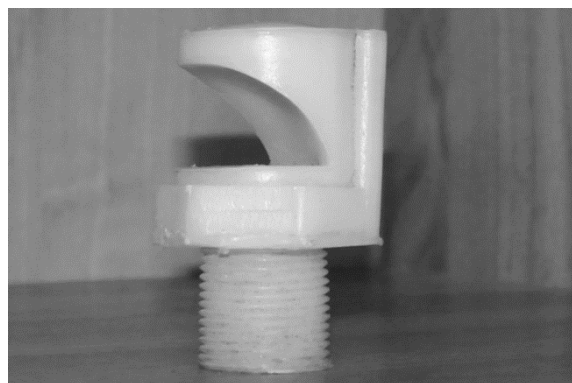
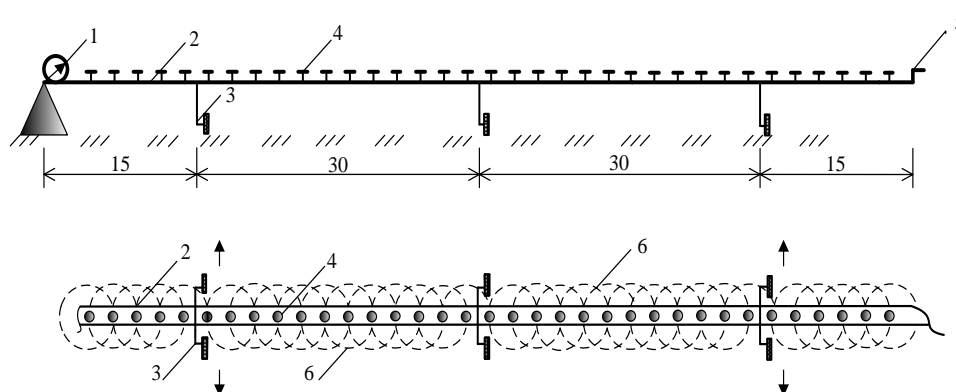


Рисунок 2 – Дефлекторная насадка секторного действия

На рисунке 3 показана конструктивная схема расположения дождеобразующих устройств на опытном образце.



1 – манометр; 2 – водопроводящий трубопровод; 3 – ходовая тележка;
 4 – дождеобразующее устройство; 5 – концевой дождеватель секторного действия;
 6 – контур увлажнения одним дождеобразующим устройством

Рисунок 3 – Конструктивная схема расположения дождеобразующих устройств

Конструкция фермы, создаваемой ШДМ, с системой горизонтальных и вертикальных растяжек и подвесок трубопровода, выполняемого из стеклопластиковых труб, при сохранении необходимой прочности конструкции позволяет преодолевать участки с уклонами до 0,07. Такая конструкция дала возможность снизить энергетические затраты на перемещение машины на 16 %, а также уменьшить вес модуля (тележка + пролет) на 143,5 кг (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительные весовые характеристики комплектующих элементов разрабатываемой ШДМ и ДМУ «Фрегат»

Комплектующий элемент	Масса	
	ШДМ	ДМУ «Фрегат»
Трубопроводный пролет	198,37	212,52
Тележка в сборе	415,0	501,5
Тросовая опора	41,23	69,02
Растяжки (трос, талрепы, зажимы, серьги)	49,92	52,08
Крепежные элементы	54,28	67,18
Итого	758,8	902,3

В кг

На каждом пролете водопроводящего трубопровода будет установлена самоходная тележка, опирающаяся на два приводных колеса на пневматических шинах. Привод каждого колеса ходовой тележки будет осуществляться посредством электрического мотор-редуктора. Посадочные размеры диска колеса согласовываются со ступицей колесного редуктора. Для обеспечения реверсивного движения протекторы колес каждой тележки направлены в противоположную сторону.

Дождевальная машина будет оснащаться приборным оборудованием системы управления, которая позволит автоматизировать технологический процесс полива при осуществлении точного земледелия машиной в долговременном режиме работы. Система управления, сигнализации и защиты дождевальной машины обеспечивает автоматический пуск и остановку мотор-редукторов, выбор рабочих режимов, автоматическое движение машины по кругу и опорных тележек в линию, контроль рабочих параметров, защиту силовых цепей и цепей управления, защиту составных частей машины от аварийных ситуаций.

Параметры и характеристики приборных средств системы управления широкозахватной многоопорной дождевальной машиной представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры и характеристики системы управления широкозахватной многоопорной дождевальной машиной

Параметр	Значение
1	2
Блок управления дождевальной машиной	Программируемый
Работа дождевальной машины с заранее заданными оператором параметрами	Автоматическая
Частота процессора, МГц	468
Объем оперативной памяти, Гб	8
Каналы связи	RS232/RS485, RS232, COM1 (до 115200 бит/с), COM2 (до 115200 бит/с)
Радиомодем сотовой связи GSM/GPRS	GSM/GPRS, 850/900/1800/1900 МГц
Порт Ethernet	10Base-T/100Base-TX
Поддерживаемые протоколы Modbus RTU, Modbus TCP	COM1, COM2, Ethernet
Каналы дискретного ввода:	
- общего пользования	100 Гц
- высокоскоростные	10000 Гц
- специального назначения	10 Гц
Каналы дискретного вывода	Открытый коллектор, максимальное напряжение 40 В, максимальный ток 50 мА
Каналы аналогового ввода	4–20 мА
Корпус блока управления	композитный
Покрытие блока управления	структурное
Панель блока управления	Не менее 7"
Экран с подсветкой	+
Остановка или запуск движения вперед и обратного движения	Программируемый
Включение (выключение) подачи воды	+
Включение (выключение) вспомогательного оборудования	+

Продолжение таблицы 3

1	2
Программируемая остановка на обслуживание	+
Программируемая подача воды на дождеобразующие устройства	+
Выбор процента интенсивности полива	+
План направления движения дождевальнoй машины	+
Программируемые планы поля	+
Пошаговое программирование по дате (времени), дню недели и т. д.	+
Функция контроля нагрузки для остановки работы при пиковoй интенсивности	+
Позиция на поле	+
Специальный экран статуса ошибок	+
Журнал событий работы дождевальнoй машины	+
Защита от переходного и индуцированного напряжения	+
Возможность дистанционного управления 3G, 4G	+
Громоотвод	+
Степень защиты блока управления IP	IP66
Напряжение питания блока управления, В:	
- от сети переменного тока с частотой (50 ± 1) Гц	220/380
- от источника постоянного тока	12 ± 1
Ток, А, не менее	1
Потребляемая мощность, Вт:	
- от сети переменного тока	35
- от источника постоянного тока	15
Габаритные размеры блока управления: Ш × В × Г, не более, мм	450 × 500 × 200

Конструкция, размеры, применяемые материалы, механические, технические и другие показатели деталей приборных средств дождевальнoй машины, а также качество отделки, термическая и химико-термическая обработка покрытия должны соответствовать действующим государственным стандартам, нормативам, техническим условиям, утвержденным в установленном порядке [3, 5, 6].

Разработка широкозахватной многоопорной дождевальнoй машины вантовой конструкции (машины нового поколения) позволит решить задачу импортозамещения на рынке дождевальнoй техники.

Список использованных источников

1 Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России: информ. изд. / А. В. Колганов [и др.]; под ред. В. Н. Щедрина. – М.: Росинформагротех, 2016. – 220 с.

2 Воронов, О. А. Дождевальная техника и технологии дождевания / О. В. Воронов, Г. М. Сукало, В. Н. Шкура; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2016. – 372 с.

3 ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введ. 1971-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 59 с.

4 Пат. 2385192 Российская Федерация, МПК В 05 В 1/18. Насадок дождевального агрегата / Щедрин В. Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2008136611/12; заявл. 11.09.08; опубл. 27.03.10, Бюл. № 9. – 9 с.

5 ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – Введ. 1987-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 36 с.

6 ГОСТ 24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. – Введ. 1987-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 8 с.

УДК 621.67:626.83

Н. Р. Насырова, О. Я. Гловацкий

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

Е. А. Печейкина

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

АНАЛИЗ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Целью данной работы является анализ критериев энергосберегающих режимов работы насосных станций оросительных систем. С учетом того, что крупные насосные станции являются весьма энергоемкими объектами, даны рекомендации по сокращению потребления энергии при модернизации и стимулировании эффективности эксплуатации насосных станций, ГЭС, обеспечивающих экономию электроэнергии. Плановая система технической эксплуатации при внедрении рекомендаций должна обеспечить энергоэффективную, надежную и безаварийную работу насосного оборудования.

Ключевые слова: насосные станции, критерии оценки, энергосбережение, ресурсосбережение, оросительная система, эффективность, технология.

N. R. Nasyrova, O. Ya. Glovatskiy

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Ye. A. Pecheykina

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

ANALYSIS OF CRITERIAN VALUES OF RESOURCE- AND ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES IN PUMPING STATIONS OPERATION OF IRRIGATION SYSTEMS

The purpose of this paper is to analyze the criteria for energy-saving operation modes of pumping stations of irrigation systems. Taking into account the fact that large pumping stations are very energy-consuming facilities, recommendations for reducing energy consumption during modernization and stimulating the efficiency of operation of pumping stations and hydro power stations that provide energy savings are given. The planned system of technical operation when implementing recommendations should ensure energy-efficient, reliable and trouble-free operation of pumping equipment.

Key words: pumping stations, evaluation criteria, energy saving, resource saving, irrigation system, efficiency, technology.

Для выбора оптимального режима работы насосных станций (НС) оросительных систем (ОС) авторы разработали критерии оценки эффективности ресурсо- и энерго-сберегающих технологий при эксплуатации НС.

В современных природно-хозяйственных и экономических условиях, когда в десятки и сотни раз возрастает стоимость эксплуатационных издержек, их экономии в первую очередь необходимо осуществлять за счет:

- уменьшения потребления электроэнергии и других энергоносителей по основному и вспомогательному оборудованию;
- сокращения затрат на очистку водоподводящих и сопрягающих сооружений ОС от плавника и наносов;
- увеличения межремонтного периода насосов (уменьшения сроков, стоимости ремонта, поставки запасных частей);
- оптимизации эксплуатационных режимов и характеристик насосов.

Перечисленные направления должны учитывать экологические аспекты эксплуатации НС, климатические особенности Республики Узбекистан, сокращение производительных потерь воды ОС и других ресурсов [1].

Проведенный в 2012–2017 гг. анализ затрат на функционирование НС выполнен с учетом существующих эксплуатационных технологий, применяющихся на НС, характеристик функционирования основного оборудования. На основе исследований и разработки новых энерго- и ресурсосберегающих технологий эксплуатации НС решена задача определения критериальных значений технологий эксплуатации.

Оптимальный режим работы НС с энергетической точки зрения оказывается самым лучшим с точки зрения минимизации безвозвратных потерь оросительной воды, что с каждым годом будет становиться все более и более важным [1, 2].

Проведенный анализ затрат на функционирование крупных НС предусматривает сравнение существующих эксплуатационных технологий и затрат по НС, характеристик функционирования основного оборудования. На основе разработки методики технико-экономических расчетов по реконструкции и модернизации объектов НС, нового метода определения дифференцированных ресурсозатрат при функционировании НС в региональных условиях Республики Узбекистан решена задача определения критериальных значений ресурсосберегающих технологий эксплуатации НС.

Анализ фактических расходов по выбранным ранее затратам на основные лимитирующие позиции (электроэнергия на основное оборудование, текущий и капитальный ремонт основного оборудования) показал, что они составляют от 93 до 98 % и стабилизированы по годам.

Особенно существенно на стоимость оросительной воды на орошаемых землях влияет КПД каналов (и водохранилищ) после последней НС каскада. Затраты энергии на подъем воды прямо пропорциональны подаче и высоте подъема и обратно пропорциональны КПД вышележащих каналов и сооружений.

Каскады НС, кроме подъема (вертикального перемещения) воды, могут транспортировать ее на довольно значительные расстояния (горизонтальное перемещение), т. е. выполняют функции магистральных оросительных каналов. Поэтому, кроме известных критериев, характеризующих работу НС (среднеэксплуатационный КПД при обеспечении заданного графика водоподдачи, стоимость подъема 1 м³ воды или стоимость подъема 1 т·м воды и т. п.), по нашему мнению, эффективность работы НС должны характеризовать критерии, которые обычно характеризуют эффективность работы магистральных оросительных каналов (общий КПД каналов или потери).

Эти критерии характеризуют возможные потери оросительной воды при ее транспортировке. При вычислении расчетных затрат на подъем воды, которая затем была потеряна на фильтрацию, расходы на эксплуатацию могут учитываться путем умножения затрат на электроэнергию для подъема воды на определенный коэффициент

(например, на 1,2–1,3). Если стоимость затрат на энергию, необходимая для подъема 1 м^3 воды на 1 м , составляет C , сумов, то расчетные затраты можно выразить как $1,2C$ или AC . Тогда стоимость 1 м^2 воды, потерянной после 1-й НС, возрастет на величину $AC (H_r)$, где H_r – геометрическая высота подъема воды на 1-й НС.

После 2-й НС стоимость воды возрастет на величину $AC (H_{r1} + H_{r2})$, после 3-й – на величину $AC (H_{r1} + H_{r2} + H_{r3})$, а после n -й – на величину $AC (H_{r1} + H_{r2} + \dots + H_{rn})$.

Критерия, оценивающего степень возможного соответствия подачи оросительных НС оптимальному графику водопотребления и однозначно оценивающего тот или иной способ изменения подачи, в технической литературе нами обнаружено не было.

Плавное изменение подачи НС может осуществляться путем использования емкости канала между НС и гидротехническим сооружением, отделяющим каскад НС от оросительных каналов, или использования специальной емкости, например водохранилища.

Водохранилище может использоваться для повышения коэффициента использования водоподъемного оборудования на НС и, кроме того, позволяет использовать сток водоисточника в навигационное время года. В этом случае необходимо иметь критерий, характеризующий эту способность НС, например отношение объема воды, использованного на орошение из водохранилища, который был закачан в невегетационный период, к общему объему воды, поступившему из водохранилища в ОС.

Наиболее приемлемым режимом работы промежуточных каналов этого каскада является равномерный режим течения воды в каналах. Возможно в аванкамерах НС применять подпорный режим (в пределах, обеспечивающих незаиление нижних бьефов станций), который позволяет уменьшить сбросы в период изменения расхода в промежуточных каналах и создает более благоприятный режим работы насосных агрегатов (НА). Создание подпорного режима в нижнем бьефе НС уменьшает геометрическую высоту подъема воды, а значит, уменьшает и мощность, необходимую для подъема заданного количества воды. Рациональным подпорный режим будет, по-видимому, тогда, когда при его введении разница между стоимостью сэкономленной энергии и дополнительными затратами на очистку канала от наносов (с введением подпорного режима) будет максимальной.

Анализ структуры энергозатрат позволил выявить следующие основные направления, в которых энергосберегающие мероприятия могут дать наибольший эффект: обоснование рациональных потребностей, структуры энергоносителей и потенциала энергосбережения, эффективное использование существующего, создание нового оборудования для энергоемких процессов, повышение эффективности управления энергосбережением [1].

Эти мероприятия позволят оценить общий потенциал энергосбережения и обозначить первоочередные экономически целесообразные меры технического переоснащения конкретных систем энергообеспечения и экономии топливно-энергетических ресурсов в Республике Узбекистан.

Основное внимание уделяется повышению эффективности эксплуатации ирригационных НС ввиду значительного расхода электроэнергии, необходимости замены или капитального ремонта основного насосно-энергетического оборудования и других эксплуатационных затрат.

Управление режимами с учетом неустановившихся процессов на НС в зависимости от характера и причины ограничения параметров НС необходимо осуществлять из-за аварийных (внезапных) нарушений эксплуатационного режима оборудования НС, вызванных отказами (аварийными отключениями), полным выходом из строя энергосистемы, из-за электрических нагрузок.

Это имеет большое значение, которое связано с частыми включениями и выключениями насосов, закрытием запорной арматуры, заполнением трубопроводов водой. Резкие колебания давления (гидравлический удар), как показал опыт эксплуатации, при-

входят к разрушению трубопроводной арматуры, проточной части насосов и даже к полному выходу из строя элементов НС. Задача эта еще более усложняется тем, что в связи с дефицитом металла и металлических труб в настоящее время при строительстве оросительных НС укладывается лишь 20 % напорных стальных труб, прочностные качества которых значительно превосходят качества неметаллических (асбестоцементных, железобетонных) и тонкостенных труб, доля которых сегодня составляет более 75 %.

В системе непрерывного оперативного контроля технологических параметров должен быть налажен энергоаудит и ревизия систем использования воды.

Реконструкция НС для удовлетворения потребностей сельского хозяйства в воде требует инвестиций в основные сооружения, оборудование и системы электроснабжения, которые должны подавать электроэнергию своевременно и в достаточном объеме. Поэтому необходимо тщательно определять площадь обслуживания таких ОС и пиковые потребности в воде с тем, чтобы можно было точно определить мощность новых насосов с высоким КПД, которые надо выбрать и установить на станции. Следует избегать установки насосов с чрезмерной мощностью, так как это приведет к повышенной потребности в электроэнергии.

В то время как насосное оборудование, включая электродвигатели, постепенно становится все более экономичным в потреблении электроэнергии и удобным в эксплуатации, такие улучшения плохо сочетаются с существующей инфраструктурой распределения воды в этих ОС. Действенными элементами для повышения эффективности использования воды являются сооружения, обеспечивающие регулирование расходов воды.

Мониторинг этих расходов является единственным рациональным способом вести учет баланса притока воды в схему и ее использования фермерами.

Рекомендации по совершенствованию технологии эксплуатации необходимо учитывать отдельно по водоподводящим и отводящим сооружениям, а также связующим звеньям в работе основных агрегатов и гидротехнического комплекса.

Замена старых насосов типа 22НДС на НС «Мехнатобод-3» с подвешенной площадью 2164 га дает совокупную экономию потребляемой электроэнергии до 65 % существующего энергопотребления. Экономия электроэнергии при инвестиционных затратах окупается за 2 года. Восстановление напорного трубопровода и его заглубление под землю для предотвращения несанкционированных врезок позволит экономить до 40 % годового объема воды и достаточно для восстановления сельхозпроизводства на 170 га. В 2013–2017 гг. годовые эксплуатационные издержки на НС снизились по сравнению с 2012 г. в 4 раза (с 19,2 до 4,7 млн сумов) только за счет повышения надежности и эффективности работы насосов.

Совершенствование эксплуатации и поддержки систем, управление режимами НС, ГЭС, электросистем во многом схожи.

В маловодные периоды в связи с водным дефицитом поступает недостаточное количество воды для охлаждения агрегатов, что приводит к негативным последствиям.

В тех случаях, когда генераторы охлаждаются при помощи специальных вентиляторов, расход воды и энергии может быть снижен за счет периодических остановок вентиляторов. Это мероприятие допустимо лишь при тщательном наблюдении за температурой генераторов и при условии поддержания этой температуры ниже заданной предельной величины. То же самое относится и к случаям замкнутой системы охлаждения генераторов: периодически останавливая насосы охлаждения в холодное время, можно экономить воду и энергию, поддерживая температуру генераторов в заданных пределах.

Значительное количество энергии на некоторых НС затрачивается на обогрев затворов и в некоторых случаях на обогрев сороудерживающих решеток. Расход энергии на эти цели может быть заметно сокращен за счет тщательного наблюдения за температурой воды в верхнем бьефе станции и в результате этого за счет уменьшения времени работы нагревательной системы. Для такого рода наблюдений должны быть использованы дистанционные приборы.

Аналогичные работы выполнены при модернизации ГЭС «Хишрау 2» на канале «Даргом» с расходом $Q = 180 \text{ м}^3/\text{с}$. На станции работают три агрегата: два по 7,7 МВт с генераторами «Вестингауз» и один мощностью 7,0 МВт с генератором «Уралэлектроаппарат».

Кроме замены турбин и генераторов решались проблемы защиты от заилиения нижнего бьефа и плавника. После модернизации ГЭС на станции установлены два агрегата по 9 МВт и один на 7,5 МВт. В последнее время в воде появился красный кварцевый песок, увеличивающий износ проточной части турбин. На рабочем колесе турбины заметны последствия кавитационно-абразивного износа, который устраняется наплавкой и последующей балансировкой. Износ напорного трубопровода составляет в среднем 3 мм от начальной толщины 12 мм.

В настоящее время из источников возобновляемой энергии в энергобалансе Узбекистана заметную долю составляет лишь гидроэнергия естественных водотоков. Потенциал гидроэнергоресурсов оценивается в 88,5 млрд кВт·ч, включая технический 27,4 млрд кВт·ч, из которого на сегодня используется только около 30 %. Программа развития малой гидроэнергетики предусматривает строительство малых ГЭС. Если их потенциал будет использоваться оптимальным образом, производимого ими электричества может быть достаточно для всех НС республики.

Выводы

1 Необходимость энергосбережения обосновывается технологическими и экономическими факторами. Крупные насосные установки являются весьма энергоемкими объектами. Они ежегодно расходуют примерно 20 % вырабатываемой электроэнергии, что для республик СНГ составляет около 300 млрд кВт·ч/год. При ежегодном приросте выработки электроэнергии в 3–4 % ввод новых энергетических мощностей в результате энергосберегающих режимов на НС может быть снижен на треть.

2 На основе разработки методики технико-экономических расчетов по реконструкции и модернизации объектов НС, нового метода дифференцированных ресурсозатрат при функционировании НС в региональных условиях республики решена задача определения критериальных значений ресурсо- и энергосберегающих технологий эксплуатации НС. Дальнейшие работы продолжаются по направлениям расширения и идентификации технологии эксплуатации водоподводящих и напорных сооружений узла НС, а также вариантов управления новыми средствами регулирования работы основных элементов НС ОС.

Список использованных источников

1 Некоторые экологические аспекты безопасности энергосберегающих режимов ирригационных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Р. Р. Эргашев, А. Б. Сапаров // Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства: сб. докл. II Междунар. науч.-практ. конф. – Казахстан, 2016. – С. 246–249.

2 Гловацкий, О. Я. Некоторые проблемы энергосбережения в системах машинного водоподъема Республики Узбекистан / О. Я. Гловацкий, Ш. М. Шарипов // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2011. – № 1, 2. – С. 128–131.

УДК 628.165/66.081.63/626.811/556.11

Н. М. Иванютин

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь,
Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПО ОЧИСТКЕ ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИЮ ОБРАТНОГО ОСМОСА

Основной целью исследования является расчет ориентировочной технической, экономической и экологической эффективности способа получения чистой воды с ис-

пользованием технологии обратного осмоса, так как часть населения Крыма использует для питьевых целей привозную или минерализованную подземную воду, которая не всегда является безопасной для здоровья и требует доочистки. Для исследований использовались воды различного химического состава и происхождения (поверхностные и подземные), которые были отобраны в различных районах Крыма. Вода очищалась использующей технологию обратного осмоса установкой RO-50B-DR фирмы Aquavis. В результате проведенных исследований установлен уровень очистки воды установкой по основным нормируемым компонентам, проведено сравнение полученных результатов химических анализов с требованиями, которые предъявляются к водам, используемым для целей питьевого водоснабжения, а также рассчитано КПД установки и затраты электроэнергии на подготовку определенного объема воды.

Ключевые слова: водообеспечение, поверхностные и подземные воды, химическое загрязнение, опреснение, обратный осмос.

N. M. Ivanyutin

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

INVESTIGATION OF OPERATIONAL EFFICIENCY OF WATER TREATMENT INSTALLATION USING THE TECHNOLOGY OF REVERSE OSMOSIS

The main aim of research is to calculate the tentative technical, economic and environmental method efficiency for obtaining clean water using reverse osmosis technology, since part of the population of Crimea uses imported or mineralized groundwater for drinking purposes, which is not always safe for health and requires additional treatment. For the research, waters of different chemical composition and origin (surface and subsurface) selected in various regions of the Crimea were used, Water was purified by Aquavis RO-50B-DR installation using reverse osmosis technology. As a result of conducted research the level of water purification according to the main standard components by the installation was determined, the results of chemical analyzes with the requirements for drinking water were compared, as well as the efficiency of installation and the cost of electricity for preparing a certain volume of water was calculated.

Key words: water supply, surface and groundwater, chemical pollution, desalination, reverse osmosis (hyperfiltration).

Введение. Возрастающее загрязнение поверхностных и подземных водных ресурсов Крыма является экологической проблемой, которая еще больше обострилась после перекрытия Северо-Крымского канала и увеличения использования только местных источников водоснабжения. Для Крыма проблема недостатка пресной воды всегда была актуальной из-за засушливого климата и особенностей развития речной сети. Поверхностные воды имеют очень большое хозяйственно-питьевое и сельскохозяйственное значение [1]. Кроме поверхностных вод частью населения Крыма, особенно в северной, западной и центральной частях полуострова, для удовлетворения питьевых нужд интенсивно используются подземные источники водоснабжения. Однако бесконтрольный отбор поверхностных и подземных вод может привести к ухудшению качественных и количественных характеристик особо ценных в экономической и социальной сфере, главным образом в питьевом и хозяйственно-бытовом водоснабжении населения Республики Крым, ресурсов [2]. Так, при норме содержания солей 1,0–1,5 г/дм³ в районе г. Саков, Евпатории, пгт Черноморское, в Нижнегорском, Красноперекопском и Джанкойском районах фиксируются очаги превышения минерализации до 2 г/дм³, а в центральной, северной и северо-восточной частях полуострова минерализация достигает 5 г/дм³. В окрестностях Симферополя фиксируется мощное нитратное загрязнение подземных водоносных горизонтов, а в районе Севастополя и ЮБК – бактерио-

логическое. Использовать такую воду для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения без дополнительной подготовки нельзя, так как она нанесет вред не только экологии полуострова, но и здоровью населения [3].

Чтобы изучить возможность очистки вод с помощью технологии обратного осмоса, в данной работе исследуется вопрос экономической, технической и экологической эффективности лабораторной установки водоподготовки.

Материалы и методы. Экспериментальная часть настоящего исследования проведена в отделе водосбережения, мониторинга и альтернативного водообеспечения ФГБУН «НИИСХ Крыма». Для достижения поставленной цели и проведения испытаний в лабораторных условиях институтом была приобретена и укомплектована установка (рисунок 1) по доочистке воды с использованием технологии обратного осмоса RO-50B-DR фирмы Aquavis. Данная установка предназначена для фильтрации небольших объемов воды для бытовых нужд. Подобные установки пользуются широким спросом у населения. Производительность установки равна 180 л/сут. Максимальное солесодержание в исходной воде 1500 мг/дм³.

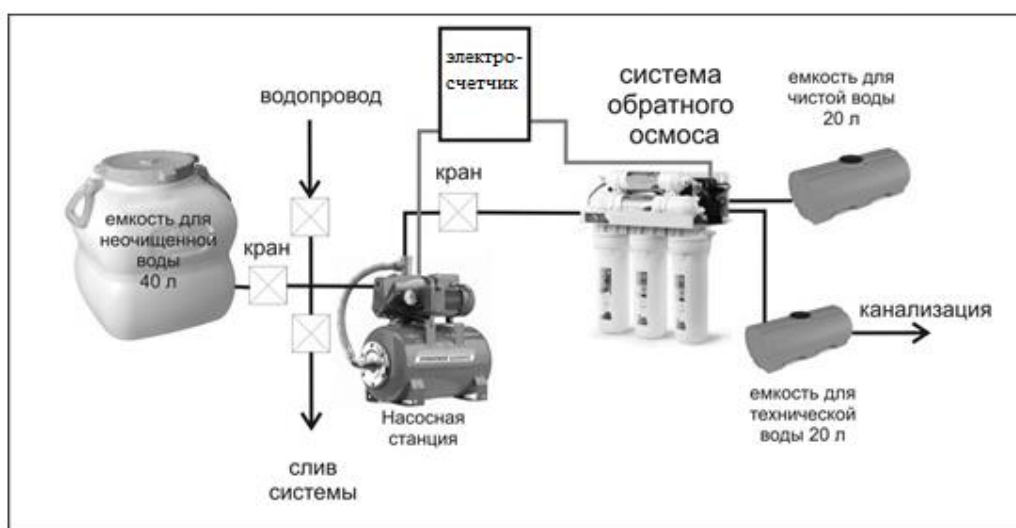


Рисунок 1 – Лабораторная установка для очистки воды с использованием технологии обратного осмоса

Объектом исследования были воды различного химического состава и происхождения (воды поверхностных и подземных источников).

Отбор проб воды производился в соответствии с требованиями к воде, подаваемой в систему очистки. Для опытов были отобраны пробы воды объемом 40 л в каждой точке. Отбор проб производился согласно ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». В связи со сложностью доставки необходимых объемов воды различного химического состава из разных районов полуострова и способностью экспериментальной установки очищать воду с минерализацией до 1,5 мг/дм³ было принято решение использовать в качестве исходной воды также техническую воду, полученную в процессе водоподготовки.

Исходная вода в объеме 40 л через фильтр помещалась в резервуар (емкость неочищенной воды), из которого посредством насосной станции подавалась на установку по доочистке (RO-50B-DR фирмы Aquavis), где происходило ее разделение на чистую и грязную (техническую). Объем полученной чистой и технической воды измерялся и заносился в журнал первичной документации. Одновременно при помощи электросчетчика замерялись затраты электроэнергии на получение единицы объема очищенной воды. Полученные в процессе опыта образцы воды, каждый объемом 1 л, сдавались на анализ в химико-аналитическую лабораторию.

После всех циклов по доочистке исследуемых образцов воды была проведена статистическая обработка полученных результатов и расчеты:

- *химический анализ воды*. Для определения степени очистки воды лабораторной установкой был произведен ее отбор из трех отдельно расположенных емкостей: исходной воды, очищенной воды, сбросной (технической) воды – в объемах 1 л из каждого резервуара.

Анализы были проведены в лаборатории агрохимических исследований ФГБУН «НИИСХ Крыма» по следующим компонентам: сухой остаток, взвешенные вещества, электропроводность, рН, HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ .

После получения результатов химического анализа был проведен расчет пригодности воды для питьевых целей. Расчеты осуществлены по общепринятым в РФ методикам и стандартам, в зависимости от источников воды (поверхностные или подземные воды). Оценка пригодности данных вод после доочистки для питьевых целей проведена в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 и СанПиН 2.1.4.1175-02;

- *объемный анализ воды*. Для определения КПД установки проведен количественный анализ воды, основанный на сравнении полученных объемов исходной, очищенной и сбросной воды;

- *затраты электроэнергии на проведение доочистки воды*. Для определения затрат электроэнергии на проведение очистки определенного объема воды лабораторная установка была подключена к электроснабжению через электрический счетчик, с которого снимались показания до начала работы установки и после завершения опыта.

На заключительном этапе работ, после сбора и обработки необходимого количества данных произведен расчет ориентировочной технической и экономической эффективности использования данного способа получения воды, а также определено возможное его воздействие на окружающую среду вследствие получения технической воды повышенной минерализации, которую необходимо утилизировать.

Результаты и обсуждение.

Химический анализ воды. В таблице 1 приведены полученные данные химического анализа вод, которые прошли очистку на лабораторной установке. Воды отбирались из поверхностных и подземных источников.

Как видно из данных таблицы 1, все воды за исключением проб № 3 и 9 (по показателю «сухой остаток») соответствовали нормативу СанПиН. Однако по нормативам физиологической полноценности во всех пробах без исключения наблюдалось либо превышение содержания отдельных компонентов, либо их недобор.

В таблице 2 приведены результаты анализа полученной в процессе очистки чистой воды и ее соответствие нормативным показателям.

Как видно из данных таблицы 2, все пробы воды без исключения по большинству показателей не соответствуют нормативам физиологической полноценности, так как имеют заниженное содержание необходимых компонентов.

Влияние минерального состава воды, структуры и физико-химических свойств на организм огромен и постоянно изучается. Известно, что минеральные вещества в отличие от белков, жиров и углеводов не обладают энергетической ценностью. Однако без них жизнь человека невозможна, хотя они не синтезируются в организме человека, а поступают в него вместе с питанием. Так, например, использование в питьевых целях маломинерализованных (ультрапресных) вод способствует развитию хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы, почек, желудочно-кишечного тракта, отклонений в обмене веществ. Употребление такой воды обуславливает отставание физического развития у детей, беременных женщин, регистрируются такие осложнения, как анемия, отеки, гипертония. Постоянное употребление ультрапресных вод вызывает вегетососудистую дистонию, связанную с дефицитом калия, кальция, магния, марганца и других микроэлементов.

Таблица 1 – Результаты химического анализа проб исходной воды и их соответствие нормативным показателям

№ опыта	Место отбора пробы	Сухой остаток	В мг/дм ³							
			HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻
ПДК по СанПиН 2.1.4.1074-01		1000	нн	45	350	нн	50	10-20	200	500
Норматив физиологической полноценности питьевой воды по СанПиН 2.1.4.1116-02		200-500	30-400	5-20	70-100	25-130	5-65	2-20	70-100	5-30
1	Водопровод, г. Симферополь	220	220	20,0	30	84	20	4,0	8	Сл.
2	Колодец, г. Симферополь	780	354	39,0	77	144	42	3,0	43	97
3	Техническая вода после № 2	1052	427	46,8	100	180	48	4,0	60	112
4	р. Ангара, с. Перевальное	256	171	3,0	35	50	11	1,5	8	3
5	Техническая вода после № 4	428	214	5,0	42	68	35	2,0	10	Сл.
6	Техническая вода после № 5	574	244	5,0	53	80	30	3,0	14	16
7	Скважина, с. Укромное	744	329	15,0	82	118	23	4,0	42	78
8	Техническая вода после № 7	894	421	17,0	106	154	26	5,0	50	108
9	Техническая вода после № 8	1210	512	19,0	92	190	36	7,2	73	151
638 – превышение физиологической полноценности; 8,40 – превышение по СанПиН.										

Таблица 2 – Результаты химического анализа проб очищенной воды и их соответствие нормативным показателям

№ опыта	Сухой остаток	В мг/дм ³								
		HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	
ПДК по СанПиН 2.1.4.1074-01		1000	нн	45	350	нн	50	10-20	200	500
Норматив физиологической полноценности питьевой воды по СанПиН 2.1.4.1116-02		200-500	30-400	5-20	70-100	25-130	5-65	2-20	70-100	5-30
1	12	61	12,0	39	10	4,0	1,5	2	Сл.	
2	80	43	6,8	20	20	8,0	1,0	8,0	3	
3	88	37	13,2	27	10	4,0	1,0	11,0	3	
4	54	61	5,0	25	20	4,0	0,5	2,0	Сл.	
5	58	61	4,7	25	20	5,0	0,5	4,0	Сл.	
6	56	61	5,9	25	20	4,0	0,5	4,0	Сл.	
7	128	61	11,0	21	12	2,5	1,2	10,0	Сл.	
8	134	73	14,0	25	13	3,0	1,2	8,5	Сл.	
9	154	98	5,0	28	18	2,4	1,2	8,0	Сл.	
638 – ниже норм физиологической полноценности.										

Для предотвращения негативного воздействия на организм и возможности развития многих заболеваний, связанных с употреблением питьевой воды ненадлежащего качественного состава, существует необходимость внедрения современных технологий водоподготовки как на централизованных станциях водоподготовки, так и в частных домовладениях, которые способны не только изменять ее солевой состав в сторону уменьшения концентрации некоторых элементов, но и обогащать наиболее важными компонентами до требуемых концентраций. Для частных домовладений, использующих для питьевых целей воду из скважин и колодцев, таким решением могут служить установки по очистке воды на основе технологии обратного осмоса и нанофильтрации и имеющие в комплекте фильтр-минерализатор, который на последней стадии очистки насыщает воду всеми необходимыми микроэлементами.

Объемный анализ воды. Для изучения КПД установки было проведено 11 испытаний, за время которых измерялся объем воды, поступающий в различные накопительные емкости. Затем объемы технической и чистой воды сравнивались и рассчитывался КПД установки по выходу чистой воды (таблица 3). Исследования проводились с разными объемами исходной воды.

Таблица 3 – КПД установки по выходу чистой воды

№ опыта	Объем воды, л			КПД по выходу чистой воды, %	Среднее значение КПД, %
	исходный	чистая	техническая		
1	28,5	8,5	20,0	29,8	29,4
2	30,0	8,0	22,0	26,7	
3	27,0	7,0	27,0	25,9	
4	30,0	10,0	20,0	33,3	
5	15,0	5,0	10,0	33,3	
6	25,0	8,0	17,0	32,0	
7	10,0	3,0	7,0	30,0	
8	30,0	9,0	21,0	30,0	
9	20,0	5,5	14,5	27,5	
10	34,0	9,5	24,5	27,9	
11	22,5	6,0	16,5	26,7	

Из анализа данных таблицы 3 видно, что, хотя объемы исходной воды были разными, КПД установки варьировал в диапазоне 25,9–33,3 %. Средняя величина равна 29,4 %. Т. е. при получении 1 м³ чистой воды на такой установке мы получим около 3,3 м³ технической воды, которая попросту сливается в канализацию. Конечно, промышленные установки имеют более высокий КПД, равный 50–75 %. Т. е. при получении 1 м³ чистой воды мы будем иметь приблизительно от 0,3 до 1,0 м³ сильно концентрированного рассола.

Как утилизировать этот рассол – это вопрос экологической безопасности полуострова. В приморской зоне можно сбрасывать рассол в море, в канализованных районах полуострова – сливать в канализацию. А если нет ни моря, ни канализации, как в большей части регионов полуострова, которая и испытывает наибольший дефицит водных ресурсов, что с ним делать? Вопрос открытый. Есть проекты по использованию рассола для производства косметических средств, пищевой соли и т. д. Однако это влечет за собой необходимость создания всей инфраструктуры от сбора, хранения, транспортировки до производства готового продукта [3].

Эта проблема требует всестороннего исследования с целью найти наиболее экологически и экономически выгодный способ утилизации рассола без вреда для экологии полуострова.

Затраты электроэнергии на подготовку воды. В процессе исследований были определены затраты электроэнергии на проведение очистки определенного объема воды (таблица 4).

Таблица 4 – Расчет затрат электроэнергии на проведение очистки определенного объема воды

№ опыта	Объем чистой воды, л	Время работы установки, мин	Расход электроэнергии, кВт·ч	Расход электроэнергии на подготовку 1 м ³ воды, кВт·ч	Средний расход электроэнергии на подготовку 1 м ³ воды, кВт·ч
4	10,0	33	0,020	2,00	1,92
5	5,0	20	0,010	2,00	
7	3,0	14	0,005	1,67	
8	9,0	38	0,020	2,22	
9	5,5	26	0,010	1,82	
10	9,5	33	0,020	2,09	
11	6,0	20	0,010	1,67	

Следует отметить, что при использовании в условиях наличия централизованного водопровода и достаточного давления в системе установка не нуждается в подключении к электричеству и не расходует электроэнергию.

Как видно из данных таблицы 4, расходы электроэнергии на очистку различных объемов чистой воды в эксперименте варьировали в пределах 0,005–0,02 кВт·ч. Расход электроэнергии на подготовку 1 м³ воды находился в пределах 1,67–2,22 кВт·ч при среднем значении 1,92 кВт·ч. Эти данные сходятся со сведениями, предоставляемыми производителями установок по очистке воды с использованием технологии обратного осмоса. Установка производительностью 0,6 м³/ч для подготовки 1 м³ воды расходует 2,2 кВт·ч, а установка мощностью 1 м³/ч расходует 1,6 кВт·ч электроэнергии.

По сведениям крымских компаний, производящих и реализующих данное оборудование [3], чем выше производительность установок, тем ниже затраты электроэнергии на очистку 1 м³ воды. У установок мощностью 10 м³/ч и выше затраты электроэнергии опускаются ниже 1 кВт·ч. Также немаловажно и то, что при увеличении солености в исходной воде энергопотребление установок также будет увеличиваться. Так, например, на удаление 1 кг соли необходимо около 2 кВт·ч электроэнергии.

Исходя из приведенных сведений, можно сказать, что использовать данные установки для водообеспечения можно в канализованных районах полуострова. Наиболее перспективными могут быть проблемный Феодосийско-Судакский регион, Керченский полуостров, а также Западный и Северо-Западный Крым. А вот использование данной технологии в населенных пунктах, где отсутствует канализация, будет проблематично ввиду необходимости утилизации большого количества высококонцентрированного рассола.

Заключение. Все пробы полученной чистой воды без исключения соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, однако в то же время по большинству показателей они не соответствуют нормативам физиологической полноценности, так как имеют заниженное содержание необходимых компонентов.

Для предотвращения негативного воздействия на организм и возможности развития многих заболеваний, связанных с употреблением питьевой воды ненадлежащего качественного состава, существует необходимость внедрения современных технологий водоподготовки как на централизованных станциях, так и в частных домовладениях, которые способны не только изменять ее солевой состав в сторону уменьшения концентрации некоторых элементов, но и обогащать наиболее важными компонентами до требуемых концентраций. Для частных домовладений, использующих для питьевых целей воду из скважин и колодцев, таким решением могут служить установки по очистке воды на основе технологии обратного осмоса и нанофильтрации и имеющие в комплекте фильтр-минерализатор, который на последней стадии очистки насыщает воду всеми необходимыми микроэлементами.

КПД лабораторной установки варьировал в диапазоне 25,9–33,3 %. Средняя величина равна 29,4 %. Т. е. при получении 1 м³ чистой воды на такой установке образуется около 3,3 м³ технической воды, которая попросту сливается в канализацию. Конечно, промышленные установки имеют более высокий КПД – 50–75 %, и при получении 1 м³ чистой воды образуется приблизительно от 0,3 до 1,0 м³ сильно концентрированного рассола. Как и куда его утилизировать – вопрос пока открытый. Главное, чтобы способ был экологически безопасным для полуострова.

Расход электроэнергии на подготовку различных объемов чистой воды варьировался в пределах 0,005–0,02 кВт·ч. Расход электроэнергии на подготовку 1 м³ воды находился в пределах 1,67–2,22 кВт·ч при среднем значении 1,92 кВт·ч. Эти данные сходятся со сведениями, предоставляемыми производителями установок по очистке воды с использованием технологии обратного осмоса.

На следующем этапе планируется провести исследования с использованием фильтров-минерализаторов, которые на последней стадии очистки должны насытить получаемую чистую воду всеми необходимыми микроэлементами в соответствии с нормативами РФ.

Список использованных источников

1 Иванютин, Н. М. Влияние антропогенной деятельности на качественные характеристики вод реки Салгир и их оценка по степени пригодности для целей орошения / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 24–29.

2 Иванютин, Н. М. Влияние антропогенной деятельности на подземные воды Крыма / Н. М. Иванютин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(59). – С. 25–31.

3 Иванютин, Н. М. Возможность использования слабоминерализованных поверхностных и подземных вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения в Крыму / Н. М. Иванютин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 106–111.

УДК 631.347

А. Е. Шепелев

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

ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ ШИРОКОЗАХВАТНОЙ МНОГООПОРНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье раскрыт вопрос характеристик показателей искусственного дождя, создаваемого при поливе широкозахватной многоопорной дождевальной техникой, для оценки которых существуют такие понятия, как интенсивность выпадения капель дождя, равномерность распределения по площади полива, структура капель искусственного дождя и состав по размерам и скорости падения. В результате исследований установлено, что при постоянном диаметре капель и при подаче одной и той же нормы полива с увеличением интенсивности дождя возникает и постепенно усиливается вредное влияние дождя на структуру почвы. А для случаев постоянной нормы полива и интенсивности с увеличением диаметра капель появляется и постепенно увеличивается вредное воздействие дождя. При одновременном увеличении интенсивности дождя и крупности капель активность процесса вредного воздействия дождя на почву возрастает. По мере удаления струи от сопла органов дождеобразующих устройств широкозахватной многоопорной дождевальной техники увеличивается размер капель и интенсивность по сечению эллипса орошения, поэтому если в начале

струи имеет место удовлетворительное качество дождя, то по мере удаления от сопла оно ухудшается. При интенсивности искусственного дождя, превышающей впитывающую способность почвы, образуются лужи и происходит поверхностный сток.

Ключевые слова: характеристика, искусственный дождь, широкозахватная многоопорная дождевальная техника, интенсивность, полив.

A. Ye. Shepelev

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

RESEARCH OF THE ARTIFICIAL RAIN CHARACTERISTICS OF WIDE SPRAY MULTI-TOWER SPRINKLING MACHINES

The problem of artificial rain performance indicators created during irrigation with a wide-spray multi-tower sprinkling machines is revealed; for their assessment such concepts as the intensity of rain drops precipitation, the uniformity of water distribution over the irrigation area, the structure of artificial rain drops, and composition by size and fall velocity are used. As a result of the research, it has been found that the adverse rain effect on the soil structure appears and gradually increases at a constant droplet diameter and the same irrigation norm with the increase of rainfall intensity. And for cases of a constant rate of watering and intensity the harmful effect of rain appears and gradually increases with increasing droplet diameter. At a simultaneous increase in the rainfall intensity and the droplets size, the activity of the harmful rainfall effect on soil grows. As the jet is removed from the nozzle of the rain-making devices of the wide-spray multi-towered sprinkling machines, the droplets size and the intensity along the irrigation ellipse section increase, so if there is satisfactory quality of the rain at the beginning of the jet, then as it moves away from the nozzle, it deteriorates. When the intensity of artificial rain exceeds the absorbing capacity of soil, puddles are formed and surface runoff occurs.

Key words: characteristics, artificial rain, wide-spray multi-tower sprinkling machines, intensity, irrigation.

При работе широкозахватной многоопорной дождевальной техники наиболее важным элементом полива является качество дождя. Рабочие органы дождеобразующих устройств предназначены для преобразования водного потока в дождевые капли, транспортирования капель на определенные расстояния и распределения их по площади полива.

Для оценки характеристик качества искусственного дождя, создаваемого при поливе широкозахватной многоопорной дождевальной техникой, существуют такие понятия, как интенсивность выпадения капель дождя, равномерность распределения по площади, структура его капель и состав по размерам и скорости падения.

А. Н. Костяков, В. А. Вельбовец, К. В. Губер, А. П. Исаев, А. М. Пospelов отметили, что при дождевании главными показателями искусственного дождя являются его структура и интенсивность [1–7].

Немаловажным фактором является и необходимость создания дождя с интенсивностью, не превышающей скорость впитывания воды данной почвой. Вопросом скорости впитывания воды в почву при дождевании занимались А. М. Ларионова, Г. В. Ольгаренко, А. М. Пospelов и др. [7–10].

По данным исследований К. Т. Дадио и А. В. Валлендер [11], направленных на определение размера капель дождя и выявление характера его распределения, установлено, что во всех случаях с увеличением расстояния от дождеобразующих устройств размер капель дождя возрастал.

Однако известно, что средняя интенсивность дождя у широкозахватной много-

опорной дождевальной техники находится в пределах 0,2–1,0 мм/мин. В то же время дождь, создаваемый различной поливной техникой, оказывает различное влияние на почву с точки зрения впитывания воды, разрушения почвенных агрегатов, образования луж и стока. Так, Т. Н. Раджаб [12], изучая влияние размеров капель искусственного дождя, установил, что время образования поверхностного стока с почвы уменьшалось с увеличением высоты падения или интенсивности дождя.

При одинаковой средней интенсивности дождя у среднеструйных и короткоструйных дождеобразующих устройств воздействие по разрушению почвенных агрегатов изменяется в 2–3 раза. Д. М. Кервалишвили [13], приводя зависимости водной эрозии почвы, установил, что сток увеличивался с увеличением прочности поверхности почвы, диаметра капель, скорости падения капель, концентрации капель дождя.

Одним из важнейших факторов свободной инфильтрации воды в почву является крупность капель дождя. При работе среднеструйных устройств поливная норма 500 м³/га может быть подана до луж и стока при объемной массе пахотного слоя 1,1 г/см³ дождем интенсивностью 0,59 мм/мин и после уплотнения почвы до 1,4 г/см³ и 0,14 мм/мин соответственно.

По данным Т. Н. Раджаб [12], поверхностный сток на оголенной почве в несколько раз выше, чем под растительным покровом. Например, на оголенной поверхности сток составил 17 %, в лесу же при поверхностном слое из гумуса – 4 %, из хвойных игл – 1 %.

Согласно исследованиям Д. М. Кервалишвили, О. С. Наниташвили [13], сравнение прерывистого дождевания с непрерывным при одинаковых почвенных и рельефных условиях показало, что при перерывах от 10 до 30 мин (при уменьшении средней интенсивности дождя и уклонах поливаемой площади от 5 до 22°) скорость впитывания увеличивается в среднем в 1,25–2,0 раза. Применяя трехкратное и двукратное регулирование дождя на уклонах 0–15°, можно дать поливную норму от 265 до 540 м³/га.

Исследования характеристик искусственного дождя показывают, что под воздействием капель дождя почвенные агрегаты в поверхностном слое на глубину 2–3 см разрушаются, происходит заплывание почвы, в результате чего скорость поглощения воды почвой снижается. Разрушение почвенных частиц происходит тем больше, чем больше интенсивность искусственного дождя и крупнее капли. Результаты этих исследований положены в основу разработки агротехнических требований к дождевальной технике, программ и методов ее испытаний, т. е. в основу выбора характеристик искусственного дождя, которыми оценивается его качество [14, 15]. Сущность этих испытаний заключается в том, что на выбранном участке производится полив дождеванием (при известной интенсивности и размере капель), при этом фиксируется время от начала дождевания до момента образования на поверхности почвы слоя воды (до появления луж), т. е. фиксируется продолжительность безнапорной фильтрации. Наблюдениями определяются зависимости времени дождевания от интенсивности и размера капель искусственного дождя [16].

При непрерывном дождевании принято считать нормальным полив, при котором не происходит образования луж. Если осуществляется прерывистое дождевание, то нормальным будет полив, при котором не происходит стока. В случаях такого полива не произойдет смыва почвы и будет обеспечено равномерное увлажнение. Нормальный полив будет обеспечен, если интенсивность искусственного дождя не будет превосходить скорость впитывания.

Для того чтобы дать оценку явлению, когда при одних и тех же параметрах (интенсивности и крупности капель) искусственных и естественных дождей эти дожди существенно отличаются между собой с точки зрения водной эрозии, проведем сравнение характеристик естественного (таблица 1) и искусственного (таблица 2) дождя [17].

Согласно данным таблиц 1 и 2 между искусственным и естественным дождем

имеются сходства и различия. По интенсивности дождя дождевальные машины попадают в категории от сильного дождя до ливня. В то же время по концентрации дождя и скорости капель искусственный дождь, создаваемый широкозахватной многоопорной дождевальной техникой, попадает в категорию от легкого до сильного дождя.

Таблица 1 – Характеристика естественного дождя

Характеристика дождя	Интенсивность дождя, мм/мин	Диаметр капель, мм	Скорость падения капель, м/с	Концентрация дождя $n \cdot 10^{-7}$, м ³ /мин	Количество капель, м ³
Морозящий	0,0064	0,20	0,75	1,42	34026
Легкий	0,0160	0,45	2,00	1,33	2791
Умеренный	0,0660	1,00	4,00	2,75	525
Сильный	0,2500	1,50	5,00	8,33	472
Очень сильный	0,6600	2,10	6,70	16,40	338
Ливень	1,6700	5,00	8,00	34,90	53

Таблица 2 – Характеристика искусственного дождя

Марка поливной техники	Интенсивность дождя, мм/мин	Диаметр капель, мм	Скорость падения капель, м/с	Концентрация дождя $n \cdot 10^{-7}$, м ³ /мин	Количество капель, м ³
ДМ «Кубань-ЛШ»	0,50	1,0–1,8	4,5	11,5	2890
ДМ «Кубань»	1,01	0,5–1,1	2,3	13,5	8360
МДШ-30/275	0,50	1,0–1,7	4,5	18,5	3533
ДМ «Фрегат»	0,18	1,0–1,6	4,5	8,5	1625
ДМ «Ладога»	0,65	1,0–1,5	4,5	24,0	4543
ДМ «Волжанка»	0,30	1,5–2,8	4,5	11,2	3484
ДМ «Днепр»	0,67	1,2–1,9	4,6	24,0	4593

Весьма существенно, что время выпадения естественных осадков составляет от 30–40 мин при ливнях до нескольких суток при морозящих дождях, а при использовании поливной техники дождь может выпадать на данную точку поля от 1,5 мин у дождевальной машины «Фрегат» до 240 мин у дождевальной машины «Волжанка» при поливной норме (m), равной 600 м³/га. Иными словами, время воздействия на почву у широкозахватной многоопорной дождевальной техники значительно меньше, чем при выпадении естественных осадков в виде дождя.

Очень существенно то обстоятельство, что при искусственном и естественном дожде имеются различия в формировании микроклимата. Естественный дождь создает глобальный эффект, так как его влияние распространяется на большую территорию, а при дождевании создается локальный эффект. Микроклимат при дождевании возвращается к исходному состоянию после 2–4 сут, а при естественном дожде – после 5–8 сут, что существенно влияет на рост растений и создание влагозапасов.

Экспериментально установлено, что прерывистое дождевание позволяет увеличить поливную норму без снижения производительности широкозахватной многоопорной дождевальной техники. При прерывистом дождевании слой дождя, выпавший за один проход поливной машины, должен впитываться до начала следующей дождевой полосы.

Было установлено, что для каждой почвы существует предельно допустимая величина разового слоя осадков, при которой перерывы в дождевании приводят к увеличению поливной нормы в сравнении с позиционным непрерывным дождеванием. При этом выяснилось, что чем больше истинная (действительная) интенсивность дождя, тем меньше должен быть его разовый слой. Этими же экспериментами было установлено, что влияние перерывов в дождевании тем эффективнее, чем меньше действи-

тельная интенсивность искусственного дождя и время его однократного воздействия. Перерывы в дождевании при поливе разовым слоем дождя, превышающим величину впитывания, не дают эффекта увеличения нормы полива. В этом случае полив можно сравнивать с позиционным поливом.

При интенсивности искусственного дождя, превышающей впитывающую способность почвы, образуются лужи и происходит поверхностный сток, что приводит к разрушению структуры, ухудшению водно-физических свойств почвы и развитию эрозии поверхностного слоя почвы.

Капли дождя, падая на поверхность почвы, оказывают динамическое воздействие, разрушая почвенные агрегаты на мелкие частицы, разбрызгивая их по сторонам. Решающее значение имеет энергия падающих капель, интенсивность и продолжительность дождя. Разрушение агрегатов и отделение от них механических элементов наблюдается тем сильнее, чем больше интенсивность дождя, чем крупнее его капли и выше их скорость падения [18]. При затоплении поверхности тонким слоем воды возникает добавочная турбулентность и взмучивание частиц. Стекающие потоки воды подхватывают их и уносят вниз по склону. Однако при наличии растительности разбрызгивание прекращается почти полностью.

С увеличением интенсивности дождя уменьшаются глубина промачивания, степень увлажнения почвы после полива и число структурных водостойких агрегатов почвы крупнее 1 мм.

Структура почвы сохраняется при интенсивности дождя 0,1–0,15 мм/мин. Превышение этой интенсивности допустимо: для плохопроницаемых почв – до 0,2 мм/мин, для среднепроницаемых – до 0,2–0,3 мм/мин и для легкопроницаемых – до 0,5–0,8 мм/мин. Средний диаметр капель не должен превышать 2 мм.

Как видно из данных таблицы 2, интенсивность большинства дождевальных машин превышает скорость впитывания воды в почву. Однако далеко не всегда это означает, что полив с помощью данных дождевальных машин происходит с образованием луж. Кроме того, для характеристики искусственного дождя необходимо иметь карту распределения дождя, создаваемого широкозахватной многоопорной дождевальной техникой на одной позиции.

Процесс впитывания при дождевании имеет свои особенности в зависимости от интенсивности дождя и особенностей подачи воды на увлажняемую с одной позиции поверхность почвы. На допустимую скорость впитывания воды в почву при дождевании в значительной степени влияет большое количество факторов, которое условно можно разбить на две группы:

- факторы, которые зависят от качества дождя, в первую очередь интенсивности и крупности капель;
- факторы, зависящие от водно-физических свойств почвы и обработки ее поверхности.

Исходя из анализа исследований характеристик искусственного дождя широкозахватной многоопорной дождевальной техники, можно заключить следующее:

- время воздействия на почву у широкозахватной многоопорной дождевальной техники значительно меньше, чем при выпадении естественных осадков в виде дождя;
- естественный дождь создает глобальный эффект, так как его влияние распространяется на большую территорию, а при дождевании создается локальный эффект;
- при постоянном диаметре капель и при подаче одной и той же нормы полива с увеличением интенсивности дождя возникает и постепенно усиливается вредное влияние дождя на структуру почвы;
- для случаев постоянной нормы полива и интенсивности с увеличением диаметра капель появляется и постепенно увеличивается вредное воздействие дождя;
- при одновременном увеличении интенсивности дождя и крупности капель активность процесса вредного воздействия дождя на почву возрастает;

- по мере удаления струи от сопла увеличивается размер капель и интенсивность по сечению эллипса орошения, поэтому если в начале струи имеет место удовлетворительное качество дождя, то по мере удаления от сопла оно ухудшается;
- для каждой почвы существует предельно допустимая величина разового слоя осадков, при которой перерывы в дождевании приводят к увеличению поливной нормы;
- при интенсивности искусственного дождя, превышающей впитывающую способность почвы, образуются лужи и происходит поверхностный сток.

Список использованных источников

- 1 Костяков, А. Н. Основы мелиораций / А. Н. Костяков. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Сельхозиздат, 1960. – 622 с.
- 2 Вельбовец, В. А. О дождевой воде на орошаемых полях и допустимой интенсивности искусственного дождя / В. А. Вельбовец // Повышение эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. – Одесса, 1974. – С. 34–45.
- 3 Губер, К. В. Дождевальные машины и их применение / К. В. Губер. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 70 с.
- 4 Исаев, А. П. Гидравлика дождевальных машин / А. П. Исаев. – М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.
- 5 Исаев, А. П. Оценка технологических возможностей дождевальной техники на основе определения допустимых норм полива / А. П. Исаев // Улучшение эксплуатации оросительных систем и планировка орошаемых земель. – М.: Колос, 1982. – С. 67–78.
- 6 Пospelов, А. М. Структура дождя при искусственном дождевании сельскохозяйственных культур / А. М. Пospelов // Дождевание: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М.: Наука, 1940. – Т. 3. – С. 117–186.
- 7 Пospelов, А. М. Дождевание / А. М. Пospelов. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 168 с.
- 8 Ларионова, А. М. Полив дождеванием без поверхностного стока / А. М. Ларионова // Защитное лесоразведение и мелиорация земель в степных и лесостепных районах России. – Волгоград, 1998. – С. 162–164.
- 9 Ольгаренко, Г. В. Приемы предотвращения водной эрозии при поливе ДМ «Фрегат» / Г. В. Ольгаренко // Проблемы ирригации в Ростовской области: тез. докл. науч.-теорет. конф. – Новочеркасск, 1995. – С. 92–105.
- 10 Ольгаренко, Г. В. Приемы предотвращения эрозии при поливе ДМ «Фрегат» / Г. В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 4. – С. 27–34.
- 11 Дадио, К. Т. Определение размера капель дождя и выявление характера его распределения / К. Т. Дадио, А. В. Валлендер // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 10. – С. 23–34.
- 12 Раджаб, Т. Н. Исследование влияния интенсивности дождя на время затопления поверхности почвы / Т. Н. Раджаб // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 2. – С. 12–19.
- 13 Кервалишвили, Д. М. Результаты исследования допустимой интенсивности дождя, прерывистого дождевания и регулирования интенсивности дождя / Д. М. Кервалишвили, О. С. Наниташвили // Труды ГрузНИИГиМ. – Тбилиси, 1971. – Вып. 28. – С. 194–201.
- 14 СТО АИСТ 11.1-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей. – Взамен СТО АИСТ 11.1-2004; введ. 2012-04-15. – М.: Минсельхоз России, 2012. – 53 с.
- 15 ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 27 с.
- 16 Кузнецова, Е. И. Орошаемое земледелие: учеб. пособие / Е. И. Кузнецова, Е. Н. Закабунина, Ю. Ф. Снопич. – М.: РГАЗУ, 2012. – 117 с.

17 Воеводина, Л. А. Структура почвы и факторы, изменяющие ее при орошении / Л. А. Воеводина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 1(21). – С. 134–154. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec398-field6.pdf.

18 Жук, С. Л. К вопросу оценки качества искусственного дождя / С. Л. Жук // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 187–191.

УДК 631.42:631.6

Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, Г. Т. Балакай, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ РАЙГОРОДСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Цель исследований – изучить состояние почвенного покрова Райгородской оросительной системы после 6-летнего освоения его в орошаемом режиме. Объект исследования – бурые полупустынные почвы. Орошение проводится водой с минерализацией менее 1 г/дм³. Образцы почв проанализированы для определения водно-физических и физико-химических свойств, содержания гумуса, его группового состава и количества питательных элементов. Результаты полевых исследований, проведенных до поливов в марте 2017 г., указывают на значительную неоднородность почвенного покрова бурых полупустынных почв и на большую изменчивость многих показателей, особенно в верхнем 40-сантиметровом слое. При разработке мероприятий по восстановлению плодородия таких почв требуется дифференцированный подход к каждому полю.

Ключевые слова: почвенный покров, неоднородность, орошение, свойства почв, гумус, питательные элементы.

L. M. Dokuchaeva, R. Ye. Yurkova, G. T. Balakay, A. N. Babichev, V. A. Monastyrskiy
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, NovoCherkassk,
Russian Federation

SOIL COVER OF THE RAYGORODSKAYA IRRIGATION SYSTEM

The aim of research is to study the state of soil cover of the Raygorodskaya irrigation system after 6 years of its development in the irrigated regime. The object of investigation is brown semi-desert soils. Irrigation is carried out with water with mineralization less than 1 g per dm cubic. Soil samples are analyzed to determine the hydrophysical and physico-chemical properties, the humus content, its group composition and the number of nutrient elements. The results of field studies conducted before irrigation in march 2017 indicate a significant heterogeneity in soil cover of brown semi-desert soils and the large variability of many indicators, especially in the upper 40 cm layer. The development of measures to restore the fertility of such soils requires the differentiated approach to each field.

Key words: soil cover, heterogeneity, irrigation, soil properties, humus, nutrients.

Введение. Одним из мелиоративных приемов оптимизации водного режима почв для возделывания сельскохозяйственных культур является орошение. Однако при несоответствии техники полива и режимов орошения свойствам почв наблюдается целый ряд негативных почвенных процессов. Для предупреждения их возникновения необходимо знать особенности почвенного покрова, вовлеченного в орошение. При орошении больше всего ошибок допускается в тех случаях, когда плохо учитываются особенности почв и почвообразующих пород, почвенные режимы, взаимосвязи между свойствами почв. Как правило, если способ мелиорации не адекватен свойствам и режимам почв и почвообразующих пород, то он оказывается либо неэффективным, либо опасным для природной среды [1].

Цель исследований – изучить состояние почвенного покрова Райгородской оросительной системы после 6-летнего освоения его в орошаемом режиме.

Материалы и методы. Объектом исследований являются бурые полупустынные почвы, представляющие собой зональный тип полупустынной зоны [2, 3]. Эта зона характеризуется высокой комплексностью почвенного покрова. Исследования проводились на Райгородской оросительной системе (ОС) в марте 2017 г. на полях I-5-1, III-1-1, III-5-1. Участок находится в районе Прикаспийской низменности, коэффициент увлажнения составляет 0,22–0,33. Преобладают сухие острозасушливые (до 75 %) и средnezасушливые (24 %) летние сезоны. Сумма активных температур находится в пределах 3400–3600 °С. Годовая сумма осадков составляет около 200–180 мм. Столь малое количество осадков исключает всякую возможность выращивания сельскохозяйственных культур без орошения. Испаряемость здесь в 4–5 раз превышает количество осадков и составляет около 700–900 мм. Почвообразующими породами являются лесовидные суглинки. Грунтовые воды залегают глубже 7–8 м, а возле канала – в пределах 4–5 м и не оказывают влияния на почвообразовательные процессы.

Орошение проводится водой с минерализацией менее 1 г/дм³ (таблица 1). На основе расчетов С. Я. Бездниной [4] данная оросительная вода по минерализации, степени опасности развития процессов магниевое осолонцевания, содообразования и хлоридного засоления относится к I классу, существует при недостаточной дренированности некоторая опасность развития натриевого осолонцевания, по степени развития этого процесса вода относится ко II классу.

Таблица 1 – Характеристика оросительной воды

Единица измерения	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
мг-экв/дм ³	1,280	2,570	2,290	2,630	1,280	2,230
г/дм ³	0,046	0,123	0,140	0,053	0,016	0,051

Орошение проводится с 2012 г. Средневзвешенные оросительные нормы составляют 5400 м³/га.

Ввиду того, что наиболее сильное воздействие орошения отмечается в 1,5-метровом слое почвы, отбор почвенных образцов для анализа проводился по слоям 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100, 100–130 см в 6-кратной повторности.

Изучаемые показатели почв:

- гранулометрический состав (метод пипетки) по Н. А. Качинскому [5];
- микроагрегатный состав по методу Н. А. Качинского [5];
- агрегатный состав по Н. И. Саввинову [5];
- состав водной вытяжки^{1, 2, 3, 4, 5};

¹ ГОСТ 26424-85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке. – Введ. 1986-01-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

² ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. – Введ. 1986-01-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

³ ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке. – Введ. 1986-01-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

⁴ ГОСТ 26427-85. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке. – Введ. 1986-01-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

⁵ ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. – Введ. 1986-01-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

- обменные формы кальция, магния⁶, натрия⁷;
- содержание питательных элементов (обменного калия и подвижного фосфора⁸), содержание гумуса⁹;
- фракционно-групповой состав гумуса ускоренным методом М. М. Кононовой и Н. П. Бельчиковой [6].

Также была проанализирована оросительная вода и определены такие физические показатели почв, как плотность ненарушенного сложения методом кольца по Н. А. Качинскому [5], водопрочность агрегатов методом Н. И. Саввинова [5] и др.

Почвенные показатели определялись в эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ».

Результаты и их обсуждение. Для того чтобы обосновать систему защиты почв и ландшафтов от деградиционных изменений, обусловленных антропогенным воздействием, необходимо прежде всего установить причины [7]. А для установления причин предварительно надо знать свойства почв. Бурые полупустынные почвы являются сложным объектом мелиорации, поэтому тщательное изучение их показателей на данный момент очень важно для принятия управленческих решений по их улучшению. В таблице 2 представлены физические свойства почвы.

Таблица 2 – Физические свойства бурых полупустынных почв (комплексный покров) (март 2017 г.)

Слой, см	M_{\min}	M_{\max}	M	δ	m	$V, \%$	Изменчивость
1	2	3	4	5	6	7	8
Гранулометрический состав (по физической глине в слое 0–40 см)							
0–20	47,05	75,64	66,33	10,93	4,46	16	Средняя
20–40	49,06	75,79	66,41	9,71	3,96	15	Средняя
40–60	53,56	71,67	66,07	6,86	2,80	11	Средняя
60–80	58,62	71,62	67,19	4,89	2,00	7	Незначительная
80–100	58,39	72,73	66,21	4,94	2,02	7	Незначительная
0–40	48,06	76,06	66,39	10,58	4,32	16	Средняя
Фактор структурности (K_c)							
0–20	92	67	95	1,73	0,71	2	Незначительная
20–40	92	97	95	1,90	0,78	2	Незначительная
0–40	92	97	95	1,82	0,75	2	Незначительная
Структурное состояние ($A_{ЦА} - 0,25-10$ мм при сухом просеивании)							
0–40	55	50	57	2,61	1,06	5	Незначительная
Степень агрегатности (K_a)							
0–20	52	96	85	16,7	6,8	19	Средняя
20–40	60	92	85	12,5	5,1	15	Средняя
0–40	56	94	85	14,6	6,0	17	Средняя

⁶ ГОСТ 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. – Введ. 1986-07-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

⁷ ГОСТ 26950-86. Метод определения обменного натрия. – Введ. 1987-07-01 // Техэксперт: Интранет 6.2014 [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

⁸ ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – Введ. 1993-07-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

⁹ ГОСТ 26213-91. Методы определения органического вещества. – Введ. 1993-07-01 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Индекс нестабильности агрегатов (ИН)							
0–20	2,5	4,7	3,3	0,82	0,33	25	Значительная
20–40	1,9	5,2	3,0	1,15	0,47	38	Значительная
0–40	2,2	4,9	3,1	0,99	0,40	31	Значительная
Водопрочность агрегатов							
0–40	16,6	39,2	32,5	8,3	3,39	25	Значительная
Примечание – M_{\min} и M_{\max} – граничные значения, M – среднее значение, δ – среднее квадратичное отклонение, m – ошибка среднеарифметическая, V – коэффициент вариации.							

Согласно показателям физической глины по гранулометрическому составу исследуемые почвы по метровому профилю представлены в основном легкой глиной, редко встречаются суглинки тяжелые, поэтому коэффициент вариации V составляет в верхних слоях 0–60 см от 11 до 16 %, что свидетельствует о средней изменчивости данных почв по этому показателю. Глубже 60 см V равняется 7, что указывает на незначительную изменчивость, т. е. почвы в этих слоях имеют легкоглинистый состав. Величина фактора структурности высокая и колеблется в слое 0–40 см от 92 до 97 %, средняя (M) – 95 % (таблица 2). Чем выше фактор структурности, тем более прочна микроструктура почв. Вариация по этому показателю незначительная.

Структура, характеризующая агрономически ценными агрегатами (АЦА – 0,25–10 мм) при сухом просеивании, указывает на ее удовлетворительное состояние (таблица 2). Средняя величина структурного состояния (M) составляет 57 %, $V = 5$, т. е. изменчивость этого показателя по исследуемым полям незначительная. Степень агрегатности (K_a), рассчитанная по Бейверу и Роадесу [5], а также индекс нестабильности агрегатов (ИН) указывает на потенциальную способность почв к агрегатобразованию. Изменчивость по полям этих показателей соответственно средняя и значительная. Кроме этого, ИН, представляющий отношение процентного содержания гумуса, умноженного на 100, к количеству физической глины (гранулометрические фракции менее 0,01 мм), показывает, что гумус в данных почвах в незначительной степени определяет агрегирование почвы, так как ИН меньше 7 [8, 9].

Однако, несмотря на то, что почвы по интегрирующим показателям (K_s , K_a , ИН) обладают потенциальной способностью к агрегатобразованию, водопрочность агрегатов характеризуется на поле 1 как неудовлетворительная ($M_{\min} = 16,6$ %), на остальных – как удовлетворительная (31–38 %), в среднем по обследуемым полям – 32 % со значительной изменчивостью при $V = 25$ % (таблица 2).

Физико-химические свойства обследуемых почв представлены в таблице 3. Они свидетельствуют о неоднородности почвенного покрова. Засоление почв при большем содержании солей сульфатное и обусловлено в верхних горизонтах внесением фосфогипса, а в нижних – наличием природного гипса.

При меньшем содержании солей засоление хлоридно-сульфатное. Такой химизм засоления присутствует в средних слоях и на участках, где, видимо, фосфогипс не вносился. Из-за этого доверительные интервалы содержания суммы солей колеблются в верхнем слое 0–20 см от 0,144 (M_{\min}) до 1,099 % (M_{\max}), в основном пахотном слое (0–40 см) – от 0,167 до 1,032 %. Отсюда изменчивость почв по общему содержанию солей по всему почвенному профилю значительная, так как коэффициент вариации (V) в верхнем пахотном слое (0–40 см) составляет 90 %, а глубже снижается до 48–41 %. В материнской породе он равняется 51 %. Так как химизм засоления обследуемых почв в основном сульфатный, то по степени засоления, несмотря на высокое содержание водорастворимых солей, в верхнем 40-сантиметровом слое почвы относятся к слабозасоленным, а материнская порода – к средnezасоленным разновидностям.

Таблица 3 – Физико-химические свойства бурых полупустынных почв ($n = 6$)

Слой, см	M	M_{\min}	M_{\max}	δ	t	$V, \%$	Изменчивость	Степень засоления (для натрия – солонцеватости)
Сумма солей, %								
0–20	0,517	0,144	1,099	0,560	0,228	108	Значительная	Слабая
20–40	0,474	0,190	0,964	0,345	0,141	73	Значительная	Слабая
40–60	0,292	0,171	0,549	0,136	0,055	46	Значительная	Слабая
60–80	0,279	0,181	0,463	0,133	0,054	48	Значительная	Слабая
80–100	0,780	0,119	2,013	0,317	0,129	41	Значительная	Слабая
100–130	1,352	0,151	1,978	0,689	0,281	51	Значительная	Средняя
0–40	0,495	0,167	1,032	0,453	0,185	90	Значительная	Слабая
Токсичные соли, %								
0–20	0,153	0,071	0,236	0,079	0,032	51	Значительная	Слабая
20–40	0,155	0,099	0,238	0,063	0,026	41	Значительная	Слабая
40–60	0,185	0,083	0,384	0,106	0,043	57	Значительная	Слабая
60–80	0,223	0,074	0,422	0,116	0,047	52	Значительная	Слабая
80–100	0,454	0,027	1,087	0,387	0,158	85	Значительная	Средняя
100–130	0,703	0,059	1,107	0,415	0,169	59	Значительная	Сильная
0–40	0,154	0,085	0,237	0,071	0,029	46	Значительная	Слабая
Обменный кальций, % от суммы ППК								
0–20	73	58	86	10,2	4,15	14	Средняя	–
20–40	66	54	80	9,25	3,78	14	Средняя	–
40–60	58	50	65	6,5	2,65	11	Средняя	–
60–80	48	35	70	13,4	5,47	28	Значительная	–
80–100	61	44	81	16,1	6,59	26	Значительная	–
100–130	72	59	82	8,9	3,66	12	Средняя	–
0–40	70	56	83	9,7	3,96	14	Средняя	–
Обменный магний, % от суммы ППК								
0–20	21	10	32	8,1	3,3	38	Значительная	–
20–40	28	16	40	8,6	3,5	31	Значительная	–
40–60	31	26	39	5,1	2,1	17	Значительная	–
60–80	28	20	37	6,3	2,6	22	Значительная	–
80–100	23	16	31	5,4	2,2	24	Значительная	–
100–130	18	11	34	8,6	3,5	48	Значительная	–
0–40	24	13	36	8,3	3,4	35	Значительная	–
Обменный натрий, % от суммы ППК								
0–20	6	3	10	2,9	1,2	17	Средняя	Средняя
20–40	7	4	12	2,8	1,2	40	Значительная	Средняя
40–60	11	7	15	2,2	0,9	20	Средняя	Сильная
60–80	24	10	33	6,1	2,5	26	Значительная	Сильная
80–100	17	3	31	13,3	5,4	78	Значительная	Сильная
100–130	10	6	16	4,4	1,8	44	Значительная	Средняя
0–40	6	3	11	2,8	1,2	29	Значительная	Средняя

Токсичные соли в верхнем слое 0–40 см в среднем по обследуемым полям составляют всего 30 % от общей суммы солей. С глубины 40 см их количество уже составляет от 60 до 80 % от суммы солей, а в материнской породе – около 52 %. При этом изменчивость по токсичным солям как по полям, так и по почвенному профилю значительная и

наибольшая на глубине 80–100 см (таблица 3). В материнской породе (100–130 см) по общему содержанию солей степень засоления средняя, а по расчету токсичных солей – сильная, несмотря на то, что ближе к материнской породе в исследуемых почвах присутствуют гипсоносные горизонты.

Основным отрицательным свойством исследуемых почв является недонасыщенность почв кальцием. Она оценивается по его содержанию в составе почвенного поглощающего комплекса (ППК). В верхнем слое 0–40 см его количество составляло от 56 % (M_{\min}), что характерно для этих почв в естественном состоянии, до 83 % (M_{\max}) (после мелиорации фосфогипсом). По полям изменчивость средняя, а среднее квадратичное отклонение составляет 10 %. Глубже 40 см количество кальция в среднем по исследуемым полям равняется 58 % от суммы ППК. А на глубине 100–130 см оно уже достигает 72 %, что связано с появлением гипсоносных горизонтов, так как согласно составу водной вытяжки количество Ca и SO_4 составляет более 10–12 ммоль (экв)/100 г. В средних горизонтах (60–80 и 80–100 см) изменчивость по этому показателю значительная.

Изменение количества обменного кальция в ППК сопровождается перераспределением обменных магния (Mg) и натрия (Na).

Следует отметить, что их изменчивость по различным полям в основном значительная. В слое 0–40 см содержание Mg колеблется от 13 до 36 % от суммы ППК (в среднем – 24 %) (таблица 3). Содержание обменного Na в этом слое составляет от 3 до 11 %, в среднем 6 % от суммы ППК. Почвы в слое 0–40 см классифицируем, учитывая, что они относятся к малогумусным разновидностям, как слабосолонцеватые (3–5 % Na) и среднесолонцеватые (5–10 % Na). На исследуемых полях преобладают почвы со средней солонцеватостью в 40-сантиметровом слое. Глубже 40 см количество обменного магния изменяется от 23 до 28 % от суммы ППК, а в материнской породе оно составляет в среднем 18 % при значительной его изменчивости по полям.

Количество обменного натрия в слоях от 40 до 100 см варьирует от 11 до 24 % от суммы ППК и определяет почву этих слоев как сильносолонцеватую. В материнской породе его количество составляет в среднем по полям 10 %, но там, где обнаруживаются гипсоносные слои, его количество снижается до 6–7 %.

Агрохимические свойства почв представлены в таблице 4. Среднее содержание гумуса по обследуемым полям в слое 0–20 см составило 2,16 % при $M_{\min} = 1,62$ %, а $M_{\max} = 2,90$ %, изменчивость средняя.

Таблица 4 – Агрохимические свойства бурых полупустынных почв

Слой, см	M	M_{\min}	M_{\max}	δ	m	V, %	Изменчивость	Степень гумусированности, обеспеченности фосфором, калием
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гумус, %								
0–20	2,16	1,62	2,90	0,43	0,17	20	Средняя	Низкая
20–40	1,99	1,17	2,53	0,47	0,19	24	Значительная	–
0–40	2,08	1,40	2,71	0,45	0,18	22	Значительная	Низкая
Подвижный фосфор, мг/кг								
0–20	37	22	77	19,7	8,04	53	Значительная	Средняя
20–40	32	17	74	21,6	8,82	68	Значительная	Средняя
40–60	13	3	33	11,3	4,61	35	Значительная	–
60–80	11	2	26	9,8	4,00	89	Значительная	–
80–100	8	2	10	4,0	1,65	50	Значительная	–
0–40	35	20	76	20,6	8,43	61	Значительная	Средняя

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обменный калий, мг/кг								
0–20	771	423	1094	240	98	31	Значительная	Очень высокая
20–40	815	685	1014	113	46	14	Средняя	Очень высокая
40–60	526	422	667	91	37	17	Средняя	–
60–80	536	337	1152	307	125	57	Значительная	–
80–100	435	361	551	90	37	21	Значительная	–
0–40	793	554	1054	176	72	22	Значительная	Очень высокая

В слое 0–40 см варьирование этого показателя значительно (таблица 4). Такое низкое содержание гумуса обусловлено слабой степенью гумификации органического вещества ($C_{ГК} / C_{общ.} \cdot 100 \%$) (таблица 5). Видимо, не только нет условий для протекания процессов гумификации, но и отсутствует свежее органическое вещество, так как культуры развиваются слабо и в почву мало поступает пожнивно-корневых остатков.

Таблица 5 – Групповой состав гумуса бурых полупустынных почв

Поле	Слой, см	Гумус по Никитину, %	$C_{общ.}$, %	ГК, % от $C_{общ.}$	ФК, % от $C_{общ.}$	$C_{остатка}$ почвы, %	$C_{ГК} / C_{общ.} \cdot 100 \%$, %
III-1-1	0–20	2,22	1,29	25	15	60	24
	20–40	2,53	1,47	23	14	63	23
III-1-2	0–20	1,62	0,94	17	14	69	10
	20–40	1,17	0,68	18	9	73	17
III-5-1	0–20	2,25	1,31	14	15	71	14
	20–40	2,24	1,30	16	18	66	16
III-5-2	0–20	2,90	1,68	18	10	72	17
	20–40	2,23	1,29	17	11	72	17
I-5-1	0–20	2,07	1,20	22	10	68	22
	20–40	1,99	1,15	16	13	71	15
I-5-2	0–20	1,89	1,10	16	16	68	15
	20–40	1,78	1,03	15	24	61	15

Обеспеченность подвижным фосфором на исследуемых полях разная (таблица 4). Если на поле III-1-1 его количество в слое 0–40 см достигает 76 мг/кг (M_{max}), то на поле I-5-2 – всего 19 мг/кг (M_{min}), что указывает на неравномерность его внесения. На поле III-1-1 наблюдается избыток подвижного фосфора даже для овощей, а для зерновых и корнеплодов наблюдается уже зафосфачивание почв. В целом по метровому слою данные по фосфору очень разные, и это подтверждается коэффициентом вариации V , величина которого колеблется от 35 до 89 % (таблица 4).

Обеспеченность почв обменным калием очень высокая (таблица 4). Средняя величина по обследуемым полям в слое 0–40 см составила 793 мг/кг ($M_{min} = 554$ мг/кг, $M_{max} = 1054$ мг/кг). Даже при минимальных величинах обеспеченность почв обменным калием остается высокой. Отсюда следует, что изучаемые почвы по своей природе высоко обеспечены этим элементом и вносить его следует с осторожностью, учитывая запасы в почве и планируемую урожайность возделываемых культур.

Результаты определения подвижных форм тяжелых металлов в обследуемых почвах свидетельствуют об отсутствии загрязнения данных почв подвижными формами меди, никеля, цинка, свинца, кадмия, марганца, так как по содержанию они не превышают ПДК (ОДК) в почвах.

Таким образом, результаты полевых исследований, проведенных до поливов в марте 2017 г., указывают на значительную неоднородность почвенного покрова бу-

рых полупустынных почв и на значительную изменчивость многих показателей, особенно в верхнем 40-сантиметровом слое.

При разработке мероприятий по восстановлению и воспроизводству плодородия таких почв требуется дифференцированный подход к каждому полю.

Список использованных источников

1 Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. рук. / под ред. В. И. Кирюшина. – М.: Росинформагротех, 2005. – 784 с.

2 Шконде, Э. И. Агрехимическая характеристика почв СССР. Районы Поволжья / Э. И. Шконде. – М.: Наука, 1966. – 356 с.

3 Кауричев, И. С. Почвоведение / И. С. Кауричев. – М.: Колос, 1969. – 543 с.

4 Безднина, С. Я. Экологические основы водопользования / С. Я. Безднина. – М.: ВНИИА, 2005. – 224 с.

5 Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

6 Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.

7 Зайдельман, Ф. Р. Защита почв от деградации / Ф. Р. Зайдельман // Вестник Российской академии наук. – 2008. – Т. 78, № 8. – С. 693–703.

8 Королев, В. А. Изменение основных физических свойств черноземов обыкновенных под влиянием орошения / В. А. Королев // Почвоведение. – 2008. – № 10. – С. 1234–1240.

9 Monuier, G. The granulometric composition of soils: a means of predicting their physical fertility / G. Monuier, P. Stengel // Information bulletin – Ministry of Agriculture and Rural Development. – 1982. – № 370–372. – P. 503–512.

УДК 626/627:001.25

А. М. Кореновский, А. А. Чураев

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

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩА НА Р. ОЁШ ВОРОБЬЕВСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОЛЫВАНСКОГО РАЙОНА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Целью исследований являлся ретроспективный анализ аварий и повреждений (с 1999 по 2016 г.), вызванных специфическими гидрогеологическими особенностями ГТС водохранилища на р. Оёш. Путем проведения полевых обследований и синтеза исследований в смежных областях знаний выявлены наиболее значимые гидродинамические и инженерно-геологические факторы, влияющие на надежность сооружений. В заключение предложены мероприятия, которые позволят повысить безопасность рассматриваемого ГТС.

Ключевые слова: оросительная система, гидротехническое сооружение, надежность, безопасность, разрушение, авария.

A. M. Korenovskiy, A. A. Churaev

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

EVALUATION OF SAFETY OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURES OF THE RESERVOIR ON R. OYOSH OF VOROBYEVSKAYA IRRIGATION SYSTEM IN KOLYVAN DISTRICT NOVOSIBIRSK REGION

The purpose of research was a retrospective analysis of accidents and damages (from 1999 to 2016), caused by specific hydrogeological features of hydraulic engineering structures on reservoir on the river Oyosh. By carrying out field surveys and research synthesis in related fields of knowledge the most significant hydrodynamic and engineering geological factors that affect the reliability of structures have been identified. In conclusion, measures are proposed to improve the safety of these hydraulic engineering structures.

Key words: irrigation system, hydraulic engineering structure, reliability, safety, destruction, accident.

На развитие мелиорации сельскохозяйственных земель в Новосибирской области направлено 44 млн руб. из федерального бюджета в 2016 г. по госпрограмме «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Новосибирской области на 2015–2020 годы» и 20 млн руб. из областного бюджета. Культуртехнические работы предполагается провести на площади 8200 га, за счет строительства и реконструкции оросительных систем и ГТС планируется ввести в оборот 865 га мелиорируемых земель, в т. ч. восстановить Воробьевскую оросительную систему [1].

Для бесперебойного питания оросительной системы Воробьевского межколхозного промышленного комплекса по откорму крупного рогатого скота в 1984 г. была построена плотина и заполнено водохранилище на р. Оёш [2]. Основные показатели водохранилища приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели водохранилища

Наименование показателя	Единица измерения	Количество
1 Отметка НПУ	м	102,0
2 Объем при НПУ	млн м ³	3,3
3 Площадь зеркала при НПУ	км ²	1,56
4 Средняя глубина при НПУ	м	4,5
5 Отметка УМО	м	97,2
6 Длина	км	4,0
7 Средняя ширина	м	250,0

Основные параметры плотины приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры плотины

Наименование показателя	Характеристика	Примечание
1 Тип плотины	Грунтовая, однородная	Проезжая
2 Класс	IV	
3 Основные параметры:		
а) длина по гребню, м	328,0	
б) ширина по гребню, м	6,5	
в) максимальная высота, м	11,5	
г) максимальный напор, м	8,2 (НПУ)	
д) отметка гребня, м	103,4	
Заложение откосов:		
а) верхового	1:8	
б) низового	1:2	

Водосбросное сооружение – паводковый водосброс открытого типа доковой конструкции из монолитного железобетона, построен по типовому проекту ТП-820-59 «Водосброс паводковый из монолитного железобетона с сегментными затворами на расход 205 м³/с».

В 1999 г. при прохождении паводка произошло обрушение правой подпорной стенки паводкового водосброса, что вызвало изменение условий эксплуатации,

т. е. водохранилище не наполнялось до НПУ и работало при пониженных уровнях.

В последующий период эксплуатации на ГТС неоднократно возникали аварийные ситуации (в 2001, 2003, 2005 гг.).

Так, актом технического обследования от 10 августа 2001 г. установлены следующие нарушения работы ГТС:

- деформация гребня грунтовой плотины;
- деформация фермы сегментного затвора;
- разрушение правого открылка (подпорной стенки) за водосливом;
- разрушение верхних и последних рядов крепления откосов, вымыв грунта из-под крепления;
- разрушение левобережного сопрягающего крепления с руслом в нижнем бьефе;
- разрушение крепления дна и левого откоса подводящего канала водосброса;
- заиливание отводящего канала водосброса, разрыв откосов;
- стеснение водобойной части паводкового водосброса частями разрушенного железобетонного открылка водосброса;
- разрушение защитного сооружения донного водовыпуска;
- разрушение железобетонного кольца башни (шахты) водоспуска, обрушение грунта внутрь шахты;
- заклинивание затвора, находящегося в шахте;
- разрушение железобетонного крепления вокруг шахты, провал грунта;
- подтопление нижнего бьефа донного водовыпуска;
- разрушение подводящего канала водовыпуска и заиливание (до 1 м), зарастание отводящего канала;
- разрушение креплений отводной канавы в верхнем бьефе, развитие активного процесса оврагообразования в канаве нижнего бьефа (глубина оврага – до 2,54 м, ширина – до 5 м).

Полученные повреждения в отдельности и в совокупности могли привести к аварии и возникновению чрезвычайной ситуации на территории нижнего бьефа и вызвали необходимость его реконструкции.

При обследовании ГТС гидроузла в 2004 г. с участием представителей Верхне-Обского бассейнового водного управления выяснилось, что грунтовая плотина в зоне сопряжения с паводковым водосбросом имеет обрушившийся котлован, в котором находятся плиты крепления проезжей части. Правая сторона подпорной стенки паводкового водосброса в районе водобойного колодца разрушена (подмыт угол подпорной стенки, продукты размыва унесло течением, и образовался котлован размером 17 × 18 м). Произошло обрушение левого откоса в выходной части сооружения на участке длиной 50 м, разрушение сбросного кювета в нижнем бьефе с образованием оврага глубиной до 1,5 м, длиной 10–15 м. Затоплена башня донного водоспуска, обрушены откосы вокруг башни.

Таким образом, уже в 2004 г. основные ГТС на р. Оёш в соответствии с действующими документами находились в предаварийном (предельном) состоянии и имели опасный уровень безопасности. Отмеченные в 2001 г. повреждения в условиях отсутствия ремонтов получили развитие в 2004 г., что привело к возникновению аварийной ситуации.

В июле 2005 г. произошло обрушение гребня плотины и частичное оползание низового откоса грунтовой плотины. В акте обследования ГТС с участием представителей Верхне-Обского бассейнового водного управления, ГУ МЧС России по Новосибирской области, ГНУ «ВНИИГиМ» было рекомендовано срочно восстановить целостность водосброса (восстановление подпорных стенок, засыпка грунта и камня, восстановление участка автодороги, откосов подводящего и отводящего каналов в виде подсыпки песчано-гравийной смеси и укладки железобетонных плит). По донному водоспуску рекомендовалось установить подъемник затвора в башне, засыпать грунтом по-

нижения вокруг башни и произвести ремонт бетонного откоса около правой стенки башни. Кроме того, необходимо произвести ремонт железобетонных стенок рыбоуловителя, а также днищ и подпорных стенок водобоя.

Возникновение аварийных ситуаций в ходе реконструкции ГТС привело к необходимости выполнения дополнительных работ и проведения специальных исследований.

При восстановлении подпорной стенки водобойного колодца паводкового водосброса, при выемке грунта и разборке края ранее упавшей стенки появились разрушения в виде деформации правой обратной подпорной стенки в сторону нижнего бьефа с образованием трещин до 10 см. Образовалось пять грифонов с выносом песчаного и супесчаного грунта у правой обратной подпорной стенки водосброса. Появились трещины на правом устье водосброса в районе колесоотбоя со стороны затвора, поперечная трещина в теле грунтовой плотины вдоль правого устья водосброса. Для предотвращения дальнейшего развития аварийной ситуации была срочно выполнена обратная засыпка.

Чтобы остановить разрушение конструкций паводкового водосброса и обеспечить подготовку сооружения к пропуску паводка 2011 г., было принято решение об отсыпке каменного банкета вдоль стенки из горной массы с выполнением противосуффозионных мероприятий, а также об укладке суглинистого грунта с качественным уплотнением между банкетом и откосом плотины. Проект банкета был разработан ОАО «Запсибгипроводхоз» [3]. Для уточнения мероприятий по восстановлению правой подпорной стенки и эффективности противосуффозионных и противofильтрационных мероприятий было рекомендовано проведение геофизических исследований.

В ходе выполнения работ по дальнейшей реконструкции в июне 2011 г. произошла деформация правого устья паводкового водосброса с открьлком и расширение строительного шва от 3 до 7 см. Нижняя часть правого устья водосброса с открьлком просела в результате суффозии грунтов основания. Произошло раскрытие деформационного шва до 7,5 см, которое интенсивно увеличивалось. Появилась трещина в теле плотины шириной до 0,5 см.

Георадарные исследования, проведенные в этот период специалистами Алтае-Саянского филиала Геофизической службы СО РАН, показали наличие пустот под бетонными плитами основания в местах примыкания к подпорным стенкам, а в теле грунтовой плотины выявлены зоны разуплотнения, в которых развиваются фильтрационные процессы. В подошве основания водослива паводкового водосброса обнаружено водонасыщение, а в бетоне – поперечные трещины, к которым приурочена фильтрация под сооружением.

В 2011 г. специалистами ООО «МЭВНТ» (г. Новосибирск) был разработан рабочий проект по усилению грунтов основания путем инъектирования цементно-песчаного раствора [4], который был реализован в 2011 г., однако из-за неверной оценки геологической информации причины подтопления нижнего бьефа не были устранены.

В 2016 г. специалистами ФГБНУ «РосНИИПМ» было проведено обследование, пробурены скважины и заложены шурфы. Установлено, что в геологическом отношении район расположения ГТС на р. Оёш характеризуется наличием семи слоев литологических разностей (таблица 3).

В створе плотины на глубине от 2,5 до 34 м залегает напорно-безнапорный водоносный горизонт, представленный песками. Мощность водоносного горизонта в пойме составляет 20–26 м, на коренных склонах – приблизительно 16–18 м. В центральной части поймы водоносный горизонт либо перекрыт маломощным слоем гумусированных суглинков, либо начинается сразу от поверхности. В подошве водоносного горизонта залегают тяжелые плотные водоупорные суглинки. Р. Оёш дренирует водоносный горизонт, и вследствие этого большую часть цементно-песчаного раствора вымыло в нижний бьеф ГТС.

Таблица 3 – Слои литологических разностей

Слой 1	Почвенно-растительный, темно-серый, с остатками корневищ, мощностью 0,2–0,4 м
Слой 2	Суглинки буровато-серого цвета с примесью органических веществ, местами заторфованные, на участке створа их мощность – 0,5 м
Слой 3	Пески мелкозернистые, глинистые, рыхлого сложения с многочисленными прослойками обводненного суглинка. Коэффициент фильтрации песка – 0,5 м/сут
Слой 4а	Суглинок желто-серого цвета, легкий, средний, реже тяжелый. По составу пылеватый, карбонизированный с пятнами ожелезнения. Консистенция от твердой до тугопластичной. Коэффициент фильтрации – 0,02 м/сут
Слой 4б	Суглинки консистенцией от мягкопластичной до текучей. Мощность слоя – до 8 м. Коэффициент фильтрации – 0,05 м/сут
Слой 5	Песок преимущественно пылеватый, глинистый, однородный, серый, обводненный. Коэффициент фильтрации – 2 м/сут
Слой 6	Песок мелкий, глинистый, однородный, серый, обводненный. Мощность – 8,7–19,2 м. Коэффициент фильтрации – 2 м/сут
Слой 7	Суглинок тяжелый, серый, плотный, полутвердый. Вскрытая мощность – 0,9–2,9 м. Коэффициент фильтрации – меньше 0,01 м/сут

После проведения исследований и обобщения материалов полевых работ ФГБНУ «РосНИИПМ» рекомендует:

- ввиду значительных коэффициентов фильтрации в основании сооружения провести предпроектные работы по технико-экономическому и научному обоснованию противофильтрационных мероприятий (сравнить способ «стена в грунте» и проект локального водопонижения со сбросом фильтрующейся воды в нижний бьеф);
- провести компьютерное моделирование процессов фильтрации (в т. ч. в обход сооружения) для рассмотрения возможности применения противофильтрационных завес из композитных материалов в бортах плотины;
- создать сеть наблюдений за уровнем грунтовых вод на плотине и в зоне расположения ГТС;
- устранить разуплотнения в теле плотины путем закачки в них жидких композитных материалов;
- восстановить уплотнения деформационных швов.

Список использованных источников

1 О государственной программе Новосибирской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Новосибирской области на 2015–2020 годы»: постановление Правительства Новосибирской области от 2 февраля 2015 г. № 37-п: по состоянию на 21 июня 2016 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/465710313>, 2017.

2 Власенко, А. Н. Мелиорация – важнейший резерв интенсификации сельскохозяйственного производства в Сибири / А. Н. Власенко, Р. П. Воробьева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 2. – С. 4–6.

3 Реконструкция банкета плотины водохранилища на р. Оёш: рабочий проект / ОАО «Запсибгипроводхоз». – 2010.

4 Усиление грунтов основания плотины водохранилища на реке Оёш: рабочий проект / ООО «МЭВНТ». – 2011.

УДК 621.67:626.83

О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

Ф. А. Бекчанов

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Целью исследований является научное обоснование критериальных значений эффективности эксплуатации насосных станций оросительных систем. В статье рассматривается опыт эксплуатации и модернизации центробежных насосов Д2000-21, оцениваются характеристики качества перекачиваемой оросительной воды при различных критериях ее состояния. Проанализированы результаты проведенных натурных исследований головных насосных станций систем Аму-Занг, Джизак, Аму-Бухара и Карши, которые показали, что большой диапазон колебаний уровней и повышенная мутность воды в реке Амударье, изменчивость ее русла, наличие большого количества мусора усложняют условия водозабора.

Ключевые слова: насосные станции, износостойкость, рабочее колесо, насосный агрегат, безопасность.

O. Ya. Glovatsky, N. R. Nasyrova

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

F. A. Bekchanov

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

INCREASING THE EFFICIENCY OF PUMPING STATIONS OPERATION ON IRRIGATION SYSTEMS

The purpose of research is the scientific substantiation of criterial values of the efficiency of irrigation systems pumping stations operation. The article deals with the experience of operation and modernization of centrifugal pumps D2000-21, assesses the quality characteristics of pumped irrigation water under various criteria of its condition. The results of field studies of head pumping stations of Amu-Zhang, Jizzakh, Amu-Bukhara and Karshi systems were analyzed, which showed that a large range of level fluctuations and increased turbidity in the Amu Darya River, the variability of its waterway, the presence of a large amount of garbage complicate the conditions of water intake.

Keywords: pumping stations, wear resistance, impeller, pump unit, safety.

Особенностью сельского хозяйства республик Центральной Азии является широкое развитие машинного орошения. Опыт эксплуатации насосных станций (НС) оросительных систем показывает, что в их работе имеется ряд существенных недостатков, обусловленных несовершенством проектных решений основных элементов. Безопасность эксплуатации аванкамер, водоприемников, сороудерживающих сооружений (СУС), всасывающих труб не отвечает современным требованиям.

К 2017 г. мощность основного насосного оборудования, отработавшего парковый (заводской) ресурс, составила по НС более 70 % установленной мощности. Опре-

деление «лимитирующих» элементов в изменившихся условиях эксплуатации является чрезвычайно актуальной задачей в начале XXI в.

Длительная эксплуатация изношенного оборудования в условиях ужесточающихся режимов его работы приводит к ускорению физического износа узлов насоса (рабочего колеса, камеры рабочего колеса, подшипников), т. е. основных узлов, восстановление которых требует полной разборки с выводом из эксплуатации на длительный период. В результате этого снижается средневзвешенный КПД оборудования, ухудшаются технико-экономические характеристики.

Повышение эффективности эксплуатации НС возможно только при систематической научно-производственной работе, направленной на совершенствование конструкции оборудования и сооружений, изучение местных условий и факторов, которые влияют на эффективность и безопасность работы всего гидротехнического комплекса оросительной системы.

К сожалению, центробежные и осевые насосы, применяемые для НС оросительных систем, не учитывают специфических требований оросительных НС, так как эти насосы предназначены для перекачивания чистой воды.

Опыт эксплуатации центробежных насосов Д2000-21 показал, что изготовление их в абразивностойком исполнении не снижает интенсивность изнашивания бронедисков, защитных втулок, уплотняющих и защитных колец под воздействием абразивных частиц.

Основным видом износа камеры рабочего колеса осевого насоса является износ в зоне оси вращения лопастей. Для износа рабочей поверхности камеры характерна ноздреватость, глубокие раковины, язвины. Известны случаи, когда стенки камеры, изготовленной из углеродистой стали, разрушались. Появление на рабочей поверхности даже незначительных язвин и неровностей влечет за собой резкое интенсивное разрушение.

Одним из путей повышения эффективности работы НС является улучшение эксплуатационных качеств используемых агрегатов. Функциональные нарушения эксплуатационных режимов насосов зависят от объективных и субъективных факторов.

Например, при снижении уровня воды в нижнем бьефе увеличиваются геодезическая высота подъема и высота всасывания, твердые частицы, находящиеся в потоке воды, приводят к интенсивному изнашиванию элементов насосов, в результате которого снижаются подача, напор и КПД насосных агрегатов.

К субъективным факторам можно отнести статический дисбаланс рабочего колеса насоса, нарушение герметичности проточной части насоса и сифона на водовыпуске, излом линии вала агрегата, несоосность осей статора и ротора двигателя, неправильную сборку или повреждение элементов агрегатов. Неисправности, связанные с субъективными факторами, устраняются при соответствующем уровне знания обслуживающего персонала и качественном проведении ремонтно-монтажных и наладочных работ.

Вопросы повышения эксплуатационных показателей насосов, связанных с объективными факторами, требуют разработки научно обоснованных конструктивно-технических и эксплуатационно-технологических мероприятий. Замена насосов на новые, современные, более эффективные модели позволит обеспечить безаварийную работу НС оросительных систем [1].

Для снижения уровней лопастных составляющих пульсаций давлений необходимо принять максимально возможный зазор между колесом и корпусом и снимать циркуляцию по лопастям колеса. Рабочие характеристики нового насоса с рабочим колесом диаметром $D_{рк} = 425$ мм показали следующие значения КПД ($\eta_n\%$): расчетные – 80,1–83,0, фактические – 80,7–86,4, отклонение – 3,4–0,6 %. В процессе проводимых испытаний вибрации и шум не наблюдались.

Сравнительные испытания вариантов рабочих колес на износ проводились на серийном насосе Д2000-21 в одинаковых эксплуатационных условиях.

Износостойкие качества испытанных рабочих колес разной конструкции оценивались путем сравнения наработок на отказ с помощью коэффициента относительной износостойкости K_H (таблица 1), который для серийного колеса принят за 1.

Таблица 1 – Коэффициенты относительной износостойкости рабочих колес

Количество испытанных рабочих колес, шт.	Размер твердых частиц, мм	Массовая концентрация, %	Наработка на отказ, ч	K_H
8	2,0–5,0	15–20	560–610	2,30–3,05
4	0,5–2,0	20–23	620–710	2,70–3,10

Эксплуатационные мероприятия должны быть направлены на снижение себестоимости перекачиваемой воды, которая является главным технико-экономическим показателем НС.

Результаты проведенных натурных исследований и диагностики показали, что большой диапазон колебаний уровней и повышенная мутность воды в реке Амударье, изменчивость ее русла, наличие большого количества мусора усложняют условия водозабора головных НС систем Аму-Занг, Джизак, Аму-Бухара и Карши.

В общем случае качество перекачиваемой воды характеризуется набором n параметров: концентрацией взвешенных частиц, количеством плавающих тел, химическими свойствами, плотностью, температурой и др. [1].

Совокупность этих параметров образует n -мерный вектор x ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$) качества перекачиваемой воды (таблица 2).

Таблица 2 – Условная оценка характеристик качества перекачиваемой воды при различных критериях ее состояния

Состояние перекачиваемой воды	Оценка качества в баллах	Параметр качества воды	
		Мутность потока, кг/м ³	Насыщенность потока плавником
Абсолютно чистая	4	до 0,5	до 0,05
Чистая	3	$0,5 \leq \rho < 1,5$	$0,05 \leq \delta < 0,30$
Умеренно загрязненная	2	$1,5 \leq \rho < 3,0$	$0,30 \leq \delta < 0,60$
Сильно загрязненная	1	более 3,0	более 0,6

Выделим два основных параметра: ρ – мутность потока, кг/м³; δ – насыщенность потока плавником:

$$\rho = \frac{R}{Q},$$

$$\delta = \frac{W_{п.м.}}{W},$$

где R – расход взвешенных наносов, кг/с;

Q – расход воды (подача НС), м³/с;

$W_{п.м.}$ – объем плавающего мусора, м³;

W – объем стока, м³.

При высокой мутности перекачиваемой воды, содержащей до 5 кг/м³ абразивной взвеси, происходит ускоренный износ внутренней проточной части насосов, корпуса, рабочих колес и уплотнений. Так, например, абразивный износ и износ корпуса наблюдается в проточной части агрегатов НС «Кизил Тепа» и составляет 40–48 %.

Из-за неравномерного износа нарушается оптимальный профиль лопастей, появляются неуравновешенные массы, приводящие к статическому и динамическому дисбалансу рабочего колеса.

Повышенная вибрация опорных узлов (крестовин, подшипников, статора) вызы-

вает ухудшение эксплуатационных свойств агрегатов за счет ослабления соединений и неподвижных креплений, образования зон и накопления усталостных разрушений в металле и сварных швах, перегрева и нарушения условий смазки в направляющих подшипниках. Общий уровень вибрации и биение вала у направляющего подшипника насоса отдельных агрегатов НС «Наманган», «Каракуль», «Алат», «Караул Базар» значительно превышают допустимые нормы. Чрезмерные динамические нагрузки на лопасти рабочих колес осевых насосов, сопровождающиеся отрывом лопастей, потребовали перехода на полностью заварные рабочие колеса. По этой причине снижаются возможности регулирования подачи насосов и синхронизации режимов каскадной схемы работы НС.

В связи с тем, что в последнее время активно развивается новое направление в исследованиях безопасности НС в рамках вероятностного подхода с использованием методов современной теории надежности технических объектов, определенный интерес представляет и оценка уровней риска, которые «заложены» в нормах для НС. Анализ такого «нормативного» риска позволит более объективно оценить достигнутый уровень безопасности в мелиорации и гидротехнике, сопоставить его с риском в других областях техники.

Важнейшим фактором обеспечения нормативной безопасности НС являются расчеты на основные и особые сочетания нагрузок и воздействий. Вероятности реализации основных сочетаний близки к единице, а вероятности реализации особых – весьма малы. Другими словами, возможность наступления экстраординарных событий как по основным, так и по особым сочетаниям маловероятна. Однако в принципе она не исключается и ее следует учитывать как фактор риска.

Среди нормативных коэффициентов выделяется коэффициент надежности γ_n , значения которого устанавливаются по принадлежности объекта к тому или иному классу. Использование коэффициента γ_n позволяет гарантировать определенный уровень безопасности сооружения уже по факту отнесения его к соответствующему классу, несмотря на другие обстоятельства нормирования безопасности, которые нашли выражение в системе нормативных коэффициентов.

Коэффициент условий работы γ_c далек от формализации и в большинстве случаев используется специалистами как инструмент компенсации их незнания роли различных факторов и обстоятельств при расчетном обосновании надежности объекта.

Целесообразно оценивать не один, а два уровня нормативного риска, допускаемого на сооружении: верхнюю границу риска (*sup*), которая определяется только классом объекта, и нижнюю (*inf*), которая может быть достигнута для данного сооружения НС при выбранном классе за счет других коэффициентов [2].

Независимо от фактического проектного исполнения НС ее безопасное функционирование определяется влиянием следующих критериев, подлежащих оценке при эксплуатации НС:

- исправность и работоспособность основного насосно-энергетического оборудования;
- исправность и работоспособность вспомогательного оборудования и систем НС;
- прочность, устойчивость и пропускная способность гидротехнических сооружений и их отдельных элементов;
- достаточность подпора (высоты всасывания насоса);
- приспособленность НС к предупреждению, локализации и устранению последствий возможных аварийных ситуаций;
- надежность средств противоаварийной защиты и сигнализации, установленной на оборудовании.

Разделение НС на отдельные элементы в целях определения устойчивости, безопасности функционирования НС и экспертной оценки технического состояния производится в логической последовательности от водозабора до напорного бассейна.

Выводы

1 Для повышения безопасности и устойчивой эксплуатации НС рекомендуется разработать нормативные документы, которые определяли бы условия подвода воды, не приводящие к износу оборудования и разрушению материалов; методику комплексной оценки степени риска при воздействии ресурса эксплуатации.

2 Современный этап развития машинного водоподъема в орошении характеризуется специалистами как период старения сооружений и оборудования, в связи с этим система надзора за безопасностью этих объектов должна быть официально оформлена в виде самостоятельного направления сохранения работоспособности и технического состояния основного оборудования и сооружений НС.

Список использованных источников

1 Гловацкий, О. Я. Методы управления безопасностью сопрягающих сооружений насосных станций с переходными процессами / О. Я. Гловацкий, Ш. Р. Рустамов, Ш. М. Шарипов // Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства: сб. докл. II Междунар. науч.-практ. конф. – Казахстан, 2016. – С. 143–146.

2 Energetic, hydraulic and economic efficiency of axial flow and centrifugal pumps for surface water irrigation / T. J. Krupnik, O. Ya. Glovatsky, Sh. R. Rustamov, N. R. Nasirova, Sh. M. Sharipov // The USA Journal of Applied Sciences. – Cibunet, ORT Publishing, 2016. – № 2. – P. 101–108.

УДК 681.12:626.82

М. В. Вайнберг, А. А. Чураев

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

**ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ (ПЕРЕПАДА УРОВНЕЙ)
НА ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

В статье приведен обзор существующих средств измерения уровня воды на открытых каналах оросительных систем. Описаны средства измерения, выпускаемые как отечественной, так и зарубежной промышленностью, от простейших до датчиков, позволяющих организовать полную автоматизацию процесса измерения. Выполненный анализ средств измерения показал, что при решении технических вопросов кроме достоверности измерения необходимо также учитывать удобство обслуживания, стоимость того или иного датчика и возможность использования датчиков уровня на пунктах водоучета при отсутствии электроснабжения.

Ключевые слова: уровень воды, водомерная рейка, буйковый уровнемер, гидростатический датчик уровня, ультразвуковой датчик.

M. V. Vaynberg, A. A. Churaev

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

**REVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING MEANS OF WATER
LEVEL MEASUREMENT (LEVEL DIFFERENCES)
IN OPEN CANALS OF IRRIGATION SYSTEMS**

The article provides an overview of the existing means of water level measurement in open canals of irrigation systems. Measuring instruments from the simplest ones to sensors that allow to organize a complete automation of measurement process produced by both do-

mestic and foreign industry are described. The analysis of the measuring instruments showed that while solving technical problems besides reliability of the measurement, it is also necessary to take into account the convenience of maintenance, the costs of sensors, and the possibility of using water level gauges at water accounting points in the absence of electricity.

Key words: water level, water level scale, displacer level gauge, hydrostatic level sensor, ultrasonic device.

Для водоучета в открытых каналах оросительных систем уровень воды (перепад уровней) является основополагающим параметром при определении расхода воды. Современный арсенал средств измерения уровня воды включает как простейшие уровнемерные устройства, например гидрометрические рейки, так и высокоточные автоматизированные измерительные приборы и датчики.

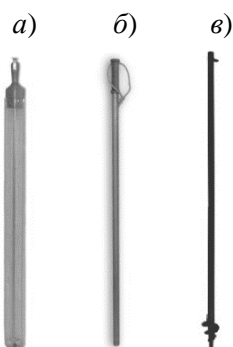
Методы измерения уровней воды достаточно отработаны. Отечественная и зарубежная практика применения уровнемерных устройств предполагает два основных метода измерения. В первом случае уровнемерное устройство размещается в водном потоке. Второй метод является основным и предполагает размещение уровнемерных устройств в успокоительном колодце, соединенном с открытым каналом при помощи водовода [1].

Для измерения уровня воды (перепада уровней) в основном применяют следующие средства измерения:

- водомерные переносные рейки;
- поплавковые, в которых для измерения уровня используется поплавок или другое тело, находящееся на поверхности жидкости;
- буйковые, в которых для измерения уровня используется массивное тело (бук), частично погружаемое в жидкость;
- гидростатические, основанные на измерении гидростатического давления столба жидкости;
- емкостные, основанные на преобразовании измеряемой величины в емкостное сопротивление;
- ультразвуковые и акустические, основанные на принципе отражения от поверхности звуковых волн.

Выбор методов средств измерения уровней регламентируется требованиями к точности и достоверности результата измерения, а также возможностями его осуществления. Проблема выбора осложняется необходимостью энергоснабжения электронных уровнемеров, датчиков и сигнализаторов уровня [2, 3]. Рассмотрим устройства для измерения уровня воды (перепада уровней) на открытых каналах оросительных систем, выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью.

Простейшие измерители уровня воды, выпускаемые отечественной промышленностью, – это водомерные переносные рейки ГР-23 и ГР-104 (диапазон измерения 0–100 см), рейка максимальная ГР-45 (диапазон измерения 0–150 см) (рисунок 1). Данные средства дешевы, просты в производстве, эксплуатации и метрологическом обеспечении. Средняя погрешность измерения уровня воды рейками $\pm 0,01$ м [4].



a – рейка водомерная переносная с успокоителем ГР-23;
b – рейка водомерная ГР-104;
c – рейка максимальная ГР-45

Рисунок 1 – Водомерные переносные рейки

Более сложные – это поплавковые уровнемеры. Представитель данного класса приборов – уровнемер цифровой УПЦ со сменным регистратором (рисунок 2) [5]. Он обеспечивает измерение и индикацию уровня воды, передачу в сменный регистратор-накопитель информации об уровне, передачу информации на внешние устройства через последовательный коммуникационный порт. Основные технические данные – диапазон измерений от 0 до 8 м при относительной погрешности измерения $\pm 0,01$ м. Уровнемер обеспечивает возможность работы как автономно, так и в составе дистанционных и автоматизированных систем сбора информации совместно со сменным регистратором, модемом, ПК и пр.

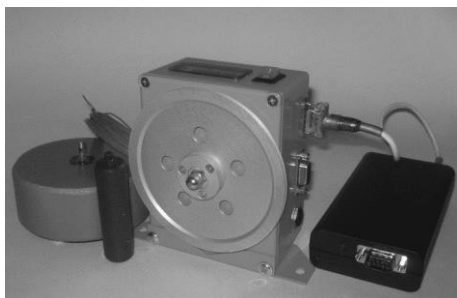


Рисунок 2 – Уровнемер цифровой УПЦ со сменным регистратором

Представителем буйковых уровнемеров является буйковый электрический уровнемер УБ-Э (рисунок 3). Его действие основано на принципе электросиловой компенсации усилия, развиваемого чувствительным элементом (буйком) измерительного блока уровнемера. Блок погружен в жидкость, уровень которой измеряется. В уровнемерах типа УБ-Э используется линейный преобразователь с электросиловой компенсацией. Диапазон измерения расширен до 16 м при относительной погрешности измерения $\pm 0,01$ м [6].



Рисунок 3 – Буйковый электрический уровнемер УБ-Э

Следующий класс уровнемеров – гидростатические датчики уровня. К этому классу датчиков можно отнести «Сапфир-22-ДГ» (рисунок 4), который состоит из двух основных компонентов – тензорезистивного датчика с мембраной и электронного устройства обработки данных. Принцип действия датчика «Сапфир-22-ДГ» состоит в измерении поверхности воды, датчик преобразует данный параметр в значение уровня. Относительная погрешность измерения от $\pm 0,25$ до $\pm 0,50$ % при температурах от минус 10 до плюс 70 °С, постоянное напряжение 24 В [7].



Рисунок 4 – Гидростатический датчик уровня «Сапфир-22-ДГ»

Другой интересный класс уровнемеров – емкостные приборы. Принцип их действия основан на зависимости электрической емкости между двумя частично погруженными в воду проводниками от уровня воды. В этом классе приборов следует отметить емкостные уровнемеры типа РУС, модифицированный вариант – ДУЕ-1 (рисунок 5), которые включают в себя широкий набор первичных и вторичных преобразователей, обеспечивающих измерение уровней от 0 до 20 м с погрешностью до $\pm 0,5\%$. Отличительная особенность ДУЕ-1 – достаточно низкое рабочее напряжение (24 и 36 В), что позволяет использовать его на объектах, не обеспеченных электропитанием [8].



Рисунок 5 – Емкостный уровнемер ДУЕ-1

Следующий класс приборов – бесконтактные уровнемеры, использующие принцип акустического зондирования. Одним из представителей данного класса является акустический уровнемер ЭХО-5 (рисунок 6). Он представляет собой систему, состоящую из двух первичных и одного вторичного преобразователей, которые обеспечивают бесконтактное измерение и цифровую индикацию уровня воды. Диапазон измерений – 0–30 м при относительной погрешности измерения $\pm 1,5\%$, переменное напряжение 220 В [9].



Рисунок 6 – Акустический уровнемер ЭХО-5

Не менее интересный класс приборов – ультразвуковые датчики уровня. Их применяют для бесконтактного непрерывного измерения предельного уровня жидкости. Ультразвуковой датчик работает по принципу радара. Излучаемый ультразвуковой импульс от датчика отражается от поверхности жидкости или сыпучего материала и попадает обратно в датчик. По времени распространения прямого и отраженного сигнала судят об уровне жидкости. Одним из представителей данного класса является ультразвуковой датчик уровня «Взлет-УР» (рисунок 7), который применяется для прямого измерения параметра уровня воды. Диапазон измерения 0–8 м, погрешность измерения не более $\pm 0,2\%$ [10].

Наиболее известными приборами для измерения уровня воды зарубежного производства, которые могут применяться на открытых каналах оросительных систем, являются поплавковые уровнемеры, гидростатические датчики, акустические и ультразвуковые.



Рисунок 7 – Ультразвуковой датчик уровня «Взлет-УР»

Одним из представителей поплавковых уровнемеров является уровнемер ОТТ SE 200 (Германия) (рисунок 8) [11]. Принцип действия основан на том, что через трос, прикрепленный к поплавку, усилие передается на шкив и он начинает вращаться. Возникающее при этом вращательное движение преобразуется в электрический сигнал. Полученная величина обрабатывается встроенным контроллером и передается через интерфейс или аналоговый выход 4–20 мА. Диапазон измерения 0–30 м, напряжение питания 12–36 В, погрешность измерения $\pm 0,01$ м.

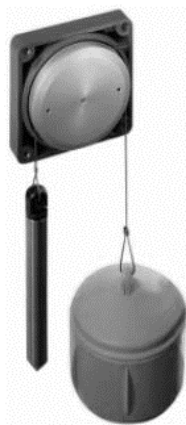


Рисунок 8 – Поплавковый уровнемер ОТТ SE 200

К классу гидростатических уровнемеров можно отнести датчик уровня Hydrobar-cable-FR (Нидерланды) (рисунок 9) [12]. Принцип действия датчика основан на использовании зависимости между измеряемым давлением и упругой деформацией чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя датчика. Используется для непрерывного измерения уровня. Данный уровнемер имеет погрешность измерения $\pm 0,25$ %, постоянное напряжение 24 В, рабочую температуру от минус 10 до плюс 70 °С.

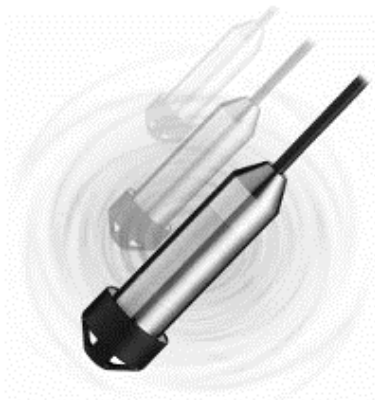


Рисунок 9 – Гидростатический датчик уровня Hydrobar-cable-FR

Одним из представителей бесконтактных уровнемеров является акустический датчик Kalesto (Германия) (рисунок 10) [13]. Измерение уровня воды производится че-

рез воздух. От датчика посылаются электромагнитные волны в СВЧ-диапазоне перпендикулярно поверхности воды. Эти волны смешиваются с отраженными от поверхности. Интеллектуальный сигнальный процессор (DSP) вычисляет точное расстояние x между датчиком и поверхностью воды. Его отличительная особенность – низкое рабочее напряжение (12 В) при относительной погрешности измерения $\pm 0,01$ м, что позволяет осуществлять электропитание от солнечной батареи. Кроме того, возможна дистанционная передача результатов измерения на удаленное устройство по радиоканалу.



Рисунок 10 – Акустический датчик Kalesto

К представителям класса ультразвуковых датчиков можно отнести малогабаритный датчик уровня воды EasyTREK (рисунок 11) (Венгрия) [14]. Он предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня различных жидких сред и имеет следующие технические характеристики: рабочая область сканирования 0,2–15 м, погрешность измерения $\pm 0,01$ м.



Рисунок 11 – Ультразвуковой датчик уровня EasyTREK

Разумеется, весь спектр технических средств водоучета, предлагаемый отечественными и зарубежными производителями, далеко не исчерпывается рассмотренными устройствами. Однако уже на примере вышеописанных приборов отчетливо прослеживается тенденция создания универсальных комплексов, позволяющих организовать автоматизированный сбор и обработку измерительных данных и при необходимости осуществлять управление исполнительными устройствами по стандартным каналам телемеханики.

Анализ технических характеристик уровнемерных устройств и оборудования показывает следующее:

- средняя погрешность измерения уровня рейками, поплавковыми и буйковыми уровнемерами составляет $\pm 0,01$ м;
- высокая точность измерения от $\pm 0,25$ до $\pm 0,50$ % при температурах от минус 10 до плюс 70 °С обеспечивается гидростатическими датчиками уровня воды, несмотря на их простоту и надежность;
- емкостные уровнемеры обладают низким рабочим напряжением;
- наиболее простыми и надежными в эксплуатации конструкциями являются гидрометрические рейки и акустические датчики уровня. При правильной эксплуатации они не требуют периодической поверки;

- ультразвуковые датчики уровня воды имеют высокую точность измерения (погрешность не более $\pm 0,2$ %) и не влияют на измеряемый поток жидкости. Но они имеют и недостатки: так как расстояние определяется датчиком по времени отражения сигнала, а скорость распространения ультразвука зависит от состава воздуха, например содержания в нем углекислого газа, влажности, то колебания этих параметров приводят к погрешностям в измерении;

- в настоящее время имеются как отечественные, так и зарубежные датчики уровня воды, которые обладают низким рабочим напряжением (12–24 В) и могут применяться для удаленных пунктов водоучета, не обеспеченных сетевым электропитанием.

В заключение можно сделать вывод о том, что при решении технических вопросов кроме достоверности измерения необходимо также учитывать удобство обслуживания и, конечно, стоимость того или иного датчика, а при использовании зарубежных водоизмерительных приборов – наличие сертификата утвержденного типа и внесение в государственный реестр средств измерений.

Список использованных источников

1 Руководство по обработке результатов измерений параметров учета воды на оросительных, осушительных и обводнительных системах: ВТР-М-2-80. – М.: Союзводоавтоматика, 1980. – 70 с.

2 Бочкарев, В. Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах / В. Я. Бочкарев; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 227 с. – Деп. в ВИНТИ 27.04.12, № 196-В2012.

3 Юченко, Л. В. Рекомендуемые средства измерения для проведения градуировки на открытых каналах с фиксированным руслом / Л. В. Юченко // Современные тенденции развития аграрного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГБНУ «ПНИИАЗ», Регион. фонд «Аграр. унив. комплекс». – Соленое Займище: ПНИИАЗ, 2016. – С. 136–141.

4 Технические характеристики водомерных реек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gidrometpribors.ru/GR-104.html>, 2017.

5 Уровнемер цифровой УПЦ со сменным регистратором [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.hydrology.ru/depart/dep/hi/prs.html>, 2017.

6 Поплавковые и буйковые уровнемеры. Устройство, принцип действия, расчет, типы и виды поплавковых и буйковых уровнемеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_520.html, 2017.

7 Датчик гидростатического давления САПФИР 22 ДГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teploavtomatika.by/katalog/davlenie/datchiki-s-unifirovannym-vykhodom/datchik-gidrostaticheskogo-davleniya-sapfir-22-dg/>, 2017.

8 Датчик уровня емкостный ДУЕ-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://td-urovner.ru/emkostnye-urovner/due-1-datchiki-urovnya-emkostnye>, 2017.

9 Акустические датчики уровня ЭХО-5 и ЭХО-5В [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://teplolider.ru/?id=2&cat=3&cat_cat=9&cat_itm=2211, 2017.

10 Уровнемеры ультразвуковые Взлет УР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://all-pribors.ru/opisanie/22590-12-vzlet-ur-19292>, 2017.

11 Датчики уровня поплавковые ОТТ SE 200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://all-pribors.ru/opisanie/41338-09-ott-se-200-43177>, 2017.

12 Гидростатический датчик уровня серии Hydrobar-cable-FR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://klaysensor.ru/datchik.html>, 2017.

13 Бесконтактный радарный уровнемер Kalesto [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asutp.ru/?p=400214>, 2017.

14 Ультразвуковой компактный уровнемер EasyTREK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://9602832.ru/product/urovnerm/11-easytrekm.html>, 2017.

УДК 631.674.6

В. И. Кременской, Н. Е. Волкова, А. М. ДжапароваНаучно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь,
Российская Федерация**СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОВОДОВЫПУСКОВ**

В настоящее время капельное орошение является наиболее перспективным способом полива в Республике Крым. Однако данное направление еще требует доработки и усовершенствования. С этой целью были проведены исследования эффективности работы капельниц-микроводоотпусков, применяемых в системах капельного орошения в Крыму, определены основные гидравлические и технологические параметры тупиковых капельниц и встроенных в поливной трубопровод микроводоотпусков. В результате установлено, что поливные трубопроводы с интегрированными встроенными микроводоотпусками более эффективны в эксплуатации.

Ключевые слова: капельное орошение, микроводоотпуск, расход, напор, экспонента расхода, поливной трубопровод.

V. I. Kremenskoy, N. Ye. Volkova, A. M. Dzharparova

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

BENCH RESEARCH OF MICRO-WATER DISCHARGES

Currently drip irrigation is the most promising method of irrigation in the Republic of Crimea. However, this direction still requires further development and improvement. To this end, research on the efficiency of operation of emitters-micro discharges used on drip irrigation systems in the Crimea has been carried out; the main hydraulic and technological parameters of the spur emitters and micro discharges built into the irrigation pipeline are determined. As a result it is found that irrigation pipelines with integrated built-in micro-water discharges are more efficient in operation.

Key words: drip irrigation, micro-water discharge, flow, water head, exponent of flow, irrigation pipeline.

Введение. За период эксплуатации систем капельного орошения (КО) в Республике Крым их отдельные элементы совершенствовались. В первую очередь модернизировались капельницы-водоотпуски (КВ), так как использование высококачественных микроводоотпусков является одним из важных условий обеспечения надежной работы всей системы при поливе сельскохозяйственных культур [1, 2]. За время применения КО в сельском хозяйстве различными зарубежными и отечественными компаниями разработано и внедрено большое количество моделей КВ, отличающихся своей конструкцией, расходами, рабочим напором, чувствительностью к загрязнениям, материалоемкостью и ценой [3–5]. Выбор необходимой модели зависит от множества показателей. В данной работе приведено стендовое исследование широко используемых в Республике Крым капельниц и поливных трубопроводов с целью выявить наиболее эффективные в эксплуатации.

Материалы и методы. Исследования проводились на гидравлическом стенде в лаборатории Крымского научно-исследовательского центра Института гидротехники и мелиорации УААН. Источником водоснабжения и напором служила городская сеть водоснабжения, обеспечивающая давление до 300 кПа. Установка состояла из вентиля напорно-регулирующего, образцового манометра до 250 кПа с точностью 0,6 % и ценой деления 2 кПа, вентиля установочного, подводящего полиэтиленового трубопровода диаметром 20 мм, муфты соединительной и исследуемого поливного трубопровода

с капельницами. Расход воды водовыпусками определялся объемным методом. Исследования проводились при давлении от 20 до 250 кПа.

Результаты исследований. Для изучения были выбраны четыре модели КВ («Тирас», «Олсон», Euro-Key, «Супертиф НД») и четыре поливных трубопровода с вмонтированными водовыпусками, имеющими однотипные характеристики (Drip in Classic, RAM, «Аквагол», ЭЛКО).

Все исследуемые КВ имели лабиринтный метод гашения давления, капельный режим стока воды, за исключением капельниц «Тирас», в которых исток воды струйный, и КР-2 («Олсон»), Euro-Key (4 л/ч), в которых исток воды струйно-капельный.

Исследуемые поливные трубопроводы со встроенными (проходными) водовыпусками имели диаметр 16 мм, а тупиковые капельницы на полиэтиленовом трубопроводе – 20 мм, причем у моделей Drip in Classic, «Аквагол», ЭЛКО на выходе из водовыпуска было по два отверстия. Технические показатели исследуемых тупиковых КВ и трубопроводов с интегрированными КВ представлены в таблице 1, гидравлические – в таблице 2.

Таблица 1 – Паспортные технические характеристики исследуемых капельниц-водовыпусков

Наименование	Производитель	Расход q , л/ч	Интервал между КВ l , м
Тупиковые КВ			
«Тирас»	Компания «Джерело», Украина, Киевская область, с. Юрьевка	4,0	–
КР-2 («Олсон»)	АО «Сизакор», Крым, г. Симферополь	4,0	–
Euro-Key	Toro Ag, Италия	2,0 и 4,0	–
«Супертиф НД»	Plastro, Израиль	2,2	–
Трубопроводы с интегрированными КВ			
Drip in Classic	Toro Ag, Италия	2,0	0,6
RAM	Netafim, Израиль	1,6	0,5
«Аквагол»	АИК, Крым, г. Алушта	1,6	0,5
ЭЛКО	ЧП «Завод «Факел», г. Донецк	1,3	0,5

Таблица 2 – Гидравлическая характеристика микроводовыпусков

Наименование	Поливной трубопровод с вмонтированными водовыпусками				Капельница				
	Drip in Classic	RAM	«Аквагол»	ЭЛКО	«Тирас»	КР-2 («Олсон»)	Euro-Key, 2 л/ч	Euro-Key, 4 л/ч	«Супертиф НД»
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход воды по паспорту, л/ч	2,0	1,6	1,6	1,3	4,0	4,0	2,0	4,0	2,2
Рекомендуемое рабочее давление, кПа	50–350	50–350	80–350	50–150	20–300	20–200	50–350	50–350	30–350
Количество отверстий при выходе из водовыпуска, шт.	2	1	2	2	1	1	1	1	1

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Метод гашения давления в водовыпуске	лабиринт	лабиринт	лабиринт	лабиринт	мембраналабиринт	лабиринт	лабиринт	лабиринт	лабиринт
Режим истечения воды из водовыпуска	капельный	капельный	капельный	капельный	струйный	струйно-капельный	капельный	струйно-капельный	капельный

Расчеты производились по следующим формулам:

- расход воды КВ, л/ч:

$$q = \frac{60 \cdot W}{1000 \cdot t},$$

где W – объем воды, л;

t – время наполнения, мин;

- коэффициент вариации расхода воды:

$$V_T = \frac{\sigma_q}{q_c},$$

где σ_q – среднее квадратичное отклонение расходов, рассчитываемое по формуле, л/ч:

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{\sum (q_i - q_c)^2}{n-1}},$$

где q_i – каждое значение расхода ряда данных, соответствующих определенному давлению, л/ч;

n – количество капельниц;

q_c – средняя величина расхода капельниц на поливном трубопроводе, л/ч;

- коэффициент технологической равномерности расходов:

$$K_T = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - 1,64 \cdot V_T + \frac{1}{1 + 1,64 \cdot V_T} \right).$$

Для каждой капельницы определяли экспоненту расходов и формулу напорно-расходной характеристики:

$$q = mH^X,$$

где m – коэффициент пропорциональности, зависит от температуры воды и кинетической вязкости;

H – рабочее давление на входе в капельницу, кПа;

X – экспонента расхода воды капельницей, которую определяли режимом потока.

Результаты определения равномерности расходов обрабатывались с применением методов математической статистики [6–8].

Результаты проведенных исследований и расчетов приведены в таблице 3 и на рисунке 1.

Таблица 3 – Технологическая характеристика микроудовыпусков

Наименование	Поливной трубопровод с смонтированными водовыпусками				Капельница				
	Drip in Classic	РАМ	«Аквагол»	ЭЛКО	«Гирас»	КР-2 («Олсон»)	Еуро-Кеу, 2 л/ч	Еуро-Кеу, 4 л/ч	«Супер-тиф НД»
Диаметр поливного трубопровода, мм	16	16	16	16	20	20	20	20	20
Тип водовыпуска	проходной	проходной	проходной	проходной	тупиковый	тупиковый	тупиковый	тупиковый	тупиковый
Формула кривой расходно-напорной характеристики	$0,18H^{0,51}$	$0,18H^{0,47}$	$0,22H^{0,45}$	$0,12H^{0,51}$	$0,32H^{0,59}$	$0,27H^{0,56}$	$0,17H^{0,52}$	$0,29H^{0,56}$	$1,2H^{0,13}$
Коэффициент вариации расхода, %	2-4	2-4	1-3	4-6	4-5	6-17	3-4	1-2	1-3
Коэффициент технологической равномерности расхода капельниц	0,93-0,97	0,94-0,96	0,96-0,98	0,91-0,94	0,92-0,94	0,75-0,90	0,94-0,95	0,96-0,98	0,95-0,98
Экспонента расхода	0,51	0,47	0,45	0,51	0,59	0,56	0,52	0,56	0,13
Масса водовыпуска, г	3,90	0,70	1,75	1,95	9,00	3,00	3,90	3,90	2,80

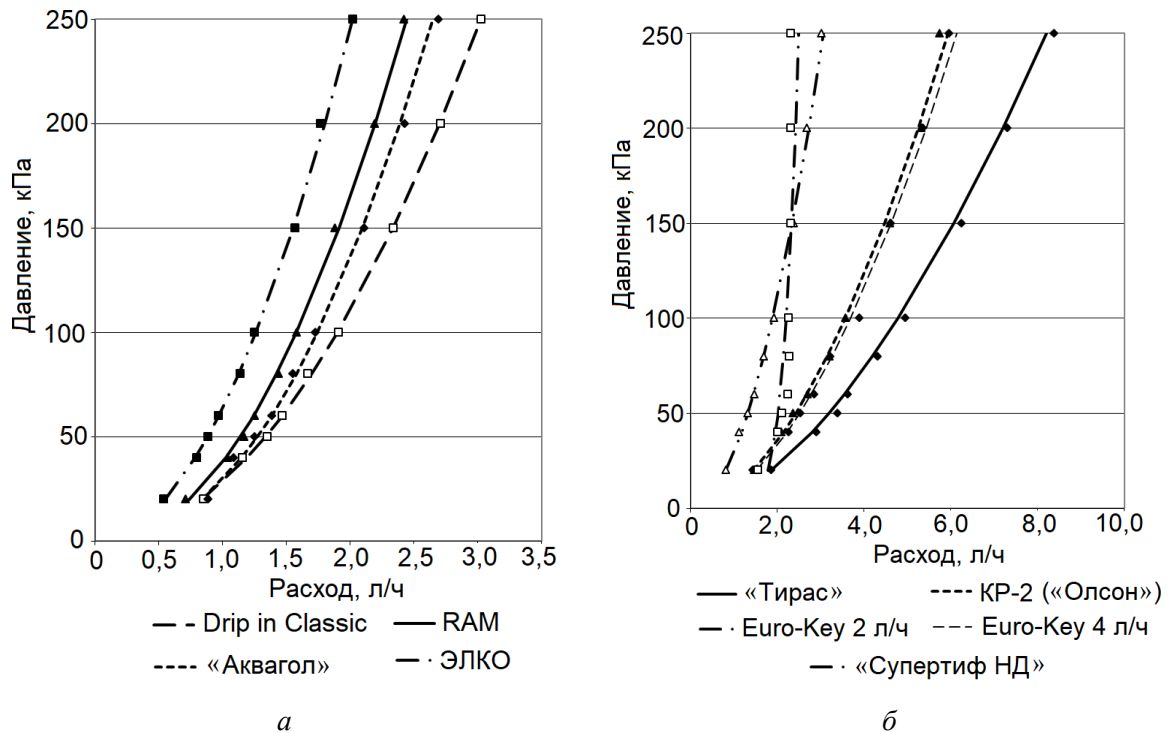


Рисунок 1 – Расходно-напорные характеристики: а – поливных трубопроводов со встроенными проходными водовыпусками; б – тупиковых КВ

Анализ данных лабораторных исследований показал, что с увеличением давления для всех исследуемых моделей поливных трубопроводов средний расход воды возрастает: Drip in Classic от 0,85 до 3,03 л/ч, RAM от 0,71 до 2,42 л/ч, «Аквагол» от 0,89 до 2,69 л/ч, ЭЛКО от 0,54 до 2,02 л/ч. Коэффициент вариации расхода воды для поливного трубопровода ЭЛКО составляет 0,04–0,06, для остальных – 0,01–0,04. Коэффициент технологической равномерности расходов капельниц для ЭЛКО составляет 0,91–0,94, для «Аквагол» – 0,96–0,98, для Drip in Classic – 0,93–0,97, для RAM изменяется в пределах от 0,94 до 0,96. Экспонента расхода находится в пределах 0,45–0,51. Таким образом, можно сделать вывод о том, что поливные трубопроводы со встроенными водовыпусками имеют высокий коэффициент технологической равномерности расходов и коэффициент вариации расхода. Это свидетельствует о равномерности распределения поливной воды.

Если рассматривать результаты, полученные по КВ, хотелось бы подчеркнуть низкое качество работы модели КР-2 («Олсон») производства симферопольского завода «Сизакор». По этой модели были зафиксированы следующие показатели:

- изменение расхода – 1,5–5,7 л/ч;
- коэффициент вариации расхода – 0,06–0,17;
- коэффициент технологической равномерности – 0,75–0,90;
- экспонента расхода 0,56.

Капельницы «Супертиф НД» компании Plastro (Израиль) и Euro-Key компании Togo Ag (Италия) имеют стабильные напорно-расходные характеристики:

- изменение расхода – 1,56–2,32 и 0,83–5,96 л/ч соответственно;
- коэффициент вариации расхода – 0,01–0,03 и 0,01–0,04;
- коэффициент технологической равномерности – 0,95–0,98 и 0,94–0,98;
- экспонента расхода 0,13 и 0,52–0,56.

Если сравнивать технико-технологические показатели по этим двум моделям, капельницы «Супертиф НД» имеют лучшие показатели и их можно рекомендовать для использования на местности с большими уклонами.

Отдельно хотелось бы остановиться на капельницах «Тирас» украинского производства. По результатам проведенных исследований (изменение расхода 1,86–8,38 л/ч, коэффициент вариации расхода 0,04–0,05, коэффициент технологической равномерности 0,92–0,94), данная модель имеет довольно стабильные напорно-расходные характеристики, однако следует отметить, что изначально она рассчитана на большой расход и при давлении 250 кПа этот показатель превышает 8 л/ч (при проектном значении 4 л/ч).

Выводы:

- поливные трубопроводы со встроенными интегрированными микроводовыпусками имеют более высокий коэффициент технологической равномерности расходов (0,92–0,98) и коэффициент вариации (0,02–0,03), поэтому их использование в системах КО позволит получать существенную прибавку урожая сельскохозяйственных культур при значительной экономии поливной воды;

- компенсированная капельница «Супертиф НД» производства Plastro (Израиль) имеет стабильную расходно-напорную характеристику и может использоваться на местности с крутыми склонами;

- капельница КР-2 («Олсон») производства симферопольского завода «Сизакор» имеет недостаточную равномерность раздачи расходов воды, закладывать в проекты такие водовыпуски нецелесообразно;

- капельница «Тирас» украинского производства имеет довольно стабильные напорно-расходные характеристики, однако изначально по конструкции она рассчитана на большие расходы и в результате исследования установлено, что при паспортной характеристике расхода 4 л/ч данный показатель при давлении 250 кПа превышает значение 8 л/ч.

Список использованных источников

1 Повышение надежности оросительных систем / И. И. Науменко, А. В. Подласов, А. М. Сидоренко, З. Р. Маланчук, С. В. Бальва, А. И. Токар; под ред. И. И. Науменко. – Киев: Урожай, 1989. – 96 с.

2 Келлер, Дж. Проектирование систем капельного орошения / Дж. Келлер, Д. Кармели. – 1-е изд. – Киев: Укргипроводхоз, 1976. – 166 с.

3 Сторчоус, В. Н. Распределение оросительной воды различными типами водовыпусков по длине поливных трубопроводов и на модуле системы капельного орошения / В. Н. Сторчоус, В. И. Кременской, И. Н. Софроний // Строительство и техногенная безопасность. – 2008. – № 24–25. – С. 173–177.

4 Сторчоус, В. Н. Гидравлические исследования капельных водовыпусков систем капельного орошения / В. Н. Сторчоус, В. И. Кременской, Р. А. Купединова // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Технические науки. – 2013. – № 156. – С. 139–144.

5 Результаты исследований капельниц непрерывного и порционного действия / С. П. Ильин, С. Б. Хроль, В. П. Ардагов, Т. М. Некрасова // Новое в технике и технологии полива: сб. науч. тр. – М.: ВНИИГиМ, 1978. – Вып. 2. – С. 126–146.

6 Номенклатура, методы определения и базовые значения показателей качества элементов систем микроорошения: метод. указания / М. И. Ромащенко, И. В. Драгомирецкий, А. Т. Калеников, В. Н. Корюненко. – Киев: УкрНИИГиМ, 1994. – 77 с.

7 Вознюк, С. Т. Основы научных исследований / С. Т. Вознюк, С. М. Гончаров, С. В. Ковалев. – Киев: Высш. шк., 1985. – 187 с.

8 Дмитриев, Е. А. Применение методов математической статистики в почвоведении, мелиорации и сельском хозяйстве: метод. указания / Е. А. Дмитриев, Г. В. Мотузова, И. Н. Лозановская. – М., Новочеркасск, 1980. – 57 с.

УДК 556.53

А. А. Кузьмичев

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКИ БЕЛЬБЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Целью исследования являлось определение основных гидрографических характеристик р. Бельбек на основе применения геоинформационных систем. В ходе исследований по данным цифровой модели рельефа построена математическая модель реки, проведено ее сопоставление с реальной речной сетью, построена карта границ водосборов и определены основные морфометрические характеристики. Сделаны выводы о соответствии расчетных значений фактическим.

Ключевые слова: Республика Крым, река Бельбек, гидрографическая характеристика, геоинформационные системы, местный сток.

A. A. Kuzmichov

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

DETERMINATION OF HYDROGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF THE BELBEK RIVER USING GEOINFORMATION SYSTEMS

The purpose of study was to determine the main hydrographic characteristics of the Belbek river based on the geoinformation systems application. In the course of research the river's mathematical model was constructed on the basis of data of the digital terrain model, its comparison with the real river network was made, a map of the boundaries of watersheds was formed, and the main morphometric characteristics were determined. Conclusions are made on the correspondence between the calculated values and the actual ones.

Key words: Republic of Crimea, the Belbek River, hydrographic characteristics, geoinformation systems, local runoff.

Традиционно Крымский полуостров характеризуется недостаточным увлажнением и является регионом Российской Федерации, наименее обеспеченным собственными водными ресурсами.

Орошаемое земледелие Республики Крым базировалось на водных ресурсах Северо-Крымского канала (СКК), по которому на полуостров поступало до 85 % потребляемой пресной воды. Прекращение подачи днепровской воды в 2014 г. привело к значительному дефициту водных ресурсов в аграрном секторе.

Альтернативой для развития орошаемого земледелия является использование водных ресурсов местного стока. Это возможно за счет увеличения зарегулированности речного стока путем строительства новых водохранилищ.

Вместе с тем техногенная нагрузка на реки Крыма возрастает. Их водные ресурсы используются и для водоснабжения, и для орошения. Так, в 1990 г. в водохозяйственном балансе республики воды крымских рек составляли 8,5 %, в 2003 г. вклад рек возрос до 17,6 %, а с прекращением подачи воды по СКК в 2014 г. нагрузка увеличилась еще больше [1].

В связи с этим необходимо комплексное изучение гидрографических характеристик рек Крымского полуострова.

Гидрологические исследования сложно представить без использования карто-

графических материалов для комплексного изучения водных ресурсов и их пространственно-временного распределения. Выполнение подобных работ можно автоматизировать с использованием геоинформационных систем (ГИС).

Исходными данными для определения гидрографических характеристик, как правило, являются данные по гидрографии (речной сети), рельефу местности, среднемноголетним расходам реки. В последнее время в качестве этих данных все чаще используются слои электронных карт по рекам, цифровые модели рельефа (ЦМР) и рассчитанные значения среднемноголетних расходов с использованием данных по картам модуля стока [2].

Функции анализа ЦМР и расчета гидрографических характеристик рек и их бассейнов доступны во многих программных средствах ГИС, как свободно распространяемых, так и проприетарных. Наиболее широки функциональные возможности свободно распространяемых программных продуктов TAS и SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis).

В рамках данного исследования использовался модуль ArcHydro геоинформационной системы ArcGIS for Desktop (ESRI, США) [3].

В качестве источников данных о рельефе местности выступают цифровые модели рельефа. В настоящей работе были использованы два типа цифровых моделей рельефа: покрытие Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), охватывающее территорию южнее 60° с. ш. и севернее 54° ю. ш., и электронные топографические карты масштаба 1:100000 [4].

Ресурсы пресной воды располагаются по территории Крыма неравномерно из-за особенностей ландшафта. Самыми сухими районами являются северо-западная и восточная территория полуострова. Наиболее обеспеченными пресной водой являются районы, расположенные у подножия северных склонов центра Главной гряды Крымских гор. Здесь с северо-западных склонов Главной гряды берут свое начало самые значительные по протяженности и водности реки Крымского полуострова – Черная, Бельбек, Кача, Альма и Западный Булганак.

Наибольший интерес для возможного регулирования речного стока представляет р. Бельбек. Она является одной из наиболее многоводных рек Крыма: среднемноголетний расход воды в устье (у с. Фруктового) равен 2,08 м³/с, что составляет 65,5 млн м³/год. Средний уклон реки на всем протяжении составляет 6,0 м/км.

Верховья Бельбека находятся на северо-западных склонах Горной гряды Крымских гор. Река начинается у с. Счастливого слиянием р. Бююк-Узенбаш и Манаготра. В верхнем своем течении р. Бельбек является типичной горной рекой. В среднем и нижнем течении река течет со значительно меньшими, чем в верховьях, уклонам, по V-образной долине.

Бельбек имеет два притока. Левобережный приток – р. Коккозка – имеет длину 18 км, образуется слиянием двух р. Аузун-Узень и Сары-Су. В среднем течении в Бельбек впадает р. Урасу-Дереси.

Для решения задачи построения водосборных площадей и расчета основных характеристик применяются математические модели сетей рек. Для выделения по цифровой модели рельефа контуров сети реки необходимо выполнить последовательность операций с использованием инструментов Spatial Analyst модуля ArcHydro:

- заполнение локальных понижений в ЦМР (функция Fill);
- построение растра направления стока (функция Flow Direction);
- построение растра кумулятивного стока (функция Flow Accumulation);
- идентификация водотоков;
- определение точек устьев или замыкающих створов;
- выделение границ водосборов (функция Watershed).

В результате работы модуля построены линии водотоков р. Бельбек. Для автоматизированного выделения водосборных областей в качестве исходных данных необ-

ходим растр направлений стока и координаты местоположения замыкающих створов. В качестве замыкающих створов можно использовать сеть гидрологических постов Росгидромета.

На рисунке 1 показана выделенная водосборная область р. Бельбек и представлено сопоставление математической сети водотоков, полученных на основе данных SRTM, с реальной рекой, полученной на основе космоснимка. Как видно из рисунка 1, синтетические водотоки и реальные хорошо коррелируют между собой.

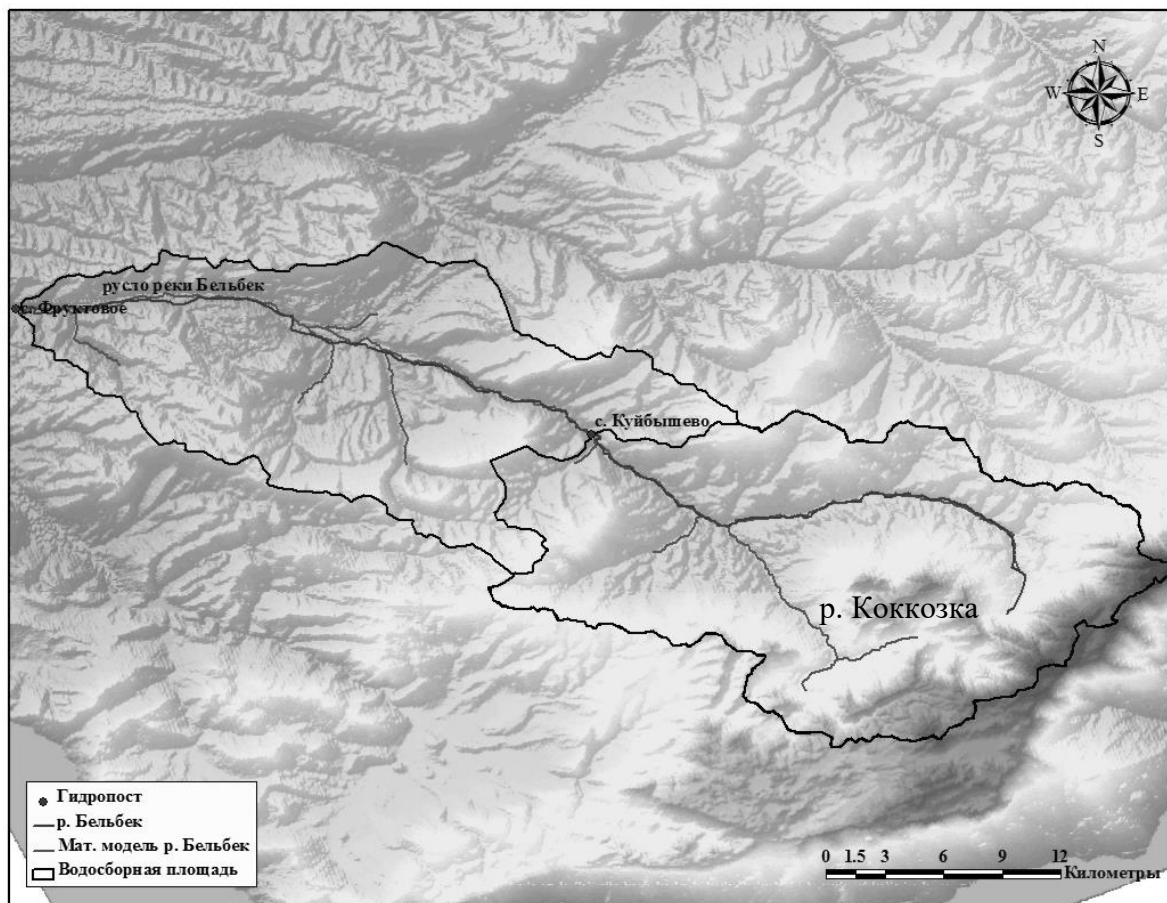


Рисунок 1 – Выделенная водосборная область р. Бельбек

Наиболее часто используемыми морфометрическими характеристиками, дающими достаточно полное представление о характере, форме и размерах водосборных областей, являются площадь водосборной области, средняя высота, средний уклон и густота речной сети. Они могут быть вычислены методами оверлейных операций или с помощью зональной статистики.

Таким образом, с использованием программных продуктов и средств ГИС возможно выполнить весь комплекс работ по оценке условий формирования стока на водосборах и определить их основные гидрографические характеристики.

Внедрение геоинформационных технологий, использование цифровых картографических материалов и ЦМР значительно упрощает расчеты гидрографических характеристик и повышает их точность, что позволяет экономить трудовые, временные и денежные ресурсы по сравнению с традиционным способом выполнения подобных работ, подразумевающим обработку информации вручную.

Использование программного обеспечения, продуктов и средств ГИС позволяет накапливать и систематизировать результаты ежегодных экспедиционных исследований и производить их научную обработку.

Список использованных источников

1 Поверхностные водные объекты Крыма. Управление и использование водных ресурсов: справочник / А. А. Лисовский [и др.]; под ред. А. А. Лисовского. – Симферополь: Крымучпедгиз, 2011. – 242 с.

2 Пьянков, С. В. Применение геоинформационных технологий в гидрологических исследованиях / С. В. Пьянков, В. Г. Калинин. – Пермь: Алекс-Пресс, 2010. – 217 с.

3 Шихов, А. Н. Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач / А. Н. Шихов, Е. С. Черепанов, А. И. Пономарчук; под. общ. ред. А. Н. Шихова. – Пермь: Изд. центр ПГНИУ, 2014. – 91 с.

4 Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://srtm.csi.cgiar.org>, 2014.

УДК 633.854:633.521:504

А. Л. Рудик, Н. М. Рудик

Херсонский государственный аграрный университет, Херсон, Украина

**ИЗУЧЕНИЕ АДАПТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СОРТОВ ЛЬНА
МАСЛИЧНОГО В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЛАГООБЕСПЕЧЕНИЯ**

Целью исследований являлось изучение сортовых особенностей продуктивности льна масличного различных экотипов при орошении и без орошения. На основе анализа экологической стойкости осуществлена комплексная оценка исследуемых сортов для двойного использования. Установлено, что сорт Орфей по сочетанию урожайности семян и соломы обладает наивысшей общей и специфической адаптивной способностью. Среди сортов Орфей, Айсберг и ВНИИМК 620, которые обеспечивали наивысшую урожайность семян, максимальной стабильностью характеризовался последний.

Ключевые слова: лен масличный, орошение, семена, солома, экологическая стойкость, стабильность, пластичность.

A. L. Rudik, N. M. Rudik

Kherson State Agrarian University, Kherson, Ukraine

**STUDY OF ADAPTIVE ABILITY OF OIL FLAX VARIETIES
OF UNDER VARIOUS CONDITIONS OF WATER SUPPLY**

The purpose of research was to study the varietal characteristics of oil flax productivity of different ecotypes under irrigation and without irrigation. Based on the analysis of environmental sustainability, a comprehensive assessment of the varieties under study for a dual use was carried out. It has been found that the Orpheus variety has the highest overall and specific adaptive ability by combining the yields of seeds and straw. Among the varieties Orpheus, Iceberg and VNIIMK 620, which provided the highest yield of seeds, VNIIMK 620 was characterized by the maximum stability.

Key words: oil flax, irrigation, seeds, straw, environmental sustainability, stability, plasticity.

Введение. Преимущество современных адаптивных и инновационных технологий во многом обеспечено сознательным учетом сортовых особенностей выращиваемых культур. Использование стабильных по урожайности, пластичных к условиям внешней среды сортов и гибридов, созданных для определенного уровня интенсивности технологий, рассматривается как наиболее дешевый и действенный способ повышения результативности сельскохозяйственного производства. Проблема решается подбором сортовых ресурсов с определенным взаимодействием в системе «генотип –

внешняя среда – технология – продуктивность». С учетом биологических особенностей льна масличного, возможности более широкого использования культуры исследование реакции его сортов на различные условия увлажнения имеет важное научное и практическое значение.

Материал и методы. Исследования проводились на базе Асканийской государственной сельскохозяйственной опытной станции (с. Тавричанка, Каховский район, Херсонская область). Почвы опытного участка темно-каштановые слабосолонцеватые, содержат в пахотном слое 3,12 % гумуса, обеспеченность почв фосфором низкая и средняя, калием – высокая. Ирригация осуществлялась из Каховской оросительной системы. Поливами методом дождевания, установкой фронтального типа Zimmatik поддерживали влажность почвы в слое 0,7 м на уровне 65–70 % НВ. В годы исследований проводили два-три полива нормой 400 м³/га.

Погодные условия периода исследований характеризовались существенным превышением температурного режима и большими колебаниями поступления осадков. Гидротермический коэффициент варьировал от 0,56 в 2011 г. до 0,93–1,05 в 2012 и 2013 гг. Общее количество осадков соответственно составило 130, 214 и 200 мм. С учетом температурного режима, запасов почвенной влаги и поступления осадков в прегенеративный период развития культуры более благоприятным для растений был 2011 г., что отразилось на состоянии посевов и в условиях орошения.

Для оценки экологической стойкости урожайности исследуемого сортового состава льна в различных условиях влагообеспечения был применен метод анализа по общей и специфической адаптивной способности [1]. Данная методика позволяет оценить объекты селекции по стойкости к абиотическим и биотическим факторам на основании их общей и специфической адаптивной способности и стабильности. Поскольку режим орошения культуры определялся фактическими метеорологическими условиями, отличия в урожайности сортов в различных условиях увлажнения в годы исследований рассматривались как взаимодействие сорта и условий среды, эффект которого анализируется как дисперсионный комплекс.

Поскольку в технологиях двойного использования льна масличного хозяйственно ценным сырьем являются как семена, так и солома, то оценка сорта предусматривала измерение урожайности обоих видов продукции [2, 3].

Результаты и обсуждение. В селекции для оценки гомеостатичности применяют широкий перечень критериев, которые отображают разные стороны процесса [4].

В данном случае для оценки параметров адаптивной способности и экологической стабильности сортов целесообразно использовать такие статистические показатели, как среднее значение его полезных признаков, общую (ОАС) и специфическую (САС) адаптивную способность, относительную стабильность, пластичность, ценность генотипа (ЦГ).

Адаптивная способность отображает реакцию сортов при определенных условиях. При этом общая адаптивная способность (ОАС) характеризует средние значения полезных признаков во всем диапазоне условий среды, а специфическая адаптивная способность (САС) – такие отклонения от первой в конкретной среде. Относительная стабильность позволяет осуществить сравнение с разным набором сортов, сред и признаков.

Экологическая пластичность сорта есть его биологическая способность приспосабливаться к условиям проживания и, соответственно, сохранять стабильно высокие значения полезных признаков в разных природно-климатических условиях [5]. Чем более пластичен сорт, тем выше стойкость его признаков при переменных условиях внешней среды и выше его способность формировать урожай на высоком агрономическом фоне как в благоприятных, так и в неблагоприятных условиях.

Ценность генотипа является показателем, который отображает сочетание в одном объекте высокой продуктивности и стабильности.

Статистическая обработка опытных данных свидетельствует о достоверности влияния исследуемых эффектов и характеризует влияние каждого из них на величину урожая семян и соломы (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа урожайности семян и соломы льна масличного различных сортов

В ц/га

Источник варьирования	Семена				Солома			
	S^2	F_ϕ	F_{05}	Влияние, %	S^2	F_ϕ	F_{05}	Влияние, %
Условия влагообеспеченности (фактор А)	305,0	476,0	2,25	51,6	1891	1060	2,25	62,4
Ошибка I (CZI)	81,3	126,9	1,76	5,6	308,4	172,9	1,76	3,0
Сорта (фактор В)	3,22	5,03	1,36	35,7	18,9	10,6	1,36	26,5
Взаимодействие АВ	0,641	–	–	7,1	1,78	–	–	8,1

По каждому из факторов и их взаимодействию при 5%-м уровне значимости $F_\phi > F_{05}$. Наибольшее влияние на формирование урожая семян и соломы имеет обеспечение культуры влагой (51,6 и 62,4 % соответственно). Влияние сорта оценивается соответственно на уровне 35,7 и 26,5 %, тогда как их взаимодействие составляет 7,1 % для семян и 8,1 % – для соломы.

Расчеты параметров экологической стойкости сортов в разных условиях увлажнения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры адаптивной способности и стабильности сортов льна в различных условиях увлажнения

Сорт	Параметр						
	V_i ОАС	$\sigma^2(G \times E)_{gi}$	$\sigma^2 CAC_i$	S_{gi}	$\Pi\Gamma_i$	K_{gi}	L_{gi}
1	2	3	4	5	6	7	8
Семена							
Айсберг	1,11	0,33	5,69	14,9	8,69	1,07	0,06
Влакотно помаранчевуї	0,41	0,50	5,95	16,0	7,82	1,12	0,08
Vira	0,22	-0,05	4,42	13,9	8,67	0,83	-0,01
ВНИИМК 620	1,03	0,22	7,23	16,9	7,68	1,36	0,03
Hlinum	-5,87	2,47	2,05	16,0	4,61	0,39	1,21
Дебют	0,20	0,42	8,35	19,2	6,24	1,57	0,05
Эврика	0,65	0,02	5,89	15,7	8,10	1,11	0,00
Золотистый	-1,42	0,93	6,45	18,9	5,69	1,21	0,14
Кивика	-0,47	0,08	5,81	16,8	7,03	1,09	0,01
Лирина	0,86	0,85	8,46	18,5	6,85	1,59	0,10
Nadiinyi	0,80	0,01	6,17	15,9	8,08	1,16	0,00
Орфей	1,41	1,29	7,29	16,6	8,03	1,37	0,18
Южная ночь (St)	0,05	0,97	4,75	14,6	8,26	0,89	0,20
Ручеек	1,02	0,70	6,33	15,9	8,20	1,19	0,11
Солома							
Айсберг	-1,82	3,70	15,42	18,6	13,71	0,46	0,24
Влакотно помаранчевуї	0,58	3,39	31,97	24,0	12,83	0,96	0,11
Vira	-2,38	0,46	39,12	30,4	8,72	1,17	0,01
ВНИИМК 620	-1,82	6,76	19,98	21,1	12,68	0,60	0,34
Hlinum	8,43	3,74	51,23	22,8	17,82	1,53	0,07
Дебют	-3,95	1,69	22,64	25,0	10,00	0,68	0,07
Эврика	0,40	0,58	30,97	23,8	12,81	0,93	0,02

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Золотистый	-4,88	0,94	32,24	31,4	7,32	0,97	0,03
Кивика	-2,28	1,32	45,34	32,5	7,91	1,36	0,03
Лирина	1,87	2,26	38,10	24,8	13,13	1,14	0,06
Nadiinyi	5,55	16,79	74,44	30,2	12,15	2,23	0,23
Орфей	0,78	5,49	56,48	31,6	9,50	1,69	0,10
Южная ночь (St)	-1,62	3,38	46,83	32,0	8,37	1,40	0,07
Ручеек	1,12	6,03	24,16	20,4	14,77	0,72	0,25

При анализе семенной продуктивности обнаружено, что наивысшей общей адаптивной способностью характеризовались сорта Орфей, Айсберг, ВНИИМК 620, которые в среднем в исследуемых условиях формировали наивысший урожай. Наименьшая ОАС проявилась у сорта льна-долгунца Hlimum и сорта Золотистый. По урожайности соломы максимальная общая адаптивная способность была у сорта Hlimum, а среди объектов масличного назначения у сортов Nadiinyi и Лирина. С позиций двойного использования в группу объектов с наивысшей общей адаптивной способностью входят сорта Орфей, Ручеек, Лирина и Nadiinyi.

По вариансе $\sigma^2(G \times E)_{gi}$ оценивается взаимодействие объектов и среды. Она позволяет оценивать норму реакции каждого сорта на единицу изменения среды. Наивысшей она была у сортов Hlimum, Орфей, Южная ночь, Золотистый при использовании их для получения семян и у сортов Nadiinyi, ВНИИМК 620 и Ручеек при техническом применении соломы. При двойном использовании продукции льна масличного такими являются сорта Орфей, Ручеек, Nadiinyi и Южная ночь. Высокая окупаемость орошения сортом Hlimum, по нашему мнению, предопределена его экотипом, поскольку условия зоны сухой Степи для него являются экстремальными.

В качестве критерия стабильности каждого сорта может выступать вариантса SAC_i . Исходя из σ^2SAC_i , наиболее пластичными в исследуемых условиях по урожайности семян были сорта Лирина, Дебют и Орфей, а по урожайности соломы – сорта Nadiinyi, Орфей и Hlimum.

Между показателями урожайности и стабильности выявлена тесная корреляционная связь, которая составляла для семян $R_n = 0,71$, а для соломы $R_c = 0,58$. Это косвенно свидетельствует о значительной роли сортовых особенностей в формировании урожайности льна масличного в условиях аридного климата.

На основе показателей стабильности была определена относительная устойчивость сортов S_{gi} как универсальная величина, которая характеризует способность сорта формировать неизменные значения признаков в различных условиях среды. При использовании льна на семена относительная стабильность сортов колебалась от 19,2 (сорт Дебют) до 13,9 (сорт Vira). По урожайности соломы колебания происходили в более широком диапазоне и составляли от 32,5 у сорта Кивика до 18,6 у сорта Айсберг. С позиции двойного использования высшую стабильность по выходу продукции демонстрировали сорта Айсберг, Ручеек и Эврика. Среди сортов Орфей, Айсберг и ВНИИМК 620, которые обеспечивали наивысшую урожайность семян, максимальной стабильностью характеризовался сорт ВНИИМК 620 (16,9).

В соответствии с расчетами $ЦГ_i$ преимущество при традиционном использовании льна масличного имеют сорта Айсберг, Vira, Южная ночь, а при применении соломы – Hlimum, Ручеек, Айсберг. Обобщенно при двойном использовании такая группа представлена сортами Айсберг, Ручеек. Наименее пригодными к двойному использованию оказались сорта с измененным жирокислотным составом Золотистый и Кивика.

Коэффициент компенсации K_{gi} отображает стабильность генотипа как способность сорта формировать высокие значения показателей при благоприятных условиях

возделывания и низкие при неблагоприятных. Значения коэффициента колебались от 1,59–1,57 у сортов Лирина и Дебют до 0,39 у сорта Нlinum. При оценке сортов с позиции использования соломы значения коэффициента компенсации колебались от 2,23 у сорта Nadiinyi до 0,46 у сорта Айсберг.

Реакция масличных сортов, выраженная в формировании урожая семян, на изменение условий среды носит линейный характер, что подтверждает значение коэффициента нелинейности L_{gi} , который не превышал 0,2. У сорта Нlinum он достиг наивысшего значения (1,21). По урожайности соломы коэффициент нелинейности достигал наивысшего значения 0,34 у сорта ВНИИМК 620.

Анализ условий среды свидетельствует о существенных преимуществах орошения в процессе формирования урожайности как семян, так и соломы (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка параметров условий среды

Продукция и условия	Параметр среды					
	$u + dk$	$\sigma^2(G \times E)_{ek}$	$\sigma^2ДЗС_k$	S_{gk}	L_{ek}	K_{ek}
Семена без орошения	12,8	1,05	4,72	16,9	0,22	0,59
Семена при орошении	16,9	0,72	8,74	17,5	0,08	1,10
Солома без орошения	18,0	4,51	21,20	25,6	0,21	0,43
Солома при орошении	28,0	6,60	38,80	22,3	0,17	0,79

Реакция сортов на орошение, выраженная в увеличении урожайности семян, была меньшей в сравнении с ростом урожайности соломы. Об этом свидетельствует вариант $\sigma^2(G \times E)_{ek}$, которая соответственно условиям увлажнения составляла для семян 1,05 и 0,72, тогда как для соломы 4,51 и 6,6. При этом орошение проявляло сильно выраженную дифференциальную способность относительно сортов. На этом фоне $\sigma^2ДЗС_k$ достигало наивысших значений соответственно 8,74 для семян и 38,8 для соломы. Относительная дифференциальная способность условий орошения S_{gk} в отношении урожайности семян повышалась на 0,6 пункта, тогда как в отношении урожайности соломы уменьшалась на 3,3 пункта. Такая особенность, по нашему мнению, предопределена спецификой исследуемого сортового состава, в котором преобладают сорта масличного назначения. У этих сортов отбор проводился в направлении семенной продуктивности.

Изменчивость урожайности сортов в условиях орошения носит выраженный линейный характер. Коэффициент нелинейности реакции на среду L_{ek} колебался в пределах 0,08–0,22.

Коэффициент компенсации среды K_{ek} свидетельствует, что по исследуемым сортам в условиях орошения урожайность семян и соломы более стабильна по значению в сравнении с условиями естественного увлажнения. Это говорит о том, что в условиях Сухой Степи Украины обеспеченность влагой является ограничивающим фактором в формировании продуктивности льна масличного в отношении основной и побочной продукции. Орошение позволяет полнее реализовать генетический потенциал имеющихся сортов. При этом наблюдается стабилизация и увеличение урожайности как семян, так и соломы.

Выводы. Орошение посевов льна масличного в условиях Сухой Степи способствует увеличению величины и стабильности урожайности семян и соломы. Сорт льна масличного Орфей по урожайности семян и соломы характеризуется сочетанием высокой общей адаптивной способности и пластичности.

Для распространения технологий двойного использования льна масличного селекционный процесс должен обеспечить создание высокопродуктивных объектов, адаптированных к условиям внешней среды по продуктивности одновременно семян и соломы.

Список использованных источников

1 Кильчевский, А. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева // Генетика. – 1985. – № 21(9). – С. 1481–1497.

2 Лазер, П. Н. Продуктивность сортов льна масличного в зоне сухой степи Украины / П. Н. Лазер, А. Л. Рудик, А. В. Князев // Экология на службе устойчивого развития: материалы междунар. науч. эксперт. конф., г. Новый Сад, 26–28 сент. 2013 г. – Новый Сад, 2013. – С. 119–124.

3 Рудик, А. Л. Агроэкологические аспекты рационального использования биологического потенциала льна масличного / А. Л. Рудик // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. Электронный сборник статей: сб. материалов I Междунар. науч.-практ. интернет-конф., 29 февр. 2016 г. – Солёное Займище, 2016. – С. 2088–2096.

4 Базалий, В. В. Принципы адаптивной селекции озимой пшеницы в зоне южной Степи: монография / В. В. Базалий. – Херсон: Айлант, 2004.

5 Корзун, О. С. Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений: учеб. пособие / О. С. Корзун, А. С. Бруйло. – Гродно: ГГАУ, 2011. – 140 с.

УДК 631.582:631.67

С. А. Селицкий

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРОШАЕМЫХ СЕВОБОРОТОВ

Целью работы является подбор культур звеньев орошаемых севооборотов, определение их продуктивности. Полевые исследования на опытном участке проводились по общепринятым методикам Б. А. Доспехова, ВНИИОЗ, ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. В результате исследований установлены показатели суммарного водопотребления звеньев севооборотов (4640–4760 м³/га), найдены лучшие предшественники, определена продуктивность звеньев севооборота.

Ключевые слова: звено севооборота, предшественник, суммарное водопотребление, продуктивность, полевые исследования.

S. A. Selitskiy

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

IMPROVEMENT OF IRRIGATED CROP ROTATIONS

The aim of the work is to select the crops of irrigated crop rotation links and to determine their productivity. Field research on the experimental site was carried out according to the generally accepted methods by B. A. Dospikhov, All-Russian Research Institute for Hunting Husbandry and Livestock Breeding, All-Russian Research Institute of Forages named after V. R. Williams. As a result of research, the indicators of the total water consumption of the crop rotation links (4640–4760 m cubic per ha) were established, the best forecrops were found, the productivity of the crop rotation links was determined.

Key words: crop rotation link, forecrop, total water consumption, productivity, field research.

Введение. В системе земледелия одним из главных звеньев является организация севооборотов, которые определяют применение комплекса агрономических мероприятий, способствующих пополнению запасов питательных веществ в почве и лучшему использованию питательных веществ и удобрений, поддержанию благоприятных физических и биологических свойств почвы и их улучшению, защите почвы от водной и ветровой эрозии, предупреждению распространения сорняков, болезней и

вредителей сельскохозяйственных культур, снижению пестицидной нагрузки на почву, растения и улучшению экологического состояния среды обитания, получению высококачественной продукции.

Экономическая эффективность севооборота заключается в обоснованной структуре посевных площадей, правильном подборе возделываемых культур и сортов с учетом особенностей почвенно-климатических условий зоны и специализации хозяйств.

Исследования, направленные на совершенствование структуры севооборотов, подбор культур, предшественников, проводятся в различных агроклиматических зонах во многих странах.

Результаты исследований доказывают, что на сбережение почвенной влаги в севооборотах влияют количество остатков на поверхности, интервал между культурами, способность стерни задерживать снег, характеристики глубины залегания корней и характеристики почвы, количество осадков и другие факторы [1, 2].

Интересен вывод американских ученых, которые отдают предпочтение севооборотам без четкой последовательности культур или интервала между культурами [3]. Например: пшеница – кукуруза – рапс (или просо) – пшеница – кукуруза – чина – пшеница – чина. Нет повторения культур два года подряд, но сконструирован циклический севооборот и с короткими, и с длинными перерывами. Профессор Двэйн Бэк говорит: «Мы не хотим быть постоянны ни в последовательности, ни в интервале». Тасование разных чередований и интервалов можно выполнять по разным схемам, используя либо выращивание культур два года подряд, либо циклические типы севооборота [4, 5].

Учеными Дакотского университета разработана классификация типов севооборотов как инструмент для их планирования и усовершенствования:

- простые севообороты – севообороты с одной культурой каждого вида, которые используются в установленной последовательности;

- составные севообороты – комбинации двух и более простых севооборотов в определенной последовательности с целью создания более продолжительной и разнообразной системы;

- сложные севообороты – севообороты, в которых варьируются культуры одного типа, что дает широкий спектр комбинаций типов и чередований культур;

- двухлетние севообороты (stacked) – севообороты, в которых однолетние культуры высевают повторно (обычно два года), после чего следует длительный перерыв [6, 7].

Наиболее интересным представляется применение составных севооборотов, в которых можно сочетать различные звенья, наиболее отвечающие природно-климатическим факторам территории и экономическим интересам.

Учеными ФГБНУ «РосНИИПМ» на протяжении многих лет проводились исследования по изучению продуктивности звеньев севооборота, подбору культур и предшественников, ресурсосберегающих элементов технологии возделывания культур.

Материал и методы. В 1993 г. в ЗАО «Нива» Веселовского района был заложен многолетний опыт по изучению предшественников сои (озимой пшеницы, кукурузы на зерно и картофеля) в пяти звеньях орошаемых севооборотов: многолетние травы – многолетние травы – озимая пшеница; многолетние травы – озимая пшеница – озимая пшеница; озимая пшеница – озимая пшеница – кукуруза на зерно; озимая пшеница – озимая пшеница – кукуруза на зерно; многолетние травы – озимая пшеница – картофель.

Почвенный покров на опытных участках представлен обыкновенными средне-мощными среднегумусными черноземами на лессовидном тяжелом суглинке. Мощность гумусового горизонта колеблется в пределах 50–80 см при содержании гумуса до 5 %. Содержание в пахотном слое азота и фосфора среднее, калия – высокое, рН 6,5–7,0. По механическому составу почвы относятся к тяжелосуглинистым и имеют высокую водоудерживающую способность: НВ в слое почвы 0,6 м составляет 27,9 %, в слое 1,0 м – 26,8 % от веса сухой почвы. Плотность сложения в слое 0,6 м равна 1,28 т/м³.

Опыт по подбору культур для звеньев орошаемого кормового севооборота и изучению их продуктивности проводился в ОАО «Агрофирма «Село Ворошилова» Предгорного района Ставропольского края в 2011, 2012 гг.

Почвенный покров района исследований представлен черноземами выщелоченными и типичными, среднемощными, среднегумусными, тяжелосуглинистыми, сформировавшимися на галечниках.

Мощность гумусового горизонта составляет 50–65 см, содержание гумуса высокое – до 6,3 %, запасы гумуса в метровой толще в среднем равны 475 т/га. В слое 0–30 см содержание азота нитратного равно 4,05 мг/кг, подвижного фосфора – 19,81 мг/кг, обменного калия – 301,8 мг/кг.

Схема изучаемых звеньев севооборота включала 12 вариантов: звено 1) кукуруза – кукуруза; звено 2) кукуруза – соя; звено 3) кукуруза – сорго; звено 4) соя – кукуруза; звено 5) соя – соя; звено 6) соя – сорго; звено 7) сорго – кукуруза; звено 8) сорго – соя; звено 9) сорго – сорго; звено 10) кормосмеси – кукуруза; звено 11) кормосмеси – соя; звено 12) кормосмеси – сорго.

На посевах применялись следующие сорта и гибриды: кукуруза Машук 390 МВ, соя Адажио, сорго сахарное Ларец.

Полевые исследования на опытном участке проводились по общепринятым методикам Б. А. Доспехова, ВНИИОЗ, ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса [8–10].

Результаты и обсуждение. Выпавшие за вегетацию осадки, использованная влага из почвы и оросительная вода сформировали показатели суммарного водопотребления севооборотов. В результате проведенных исследований установлено, что суммарное водопотребление изменялось в зависимости от предшественников в интервале 4640–4760 м³/га и было наибольшим при возделывании сои в звене севооборота «многолетние травы – многолетние травы – озимая пшеница» [11].

При одинаковом пороге увлажнения 75–80 % НВ в слое почвы 0,6 м количество использованной из почвы влаги, которое изменялось от 216 до 337 м³/га, стало единственным фактором, влияющим на величину суммарного водопотребления, чем и объясняется небольшая разница в нем по вариантам опыта.

В варианте 1 из почвы было использовано влаги на 11,9–35,9 % больше в сравнении с другими вариантами, но это повлекло превышение величины суммарного водопотребления всего на 0,9–2,5 %. Это объясняется тем, что в структуре суммарного водопотребления влага, использованная из почвы, составила всего 7,1 %, а на долю оросительной нормы и осадков пришлось 54,2 и 38,7 % соответственно. По другим вариантам опыта составляющие суммарного водопотребления распределились следующим образом: влага, использованная из почвы, – 4,7–6,3 %, осадки – 39,0–39,7 %, оросительная вода – 54,7–55,6 % (рисунок 1).

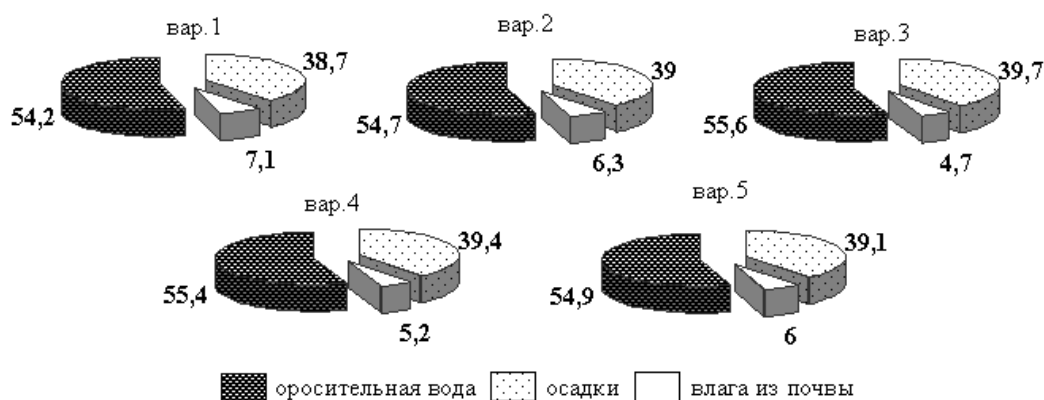


Рисунок 1 – Структура суммарного водопотребления сои в зависимости от предшественника

Лучшие условия влагообеспеченности посевов сои в 1-м звене севооборота позволили получить максимальный урожай сои (3,31 т/га). В этом варианте коэффициент водопотребления составил 1440 м³/т, что меньше, чем в остальных вариантах, на 80–260 м³/т, т. е. в звене севооборота «многолетние травы – многолетние травы – озимая пшеница» влага использовалась наиболее продуктивно. Наибольшее количество воды на формирование единицы урожая было потрачено в варианте 3 в звене севооборота «озимая пшеница – озимая пшеница – кукуруза на зерно», здесь коэффициент водопотребления составил 1700 м³/га.

Анализ продуктивности звеньев орошаемых севооборотов, проведенный в Ставропольском крае, позволяет их рекомендовать для включения в различные севообороты.

Было выявлено, что для кукурузы, сои, сахарного сорго и кормосмесей наилучшими предшественниками являлись кукуруза и соя (таблица 1).

Таблица 1 – Продуктивность звеньев севооборота

Звено севооборота	Урожайность звена севооборота, т/га	Сбор с 1 га, т	
		кормовых единиц	переваримого протеина
1 Кукуруза – кукуруза	65,93	11,87	1,08
2 Кукуруза – соя	58,77	10,82	1,38
3 Кукуруза – сорго	87,74	19,06	1,54
4 Соя – кукуруза	74,61	13,54	1,65
5 Соя – соя	45,25	8,47	1,31
6 Соя – сорго	66,73	14,28	1,76
7 Сорго – кукуруза	81,20	17,89	1,61
8 Сорго – соя	77,48	15,93	1,91
9 Сорго – сорго	103,09	23,96	1,85
10 Кормосмесь – кукуруза	89,02	18,57	1,72
11 Кормосмесь – соя	88,80	19,73	1,68
12 Кормосмесь – сорго	113,58	24,47	2,20

По предшественнику «кукуруза» звено «кукуруза – сорго» показало наибольшую продуктивность (87,74 т/га зеленой массы, 19,06 т к. е./га и 1,54 т/га переваримого протеина). По предшественнику «соя» наибольшую продуктивность показало звено «соя – сорго» (66,73 т/га зеленой массы, 14,28 т к. е./га и 1,76 т/га переваримого протеина). По предшественнику «сорго» наибольшую продуктивность показало звено «сорго – сорго» (103,09 т/га зеленой массы, 23,96 т к. е./га и 1,85 т/га переваримого протеина). По предшественнику «кормосмеси» наибольшую продуктивность показало звено «кормосмеси – сорго» (113,58 т/га зеленой массы, 24,47 т к. е./га и 2,20 т/га переваримого протеина).

Все звенья севооборотов имеют высокую продуктивность и подходят для включения в кормовые и зернокормовые севообороты.

Наилучшие предшественники в звеньях севооборота в порядке значимости для сои, кукурузы и сахарного сорго – кукуруза, соя, сорго, кормосмеси.

Выводы. Исследования позволили установить, что в опыте 1 урожайность сои более высокая (3,31 т/га) при посеве ее после предшественника «озимая пшеница» в звене севооборота «многолетние травы – многолетние травы – озимая пшеница» в сравнении с 2,74 т/га при посеве ее после звена севооборота «озимая пшеница – озимая пшеница – кукуруза на зерно» и 2,87 т/га после звена севооборота «многолетние травы – озимая пшеница – картофель».

В опыте 2 наибольшая продуктивность отмечена в звеньях севооборота «кукуруза – соя», «соя – кукуруза», «сорго – сорго», «кормосмесь – сорго», в которых получены максимальная урожайность, сбор комовых единиц и переваримого протеина.

Список использованных источников

1 Seifert, C. A. Continuous Corn and Soybean Yield Penalties across Hundreds of Thousands of Fields / C. A. Seifert, M. J. Roberts, D. B. Lobell // *Agronomy Journal*. – 2017. – Vol. 109, № 2. – P. 541–548.

2 Почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие: теория и методика исследований / под ред. Х. Муминджанова. – Анкара: Субрегион. отд-ние ФАО по Центр. Азии, 2016. – 177 с.

3 Принципы севооборота: лучшая десятка Бэка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agronews.org/blog/printsipy-sevooborota-luchshaya-desyatka-beka/>, 2017.

4 Новые и старые идеи о севообороте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sdexpert.ru/stats/773>, 2017.

5 Хэгни, М. Чередование культур: неожиданные решения / М. Хэгни // *Зерно: Всеукраинский журнал современного агропромышленника* [Электронный ресурс]. – 2012. – № 8. – Режим доступа: <http://zerno-ua.com/journals/2012/avgust-2012-god/cheredovanie-kultur-neozhidannye-resheniya>, 2017.

6 Бэк, Д. Новый подход к планированию и разработке севооборотов / Д. Бэк // *Зерно: Всеукраинский журнал современного агропромышленника* [Электронный ресурс]. – 2012. – № 8. – Режим доступа: <http://zerno-ua.com/journals/2012/avgust-2012-god/novyy-podhod-k-planirovaniyu-i-razrabotke-sevooborotov>, 2017.

7 Хэгни, М. Высокий урожай при двухлетнем повторном посеве культур / М. Хэгни // *Зерно: Всеукраинский журнал современного агропромышленника* [Электронный ресурс]. – 2012. – № 8. – Режим доступа: <http://zerno-ua.com/journals/2012/avgust-2012-god/vysokiy-urozhay-pri-dvuhletnem-povtornom-poseve-kultur>, 2017.

8 Методика по организации и ведению мониторинга орошаемых земель / Н. С. Скуратов [и др.]; под ред. Н. С. Скуратова. – Новочеркасск: НГМА, 2000. – 52 с.

9 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

10 Горянский, М. М. Методика полевых опытов на орошаемых землях / М. М. Горянский. – Киев: Урожай, 1970. – 84 с.

11 Андреева, Т. П. Особенности агротехники сои на орошаемых черноземах Ростовской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Андреева Татьяна Петровна. – Новочеркасск, 2004. – 23 с.

УДК 631.674

Н. Е. Волкова

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

Р. Ю. Захаров

Академия строительства и архитектуры Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

ДОЖДЕВАНИЕ КАК СПОСОБ ПОЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

В Крымском регионе до прекращения поставок воды от внешнего водосточника дождевание было наиболее широко используемым способом полива, на его долю приходилось до 70 % политых площадей. Сейчас из-за усиления дефицита водных ресурсов в данном направлении сформировался целый ряд проблем. В первую очередь это протаивание дорогостоящей техники, сокращение рабочих мест. Данная работа направлена на то, чтобы показать, что дождевание является перспективным способом полива для Крымского региона и, рассматривая дальнейшую стабилизацию ситуации в оро-

шаемом земледелии республики, необходимо учитывать интересы предприятий-сельхозтоваропроизводителей, а также имеющийся материально-технический потенциал.

Ключевые слова: орошаемое земледелие, дождевальная техника, капельное орошение, дождевание, урожайность культур.

N. Ye. Volkova

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

R. Yu. Zakharov

Academy of Construction and Architecture V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

SPRINKLING AS AN IRRIGATION METHOD IN THE REPUBLIC OF CRIMEA

In the Crimean region before water supply from the external water source ceased, sprinkling had been the most widely used irrigation method, it accounted for up to 70 % of the watered areas. Now, due to the increasing scarcity of water resources, a number of problems have been arisen in this direction. First of all, this is the downtime of expensive equipment and job cuts. This work is aimed at showing that sprinkling is a promising irrigation method for the Crimean region and considering further stabilization of situation in irrigated agriculture of the republic, it is necessary to take into account the interests of agricultural enterprises and the existing material and technical potential.

Key words: irrigated agriculture, irrigation technique, drip irrigation, sprinkling, crop yield.

Вопрос выбора наиболее подходящего способа полива остается актуальным и в наши дни. Сказать однозначно, например, что капельное орошение является лучшим вариантом в сравнении с поверхностным способом и дождеванием, нельзя, так как это зависит от большого количества факторов и приоритетов. Каждый способ полива имеет свои достоинства и недостатки, на протяжении многих десятков лет проводится их усовершенствование, а выбор основывается исходя из хозяйственных, почвенно-климатических и экономических условий. Словесно данный подход описан в справочнике «Механизация полива» [1]: «Несовершенных (неперспективных) способов полива нет. Несовершенной может быть технология этого способа, а степень совершенства технологий и технических средств полива с позиции системного анализа должна оцениваться в составе оросительной системы и комплексной технологии возделывания сельскохозяйственных культур». А идейно данный подход прослеживается в работах Г. А. Гарюгина и А. С. Абакумовой [2, 3].

Перекрытие внешнего водосточника и усиление дефицита водных ресурсов в Крымском регионе привело к формированию ряда проблем, в т. ч. касающихся и использования дождевания как способа полива. Ниже на рисунке 1 приведена многолетняя динамика орошаемых площадей, в т. ч. политых этим способом.

Из данных рисунка 1 видно, что за приведенный период с 1994 по 2016 г. в основном полив осуществлялся дождеванием (исключением стали 2014–2016 гг. по причине недостаточной водности водосточников). Кроме этого, следует отметить, что еще в 2013 г. из неполитых 206 тыс. га орошаемых земель около 66 тыс. га были исключены из плана полива по причине отсутствия и неисправности поливной техники. Рассмотрим более детально ситуацию, связанную с наличием и состоянием машин в парке дождевальной техники.

За последние 25 лет парк дождевальной техники уменьшился с 5297 (1990 г.) до 1298 единиц (по состоянию на 01.01.2016). Это объясняется рядом причин, одной из них является переход к рыночной экономике. Следствием его стало уменьшение финансовых средств государства, которые вкладывались в развитие орошаемого земледелия.

лия. В результате в Республике Крым постепенно начали уменьшаться площади поли-
тых земель. Это, в свою очередь, привело к тому, что за период 1999–2000 гг. в соответ-
ствии с Приказом Президента Украины «О неотложных мерах по ускорению реформи-
рования аграрного сектора экономики» [5] было проведено реформирование коллективных
сельскохозяйственных предприятий на основе частной собственности на землю и иму-
щество путем обеспечения всем членам колхозов и совхозов права свободного выхода
из этих предприятий с земельными участками (паями) и имущественными паями и со-
здания на их основе частных (частно-арендных) предприятий, фермерских хозяйств,
сельскохозяйственных кооперативов, других субъектов хозяйствования, основанных
на частной собственности. Это способствовало дальнейшему резкому сокращению поли-
тых площадей, но при этом начался процесс обновления парка дождевальной техники.

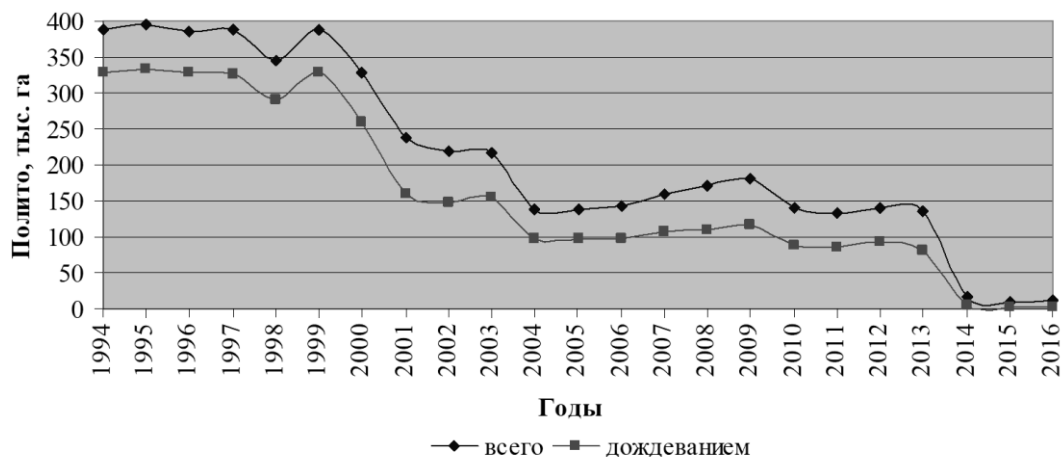


Рисунок 1 – Динамика поливаемых площадей в Республике Крым за период с 1994 по 2016 г. [4]

Еще одно значительное уменьшение поливаемых площадей произошло в 2014 г. и было связано с усилением дефицита водных ресурсов в Республике Крым. Чтобы охарактеризовать процесс изменения наличия дождевальной техники за период с 1994 по 2016 г., условно выделим три периода:

- 1-й период (с 1995 по 2000 г.) – парк дождевальной техники не обновлялся;
- 2-й период (с 2001 по 2013 г.) – началось постепенное обновление парка дождевальной техники;

- 3-й период (с 2014 г. по настоящее время) – переходный. Ситуация в целом еще не определена, но развитие событий может происходить по двум направлениям: либо процесс обновления парка дождевальной техники прекратится и начнется резкое списание и продажа имеющихся машин, либо в течение хотя бы 5 лет ситуация стабилизируется и резкого сокращения наличия дождевальной техники не произойдет.

На рисунке 2 приведена структура парка дождевальной техники по этим трем периодам. Следует отметить, что из анализа данных, приведенных на рисунке 2, четко отслеживаются описанные выше процессы.

3-й период является переходным, и то, в каком направлении будет развиваться ситуация, зависит от двух основных факторов:

- наличия внешнего источника воды;
- внедрения принципов рационального использования существующих водных ресурсов и альтернативных источников воды.

Если в ближайшее время появится внешний источник воды, то будет продолжаться тенденция, характерная для 2-го периода, т. е. процесс уменьшения количества дождевальных машин будет постепенно замедляться, а затем начнется процесс их постепенного увеличения. Однако если Республике Крым и дальше придется обходиться

только собственными водными ресурсами, возможны два варианта развития ситуации:

- процесс обновления парка дождевальной техники будет происходить, но он значительно замедлится;

- новые машины приобретаться не будут, ускорится тенденция списания неисправных машин и начнется процесс продажи имеющейся в удовлетворительном и хорошем состоянии дождевальной техники.

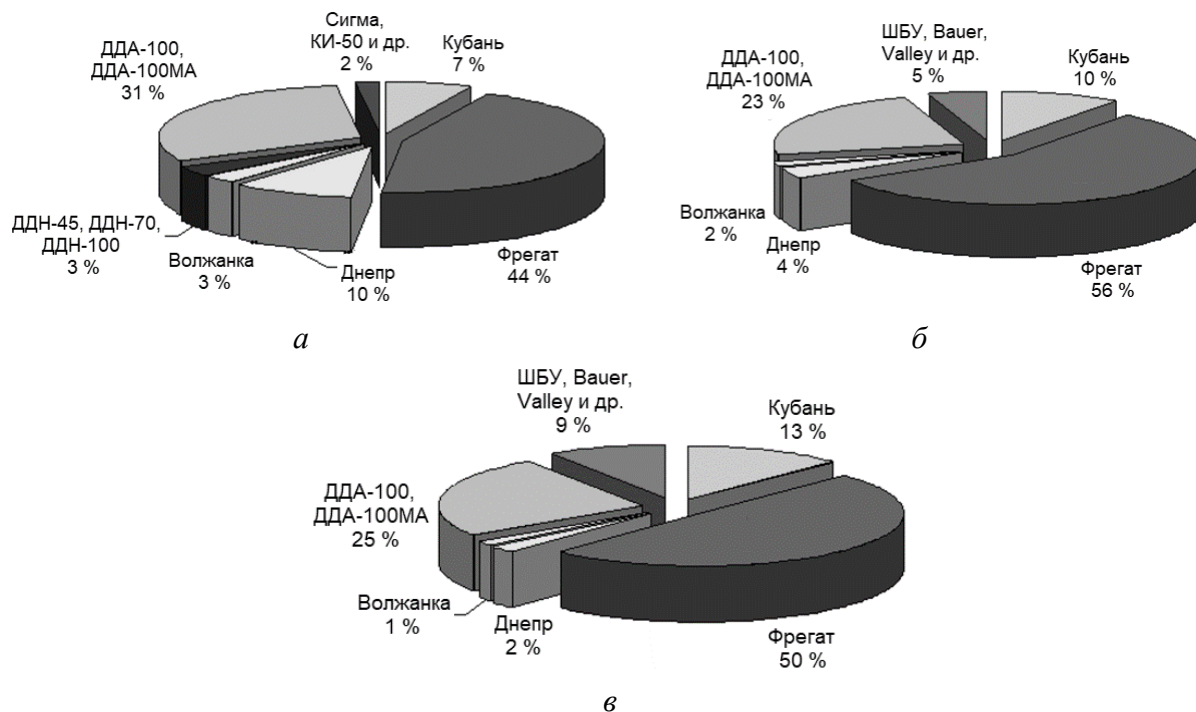


Рисунок 2 – Структура парка дождевальной техники в Крыму:
а – 1-й период; б – 2-й период; в – 3-й период

По состоянию на 01.01.2016 в Республике Крым насчитывалось 1298 единиц дождевальных машин. Если охарактеризовать парк дождевальной техники в целом, то он на 87 % состоит из машин, которые уже отработали свой нормативный эксплуатационный срок службы и требуют замены на новые улучшенные модели. За период с 2001 по 2014 г. было приобретено 288 машин, наиболее интенсивно процесс обновления шел в Джанкойском (91 машина) и Советском (42 машины) районах. При этом необходимо отметить, что около половины новоприобретенной техники является продукцией зарубежных фирм-производителей, таких как Valley Irrigation, Bauer, Beinlich, Irtec, Irriland и т. п., а данные машины характеризуются значительной стоимостью и их простаивание убыточно для предприятий-сельхозтоваропроизводителей с учетом того, что часть этой техники бралась в кредит.

Наличие поливной техники не является единственным фактором, подчеркивающим перспективность данного способа для ведения орошения в Крымском регионе. Если сравнивать эффективность возделывания сельскохозяйственных культур при дождевании и капельном орошении, то здесь необходимо учитывать не только итоги научных исследований [6–8], но и сам производственный опыт. Это связано с тем, что урожайность зависит от сочетания большого количества факторов и единичные исследования не могут отразить всю картину в целом, тогда как производственный опыт учитывает и климатические, и почвенные, и экономические условия предприятий-сельхозтоваропроизводителей, а их интересы и экологическая составляющая должны стать первоочередными [9]. В таблицах 1, 2 приведены данные (лучший показатель при соответствующем способе полива и средний в орошаемом земледелии Крыма результат).

Таблица 1 – Пример эффективного использования орошаемых земель при поливе дождеванием

Культура	Показатель	2014 г.	2015 г.
Зерновые (кукуруза на зерно)	Площадь, га	30,0	202,6
	Валовой сбор, ц	900	16672
	Урожайность, ц/га	30,0	82,3
	Средняя урожайность по Крыму, ц/га	24,9	82,3
Технические (кориандр)	Площадь, га	108	160
	Валовой сбор, ц	583,7	1568,0
	Урожайность, ц/га	5,4	9,8
	Средняя урожайность по Крыму, ц/га	5,4	9,8
Кормовые (однолетние травы на зеленый корм)	Площадь, га	60	42
	Валовой сбор, ц	4670,0	5413,6
	Урожайность, ц/га	77,8	128,9
	Средняя урожайность по Крыму, ц/га	61,5	111,2
Овощи	Площадь, га	30	31
	Валовой сбор, ц	2000	4682
	Урожайность, ц/га	66,7	151,0
	Средняя урожайность по Крыму, ц/га	166,1	193,0

Таблица 2 – Пример эффективного использования орошаемых земель при капельном орошении

Культура	Показатель	2014 г.	2015 г.
Зерновые (кукуруза на зерно)	Площадь, га	5	–
	Валовой сбор, ц	200	–
	Урожайность, ц/га	40	–
	Средняя урожайность по Крыму, ц/га	24,9	82,3
Овощи	Площадь, га	10	28
	Валовой сбор, ц	1710	6000
	Урожайность, ц/га	171,0	214,3
	Средняя урожайность по Крыму, ц/га	166,1	193,0

Из анализа данных таблиц 1 и 2 видно, что урожайность кукурузы на зерно при использовании этих двух способов полива практически не различается, отсюда можно сделать вывод о том, что на основании сопоставления этого показателя возделывание данной культуры при дождевании является целесообразным. По овощам в 2014 и 2015 гг. более эффективным способом полива было капельное орошение, хотя в 2015 г. разница существенно сократилась. Похожие результаты, но по показателям затрат воды на единицу площади и единицу урожайности приведены в исследовании авторов [4]. Таким образом, дождевание в Республике Крым остается перспективным способом полива для возделывания зерновых, кормовых и технических культур.

Исходя из того факта, что многие ученые Крыма, а именно В. И. Ляшевский, Е. В. Николаев, Н. Г. Резник, М. В. Вердыш, В. И. Кременской [10–12], считают очищенные сточные воды перспективным альтернативным источником воды для целей орошения, а согласно разработкам Г. В. Ольгаренко и др., СанПиН 2.1.7.573-96 [13, 14] целесообразным способом полива при использовании очищенных сточных вод является дождевание, можно сделать вывод о том, что развитие этого направления позволит водопользователям максимально эффективно использовать имеющуюся у них дорогостоящую технику, с одной стороны, а с другой – на участках, где невозможно возобновление поливов, у них будет шанс более выгодно для себя на территории Крымского региона продать дождевальные машины другим водопользователям, которые будут в них нуждаться.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- усиление дефицита водных ресурсов в Крыму привело к простаиванию дорогостоящей поливной техники и потере обслуживающих ее квалифицированных кадров;
- если в ближайшие 5 лет не улучшится водообеспеченность подотрасли орошаемого земледелия, начнется резкое списание дождевальной техники;
- на основе технико-экономических показателей дождевание в Республике Крым остается перспективным способом полива для возделывания зерновых, кормовых и технических культур;
- использование очищенных сточных вод позволит повысить водообеспеченность подотрасли орошаемого земледелия и максимально эффективно использовать имеющуюся у водопользователей дорогостоящую технику.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что полив дождеванием имеет ряд достоинств, отвечающих тем требованиям, которые в настоящее время необходимо соблюдать для успешного развития орошаемого земледелия в Крымском регионе.

Список использованных источников

- 1 Механизация полива: справочник / Б. Г. Штепа [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
- 2 Гарюгин, Г. А. Режим орошения сельскохозяйственных культур / Г. А. Гарюгин; под ред. Б. А. Шумакова. – М.: Колос, 1979. – 269 с.
- 3 Абакумова, А. С. Биологические особенности возделывания томатов при различных способах полива: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Абакумова Анна Сергеевна. – Астрахань, 2007. – 26 с.
- 4 Захаров, Р. Ю. Рациональное использование ресурсов в условиях резкого изменения водообеспеченности территории / Р. Ю. Захаров, Н. Е. Волкова // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 128–133.
- 5 О неотложных мерах по ускорению реформирования аграрного сектора экономики: Указ Президента Украины от 3 декабря 1999 г. № 1529/99 // Справочно-правовая система «Лига Закон». Версия Проф [Электронный ресурс].
- 6 Сторчоус, В. Н. Эффективность систем микроорошения и перспективы их внедрения в Крыму / В. Н. Сторчоус, Н. А. Закусилев // Строительство и техногенная безопасность. – 2006. – № 15–16. – С. 186–190.
- 7 Ромащенко, М. И. Капельное орошение овощных культур и картофеля в условиях Степи Украины / М. И. Ромащенко, А. П. Шатковский, С. В. Рябков. – Киев, 2012. – 248 с.
- 8 Педь, В. М. Практический справочник овощевода. Выращивание овощей на орошении / В. М. Педь, О. М. Нероденко. – Киев: Юнивест Медиа, 2013. – 256 с.
- 9 Волкова, Н. Е. Повышение роли водопользователя в системе орошаемого земледелия на примере Республики Крым / Н. Е. Волкова, Р. Ю. Захаров // Строительство и техногенная безопасность. – 2015. – № 1(53). – С. 124–133.
- 10 Николаев, Е. В. Основные направления решения проблемы орошения в Крыму / Е. В. Николаев, Н. Г. Резник // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2015. – № 2(165). – С. 47–53.
- 11 Ляшевский, В. И. Изучение возможностей использования очищенных сточных вод для орошения в Крыму / В. И. Ляшевский, М. В. Вердыш, В. И. Кременской // Таврический вестник аграрной науки. – 2016. – № 4(8). – С. 121–129.
- 12 Кременской, В. И. Сточные воды как перспективный ресурс повышения водообеспеченности Республики Крым / В. И. Кременской, М. В. Вердыш // Природообустройство. – 2016. – № 5. – С. 72–77.
- 13 Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные техноло-

гии и технические средства орошения: справочник / Г. В. Ольгаренко [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2015. – 264 с.

14 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения: СанПиН 2.1.7.573-96 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_100650.

УДК 626.821.3

Г. Л. Лобанов

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

МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОГО РУСЛА КРУПНЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ В ЗЕМЛЯНОМ РУСЛЕ

Целью исследований являлось определение устойчивого сечения крупного мелиоративного канала. Опыт эксплуатации таких каналов у нас и за рубежом показал, что сечение каналов, как правило, деформируется, что влечет за собой снижение пропускной способности и создание аварийных ситуаций. Путем анализа существующих в настоящее время методов расчета крупных мелиоративных каналов были выявлены их недостатки и предложен метод расчета устойчивого русла с использованием распределения скорости потока на вертикали логарифмического типа, базирующегося на полуэмпирической теории турбулентности Прандтля – Кармана, и устойчивости откоса по методу влекущей силы.

Ключевые слова: мелиоративный канал, незаиляющие и неразмывающие скорости, параметр Шези, касательное напряжение, гидравлический радиус, коэффициент шероховатости, метод влекущей силы.

G. L. Lobanov

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

CALCULATION METHODS OF A STABLE CHANNEL OF LARGE RECLAMATION CANALS IN EARTH CHANNEL

The aim of research was to determine the stable cross section of a large reclamation canal. The experience of such canals operation in Russia and abroad showed that as a rule the cross-section of the canal is deformed, that leads to capacity reduction and creation of emergency situations. By analyzing the currently existing methods for calculating large reclamation canals, their shortcomings were revealed and a method for calculating the stable channel using the flow velocity distribution on a logarithmic vertical based on the semi-empirical theory of the Prandtl-Karman turbulence and slope stability by the method of boundary shear was proposed.

Key words: reclamation canal, nonsilting and nonerosive velocities, Chezie parameter, shearing pressure, hydraulic radius, roughness coefficient, method of boundary shear.

Опыт эксплуатации крупных мелиоративных каналов в земляном русле в нашей стране и за рубежом (Терско-Кумского, Каракумского, канала Иртыш – Караганда и др.) указывает на их неудовлетворительное состояние. Каналы, как правило, деформируются, что влечет за собой снижение пропускной способности и создание аварийных ситуаций. Это в свою очередь требует крупных капиталовложений для устранения причин деформаций и их последствий. Основная причина такого положения предопределена еще при проектировании (неправильно выбраны параметры этих каналов). Объясняется это тем, что ни один из существующих сегодня методов проектирования кана-

лов на прямолинейных участках: метод допустимых скоростей, метод допустимых касательных напряжений, метод гидроморфологических зависимостей и смешанные методы – по своей сути не отражает в достаточной мере сложной физики взаимодействия потока и русла канала с большой пропускной способностью. Естественно, что установленные по этим методам параметры каналов, а также формы их поперечных сечений не могут обеспечить полностью условий для соблюдения требований, предъявляемых к каналам как инженерным сооружениям: пропуск воды в заданном интервале, сохранение первоначальной формы поперечного профиля или цикличное изменение этой формы в допустимом диапазоне, сохранение каналом неизменного планового положения.

Наиболее распространенным методом проектирования каналов в нашей стране является метод допустимых скоростей. По этому методу расчетную среднюю скорость (V_p) по сечению назначают в диапазоне между незаилающей и неразмывающей скоростями [1]:

$$V_z < V < V_p,$$

где V_z – незаилающая скорость для поступающих в канал взвешенных наносов, м/с;

V – средняя по сечению скорость, м/с;

V_p – допускаемая неразмывающая скорость для грунтов дна и откосов канала, м/с.

Соотношение между расходом, уклоном и площадью живого сечения потока устанавливаются по формуле Шези:

$$Q = \omega \cdot c \sqrt{RJ},$$

где Q – расход воды в канале, м³/с;

ω – площадь живого сечения, м²;

c – параметр Шези, м^{0,5}/с;

R – гидравлический радиус, м;

J – уклон дна канала.

Для определения средней по сечению неразмывающей скорости используют формулу Ц. Е. Мирцхулавы. Незаилающую скорость определяют по формулам И. И. Леви, С. Х. Абальянца и др.

Для крупных каналов ($Q > 50$ м³/с) применение метода допустимых скоростей связано со следующими трудностями:

- при одной и той же расчетной средней скорости можно назначить разнообразные формы поперечного сечения, удовлетворяющие формуле Шези, поэтому некоторые из них окажутся неустойчивыми, т. е. средняя скорость для всего русла не оценивает устойчивость дна и откосов в отдельности;

- не учитывается влияние взвешенных наносов на гидравлические сопротивления и на устойчивость русла канала;

- слабым местом является определение параметра Шези. Его рассчитывают по формулам Гангилье – Куттера, Маннинга, Н. Н. Павловского, И. И. Агроскина, А. Д. Альтшуля, С. Х. Абальянца и др.

Метод эшюр скоростей Г. П. Скребкова [2, 3] следует отнести к группе методов допускаемых скоростей. Метод рассматривает только несвязанные грунты. Отличие метода от метода допустимых скоростей в том, что в расчетах не используются понятия гидравлического радиуса и средней скорости потока. Как отмечает автор, при расчете по этому методу вместо средней скорости потока рассматривается средняя скорость на вертикали, вместо допустимой скорости потока – допустимая скорость на той же вертикали, а вместо среднего для всего русла коэффициента шероховатости – действительные местные коэффициенты шероховатости. Неразмывающая скорость определяется по формуле В. Е. Короткова [4]. Основное условие устойчивости – сохранение скорости на центральной вертикали по величине не более размывающей. Далее с ис-

пользованием формулы Шези строится связь $h_{\max} = f(J)$. Задача решается подбором, путем вариации значений коэффициентов заложения откосов. Опытного подтверждения связи $h_{\max} = f(J)$ не имеется, а о недостатках формул Шези говорилось выше.

Метод допустимых касательных напряжений (метод влекущей силы) получил большое распространение в США. Решения получены для каналов, проходящих в несвязанных грунтах. Принципиально метод может быть применен и для случая связанных грунтов. Суть метода заключается в следующем. Гидравлические потери, как и в методе допустимых скоростей, определяются из формулы Шези. Дальнейшее касается выбора формы устойчивого сечения. Удельная влекущая сила (касательное напряжение) равна:

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot J,$$

где γ – удельный вес воды, кг/м³.

Для широких открытых каналов $R \approx H$, тогда:

$$\tau = \gamma \cdot H \cdot J,$$

где H – средняя глубина, м.

В канале конечной ширины имеют место соотношения:

$$\tau_d = k_d \cdot \gamma \cdot H \cdot J, \quad (1)$$

$$\tau_o = k_o \cdot \gamma \cdot H \cdot J,$$

где τ_d , τ_o – касательное напряжение на дне и откосе канала, кгс/м² (Па).

В. Т. Чоу [5] приводит графики $k_d = f(b/H)$ и $k_o = f(b/H)$ (где b – ширина по дну, м) для трапецидального сечения канала с различным заложением откосов и прямоугольного сечения. Также даются графики значения удельной влекущей силы для каналов, проложенных в связанных грунтах, в зависимости от рода грунта, для каналов в несвязанных грунтах значения допустимой удельной влекущей силы даются в зависимости от среднего диаметра частиц.

Расчет для связанных грунтов заключается в выборе примерного сечения канала, затем задаются допустимыми значениями τ_d , J , b/H , n . Из формулы (1), предварительно найдя из графика τ_d , определяют высоту (H) и по формуле Шези расход. Варьируя значением b/H , подбором находят такое соотношение, которое отвечает заданному расходу.

В случае несвязанных грунтов коэффициент влекущей силы (k_o) для откоса задается из условия устойчивости на сдвиг частиц грунта на откосе в виде:

$$k_o = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}},$$

где α – угол наклона откоса (угол наклона касательной к линии откоса);

φ – угол естественного откоса грунта.

Форма гидравлически устойчивого сечения описывается косинусоидой:

$$h = H \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{H} \cdot x \right), \quad (2)$$

где x – расстояние от уреза воды, м.

Порядок расчета следующий. При заданных значениях Q , J , τ_d , φ , n из формулы (1) находят глубину (H). Затем по формуле (2) строят сечение и находят площадь (ω):

$$\omega = \frac{2,04 \cdot H^2}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

Из формулы Шези находят расход. Если найденный расход не равен расчетному,

варьируя размером вставки по дну в средней части живого сечения, добиваются равенства расчетного расхода заданному.

В случае связанных грунтов методу влекущей силы присущи недостатки метода допустимых скоростей, т. е. не учитывается транспорт русловых наносов, нет четкой зависимости коэффициента шероховатости от параметра формы русла b/H и, кроме того, сложно назначить допустимое касательное напряжение, так как на размываемость этих грунтов влияют диффузионное выщелачивание, набухание, размокание, степень агрегатирования и др. [6].

В случае несвязанных грунтов не учитывается влияние взвешенных наносов и, как отмечалось при рассмотрении методики допустимых скоростей, определение гидравлических потерь по формуле Шези для крупных каналов ненадежно.

Следующий метод – использование морфологических зависимостей для назначения параметров канала. Морфологические зависимости в основном получены на основе результатов обработки данных натуральных исследований на конкретных реках, каналах (В. Г. Глушков, С. И. Рыбкин, М. А. Великанов, С. Т. Алтунин, В. С. Лапшенков и др.). Поэтому они справедливы лишь для этих конкретных условий. Использование их в расчетных схемах для других условий требует корректировки коэффициентов и показателей степеней, что ограничивает их применение. Попытка перенести эти структурные связи (морфологические зависимости) на большой канал в связанных грунтах (например, В. С. Алтунин, М. М. Селяметов, Е. К. Рабкова, В. И. Антроповский [7]) не подтверждена надежно натурными наблюдениями. Так, М. М. Селяметов [8] на основе формул С. Т. Алтунина для B и h_{cp} в аллювиальных руслах и формулы Ц. Е. Мирцхулавы для неразмывающей скорости в связанных грунтах [9] предложил следующие морфологические зависимости:

$$B = f_1(Q, d, c, \rho_{гр}, m, n, k), \quad (3)$$

$$h_{cp} = f_2(Q, d, c, \rho_{гр}, m, n, k), \quad (4)$$

$$h_{max} = f(Q, d, c, \rho_{гр}, m, n, k), \quad (5)$$

где B – ширина канала по урезу воды, м;

Q – расход канала, м³/с;

d – размер отрывающихся отдельностей, мм;

c – сцепление грунта, кгс/м² (Па);

$\rho_{гр}$ – плотность грунта, кг/м³;

m, n, k – коэффициенты условий работы, перегрузки, однородности.

Форму поперечного сечения предлагается описывать параболой:

$$y = 0,012 \cdot x^2,$$

где x – расстояние от края откоса, м;

y – глубина, м.

Для подтверждения приводятся натурные морфологические данные по каналам Куйбышевскому и Волга – Урал.

Недостатки эмпирических формул (3)–(5) те же, что и формулы в режимной теории.

К смешанным методам можно отнести метод С. Т. Алтунина для несвязанных грунтов, который предлагает использовать одновременно метод морфологических зависимостей и метод допустимых касательных напряжений (влекущей силы). Этому методу присущи недостатки методов влекущей силы и морфологических зависимостей.

Решение Ю. М. Кузьминова [10] относится к «универсальным», т. е. в нем рассматриваются вопросы проектирования каналов как в несвязанных, так и в связанных грунтах. Автором получены уравнения профилей предельно устойчивых откосов, зависимости для основных гидравлических параметров канала в условиях транспорта нано-

сов и при отсутствии такового. При этом гидравлические сопротивления определяются по формуле Шези, а опытный материал получен на каналах с гидравлическим радиусом $R < 3$ м, что не позволяет распространять этот метод на большие каналы.

Проведенный анализ показывает, что в настоящее время среди многообразия методов расчета крупных каналов не существует достаточно хорошо обоснованной методики расчета каналов в связанных и несвязанных грунтах. Рассмотрение существующих методик позволяет увидеть, какими путями не следует идти в решении задач, связанных с расчетом крупного мелиоративного канала. Так, разработка «универсальной» методики расчета устойчивости поперечного сечения канала, пригодной для связанных и несвязанных грунтов, является нецелесообразной вследствие разной сопротивляемости этих грунтов размыву на откосе. Условия устойчивости откосов из несвязанных грунтов существенным образом отличаются от условий устойчивости откосов из связанных грунтов. Устойчивость частиц несвязанного грунта на откосе определяется составляющей гравитационных, а также гидродинамических сил. Устойчивость откоса из связанного грунта при условии обеспечения устойчивости грунта размыву на дне канала определяется общим равновесием земляных масс в условиях насыщения водой и не зависит от гидродинамических сил, прилагаемых к поверхности откоса потоком (они всегда меньше, чем на дне канала).

Необходимо отметить, что оценка гидродинамических сопротивлений по формуле Шези зашла в тупик. Как отмечает Г. П. Скребков [3], главная причина сложившегося неудовлетворительного положения в области теории сопротивления открытых потоков заключается в том, что в расчетных формулах используется гидравлический радиус, который не является универсальным параметром. Применение гидравлического радиуса правомерно тогда, когда трение потока одинаково во всех точках смоченного периметра, что возможно только в круглых трубах и плоских каналах.

Учитывая изложенное выше, можно наметить следующие пути решения задач. Необходимо осуществить переход от средних характеристик потока, таких как средняя скорость, среднее касательное напряжение, средняя относительная шероховатость, гидравлический радиус и т. д., к локальным характеристикам: местному касательному напряжению, местным скоростям и местным коэффициентам гидравлического трения. Теоретическое описание скоростных профилей по живому сечению можно вести с привлечением полуэмпирических теорий турбулентности с использованием успехов в развитии теории турбулентного пограничного слоя. Вопрос о гидравлическом сопротивлении целесообразно решать путем «гидравлического конструирования» живого сечения канала по отдельным вертикалям.

Вопрос о взвешивании и переносе наносов целесообразно решать на энергетическом уровне, поскольку знание структуры скоростного поля позволит составить баланс мощности для частного случая – равномерного движения. В такой постановке вопросы гидравлических сопротивлений и транспорта наносов взаимно увязываются.

Решим задачу для несвязанного грунта, вода осветленная, дно горизонтальное, откосы канала криволинейные (полигональные), $b/H_0 \geq 3...5$ (рисунок 1).

Для описания скоростной структуры на вертикали воспользуемся логарифмическим законом распределения, базирующимся на полуэмпирической теории турбулентности Прандтля – Кармана:

$$\frac{V}{V_*} = \frac{1}{\kappa} \ln y + c, \quad (6)$$

где V – скорость в точке потока на расстоянии y от стенки, м/с;

V_* – динамическая скорость, м/с:

$$V_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}},$$

где τ – касательное напряжение на стенке;
 ρ – плотность жидкости, кг/м³.
 k – постоянная Кармана;
 c – постоянная интегрирования.

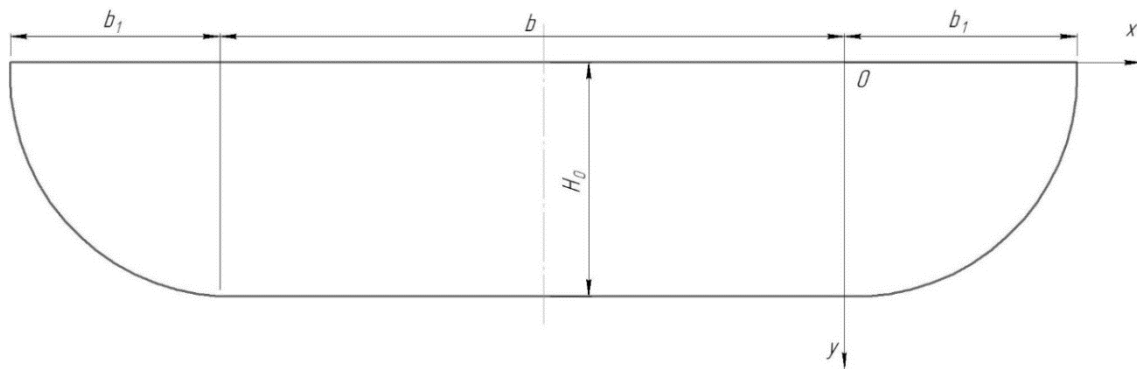


Рисунок 1 – Схема к расчету крупного мелиоративного канала

Подставляя постоянные в формулу (6) и переходя к десятичным логарифмам, получим уравнение для скорости на вертикали:

$$V = V_* \cdot 5,75 \cdot \lg \frac{y \cdot V_*}{\nu} + 5,5 \cdot V_* \quad (7)$$

Интегрируя уравнение (7) по глубине, найдем удельный расход на вертикали, м²/с, на один погонный метр:

$$q = 5,75 \cdot V_* \int_0^H \lg \frac{V_*}{\nu} dy + 5,75 \cdot V_* \int_0^H \lg y dy + 5,5 \cdot V_* \int_0^H dy = 5,75 \cdot V_* \cdot H \cdot \lg \frac{H \cdot V_*}{\nu} + 3 \cdot V_* \cdot H \quad (8).$$

Вначале по уравнению (1) определяем допустимую глубину при заданном уклоне:

$$H_{0 \text{ доп}} = \frac{\tau_{\text{доп}}}{\gamma \cdot J}, \quad \tau_{\text{доп}} = V_{* \text{ доп}}^2 \cdot \rho.$$

Допустимую динамическую скорость можно определить, размывая образец ненарушенной структуры с трассы канала в лабораторном лотке, или по формуле Ц. Е. Мирцхулавы, увязав скорость на высоте выступов шероховатости с динамической скоростью.

Затем определяем расход, проходящий на откосе. Форма откоса описывается уравнением (2), а расход на откосе с учетом коэффициента влекущей силы равен:

$$Q_{\text{отк}} = \int_0^{b_1} q_x dx,$$

$$q_x = k_x \cdot q; \quad k_x = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}}.$$

Расход, проходящий по центральной части канала, равен:

$$Q_0 = Q - 2 \cdot Q_{\text{отк}}.$$

Расход канала (Q) задан.

Определяем ширину центральной части канала (ширину по дну). Подставляя в уравнение (8) допустимую динамическую скорость, определяем допустимый удельный расход и находим ширину канала по дну:

$$b = \frac{Q_0}{q_{\text{доп}}}.$$

Расчет канала в связанных грунтах проводится аналогично, но, как отмечалось

выше, устойчивость откоса из связанного грунта при условии обеспечения устойчивости грунта размыву на дне канала определяется общим равновесием земляных масс в условиях насыщения водой и не зависит от гидродинамических сил, прилагаемых к поверхности откоса потоком (они всегда меньше, чем на дне канала). Поэтому при расчете расхода на откосе мы не учитываем коэффициент влекущей силы.

Предложенный метод расчета позволяет проектировать канал с учетом изменения физико-механических свойств грунтов не только по трассе канала, но и по его периметру. При заданных уклонах J , φ , $\tau_{\text{доп}}$ рассчитанная форма сечения является единственно возможной формой устойчивого (неразмываемого) русла «статического равновесия».

Список использованных источников

1 Руководство по проектированию магистральных и межхозяйственных каналов оросительных систем: утв. Гл. техн. упр. Минводхоза СССР 18.11.74. – М.: Минмелиоводхоз СССР, 1975. – 51 с.

2 Скребков, Г. П. Метод эпюр скоростей и его приложение к расчету земляных каналов / Г. П. Скребков // Промышленная теплотехника и гидравлика. – Чебоксары: Чуваш. ун-т им. И. Ульянова, 1976. – Вып. 2. – С. 28–36.

3 Скребков, Г. П. Гидравлический расчет устойчивых земляных каналов по методу эпюр скоростей / Г. П. Скребков // Гидротехническое строительство. – М.: Энергия, 1976. – № 10. – С. 25–27.

4 Коротков, В. Е. К выводу обобщенной формулы неразмывающей скорости для несвязанных грунтов / В. Е. Коротков // Гидротехническое строительство. – М.: Энергия, 1976. – № 10. – С. 27–28.

5 Чоу, В. Т. Гидравлика открытых каналов / В. Т. Чоу. – М.: Госстройиздат, 1969. – 464 с.

6 Алтунин, В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. – М.: Колос, 1979. – 255 с.

7 Антроповский, В. И. Определение параметров больших земляных каналов на основе гидролого-морфологической аналогии / В. И. Антроповский // Гидротехническое строительство. – 1981. – № 10. – С. 37–40.

8 Селяметов, М. М. Кинематико-морфологические зависимости для расчета каналов в связанных грунтах / М. М. Селяметов // Доклады ВАСХНИЛ. – М., 1977. – № 3. – С. 42–44.

9 Мирцхулава, Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1967. – 179 с.

10 Кузьминов, Ю. М. Мелиоративные каналы в легкоразмываемых грунтах / Ю. М. Кузьминов. – М.: Колос, 1977. – 192 с.

УДК 631.432.3

А. Н. Салугин

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

ДИНАМИКА ПЕРЕХВАТА ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ И ДЕПРЕССИЯМИ

В статье рассматриваются динамические аспекты процессов, протекающих во времени при выпадении осадков на элементарном водосборе. Основой исследования является аналитическое моделирование. Выпадение осадков, задержание растительностью, накопление в углублениях на склоне и склоновый поток к тальвегу рассматриваются в контексте системной динамики. Разработка аналитических моделей явля-

ется начальным этапом имитационного моделирования водного режима ирригации. Результаты работы будут использованы при разработке моделей системной динамики в среде имитационного моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: перехват дождя растительностью, депрессии, поверхностное задержание, структурная балансовая модель, аналитические модели, имитационное моделирование.

A. N. Salugin

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

THE DYNAMICS OF RAINFALL INTERCEPTION BY VEGETATION AND DEPRESSIONS

The article deals with the dynamic aspects of the processes taking place in time of precipitation on the elementary watershed. The basis of the study is analytical modeling. Precipitation, vegetation retention, accumulation in depressions on the slope and slope flow to the thalweg are considered in the context of system dynamics. The development of analytical models is the initial step in simulation of water regime of irrigation. The results of the work will be used to develop models of system dynamics in the simulation environment AnyLogic.

Key words: rainfall interception by vegetation, depressions, surface detention, structural balance model, analytical models, simulation modeling.

Введение. Задачи гидрологии в агролесомелиорации актуальны, так как их решение предполагает оценку влияния лесных насаждений на влагосодержание почв, стоковый режим, оврагообразование, урожайность сельхозкультур и т. п. Существующие балансовые описания гидрографов математически сводятся к статистической регрессии временных рядов и оценке интегральных показателей за длительные периоды наблюдений. Динамика перераспределения воды при выпадении осадков различной интенсивности изучена слабо, особенно для агроландшафтов [1–3].

Процессы динамического переноса влаги в пространстве и времени имеют сложный характер как с точки зрения временной динамики, так и с точки зрения физических процессов [4–7]. При разработке аналитических и имитационных моделей сначала рассмотрим движение воды с момента выпадения осадков до их поступления в русловой поток. В модели будут учтены явления задержания воды в растительном покрове и впадинах на склоне (зонах депрессии). В начале процесса выпадения дождя формируется слой поверхностного смачивания, с которого происходит стекание воды по склону в направлении к руслу. Количественная оценка задержанной влаги необходима для составления балансовых соотношений в имитационных моделях и оптимизации оросительных систем.

Материалы и методы. Объектом исследования служили явления поглощения атмосферной влаги растительностью и неровностями склона, происходящие непосредственно перед стоком дождевых осадков вниз к тальвегу. Рассмотрим поверхностное задержание без учета инфильтрации и склонового стока. Под поверхностным задержанием будем понимать захват осадков (перехват) почвенно-растительной системой (ПРС) и деревьями, а также задержание в микровпадинах и испарение в течение того времени, пока идет дождь. На схеме (рисунок 1) этот процесс представлен в виде ориентированного графа (орграфа), который будет использован в дальнейшем в имитационном моделировании водного баланса. Перехват воды растительностью в аридных зонах незначителен. Тем не менее для универсальности моделирования процессов водосбора мы учтем и его. Существующие к настоящему моменту многочисленные наблюдения за процессом перехвата растительностью весьма различны по своим методикам с существенным разбросом данных.

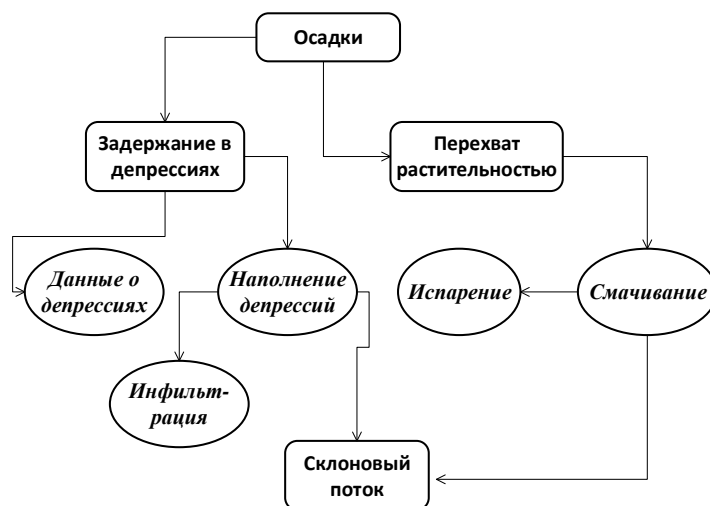


Рисунок 1 – Орграф начальной стадии формирования стока

Результаты и обсуждение. В простейшем рассмотрении после полного смачивания растительной поверхности в виде стеблей и листьев дальнейший перехват невозможен, так как вода беспрепятственно стекает по стеблям растений к почве. Однако если учесть испарение воды во время выпадения осадков, то после смачивания количество воды на почве будет еще меньше на количество воды, испаренной ПРС [5]. Полный перехват можно представить в виде формулы:

$$W = h + k \cdot I \cdot t, \quad (1)$$

где h – слой задержания – количество воды, необходимое для полного смачивания растительного покрова, мм;

k – коэффициент, характеризующий плотность растительного покрова;

I – интенсивность испарения, мм/ч;

t – время осадков, ч.

Формула (1) справедлива в том случае, когда величина перехвата W не зависит от интенсивности дождя и перехват осуществляется полностью. Преобразуем данную аналитическую конструкцию так, чтобы перехват стремился к насыщению при больших экспозициях наблюдения за осадками, используя экспоненту:

$$W = (h + k \cdot I \cdot t)(1 - e^{-aP}), \quad (2)$$

где a – постоянный коэффициент, значение которого определяется из начальных условий;

P – количество осадков в единицу времени.

Формула (2) является аналитическим выражением временного процесса перехвата дождевой воды с параметрами, которые определяются экспериментально. Уточним некоторые детали. Поскольку экспоненциальная зависимость выбрана абстрактно, то необходимо доказать адекватность такого описания и выявить физический смысл коэффициента a . В предположении, что дождь кратковременный, перехват будет полным, т. е. равняться интенсивности осадков P . С математической точки зрения это означает, что количество задержанной влаги dW за время dt должно равняться выпавшим осадкам:

$$\frac{dW}{dP} = 1,$$

т. е. количество осадков в точности равно перехвату. Продифференцировав значение W по P в выражении (2), получим:

$$\frac{dW}{dP} = \frac{d}{dP} [(h + kIt)(1 - e^{-aP})] = 1,$$

откуда при $P \rightarrow 0$ получим:

$$\frac{d}{dP}[(h + kIt)(1 - e^{-aP})] = 0 + a(h + kIt) = 1,$$

$$a = \frac{1}{h + kIt}.$$

Таким образом, с учетом этих допущений модель (2) позволяет выявить некоторые зависимости между параметрами процесса перехвата. Сначала определим взаимосвязь между перехватом и осадками для различных времен их выпадения. Отметим попутно, что в модели присутствуют две независимые переменные: интенсивность осадков и время их реализации. На рисунке 2 показаны рассчитанные значения перехватов как функции интенсивных осадков. Из данных рисунка видно, что кривые перехватов стабилизируются и в отсутствие испарения вполне отвечают нашим модельным представлениям о протекающем процессе.

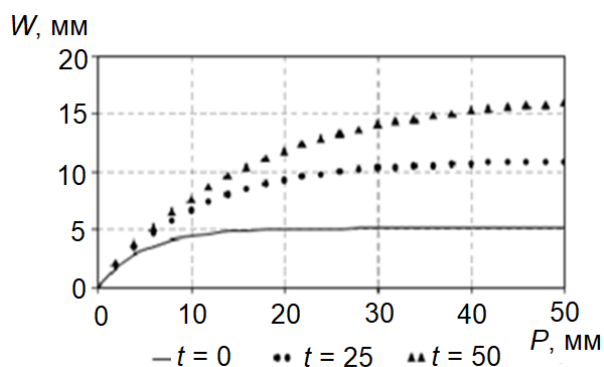


Рисунок 2 – Кривые перехватов растительностью дождевой воды при различной продолжительности выпадения осадков (время в часах) (использовалась аналитическая модель с параметрами: $h = 0,51$ мм, $k = 100$, $I = 0,0025$ мм/ч)

Большинство данных наблюдения перехвата получено с помощью дождемеров («перехватометров»), которые устанавливаются под растительным покровом. Количество влаги под покровом сравнивается с осадками на открытом месте, и вычисляется процент перехвата. В таблице 1 приведены данные о перехвате для некоторых деревьев.

Таблица 1 – Средний перехват осадков деревьями в процентах от количества осадков, выпадающих на открытой местности

Вид растительности	Осадки, поступающие сквозь крону на почву	Осадки, стекающие по стволу	Общий перехват В %
Бук	65,4	12,8	21,8
Дуб	73,6	5,7	20,7
Клен	71,5	6,0	22,5
Ель	39,8	1,4	58,8

Приведенная аналитическая модель упрощена и не учитывает факторы, связанные с физиологическим строением растительных особей, и процессы, сопровождающие смачивание дождевой водой и дальнейшее стекание ее вниз по стволу к поверхности почвы. Такие явления, как смачиваемость, поверхностное натяжение, сезонные колебания и т. д., не учтены в этой аналитической модели. Тем не менее она вполне адекватна на качественном уровне описания такого явления, как задержание дождевой воды растительностью.

Из-за недостаточности данных о перехвате [6–9] авторами приводятся эмпирические формулы для расчета перехвата различными видами растений (таблица 2) в виде $W = \alpha + \beta \cdot P^n$, где α , β и n – безразмерные эмпирические параметры.

Моделирование задержания влаги растительным покровом в виде перехвата дополняется задержанием воды в склоновых понижениях (аккумуляцией в депрессиях). Рассмотрим полуэмпирические подходы к проблеме, так как более детальные модели

предполагают численное решение дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа (уравнения диффузии) и не учитывают некоторые детали описания подобных процессов, потому что ограничены проблемами нелинейности и краевых условий [10–12].

Таблица 2 – Параметры первоначального перехвата отдельных дождей для различных видов растительности

Растительный покров	Перехват (мм) $W = \alpha + \beta \cdot P^n$			Коэффициент проекции
	α	β	n	
Фруктовые сады	1,00	0,18	1,00	
Каштан огороженный и открытый	1,00	0,20	1,00	
Каштан в рощах	1,50	0,15	1,00	
Ясень огороженный и открытый	0,40	0,23	1,00	
Ясень в рощах	0,50	0,18	1,00	
Бук огороженный и открытый	0,80	0,23	1,00	
Дуб огороженный и открытый	1,00	0,18	1,00	
Бук в рощах	0,80	0,22	1,00	
Дуб в рощах	1,30	0,18	1,00	
Клен огороженный и открытый	0,80	0,23	1,00	
Клен в рощах	1,00	0,18	1,00	
Ива (кустарник)	0,50	0,40	1,00	
Вяз огороженный и открытый	0,80	1,16	0,50	
Вяз в рощах	1,00	0,91	0,50	
Липа огороженная и открытая	0,50	0,65	0,50	
Липа в рощах	1,30	0,50	0,50	
Хемлок и сосна огороженные и открытые	0,30	1,00	0,50	
Хемлок и сосна в рощах	1,30	1,00	0,50	
Бобовые, картофель, капуста и прочие низкорастущие культуры	$1,67h$	$0,49h$	$1,0h$	$0,82h$
Сорго при рядовом посеве	$0,58h$	$0,02h$	$1,0h$	1,00
Клевер и луговая трава	$0,42h$	$0,26h$	$1,0h$	1,00
Кормовые травы, люцерна, вика, просо	$0,83h$	$0,33h$	$1,0h$	1,00
Зерновые – рожь, пшеница, ячмень	$0,42h$	$0,16h$	$1,0h$	1,00
Табак	$0,83h$	$0,26h$	$1,0h$	$0,66h$
Хлопок	$1,25h$	$0,33h$	$1,0h$	$1,08h$
Кукуруза	$0,42h$	$0,16h$	$1,0h$	$0,33h$

h – высота растений, м.

Водный поток при движении к руслу сначала задерживается в неоднородностях поверхности склона в виде локальных понижений – депрессий. Это замкнутые и бессточные образования в виде зеркал различного размера от небольших, величиной с почвенный агрегат, до нескольких сот метров в виде прудов.

Такие депрессии заполняются по мере того, как интенсивность дождя превышает интенсивность испарения и инфильтрацию через поверхность склона. Структурная модель поверхностного задержания на склоне представлено на рисунке 1. Склоновый сток начинается после заполнения всех депрессий с учетом испарения и инфильтрации. Задерживающие способности впадин зависят от крутизны склонов, возможны бессточные участки, вмещающие большое количество осадков. Динамика заполнения депрессий на некотором промежутке времени зависит от интенсивности дождя. Вначале вся вода расходуется на заполнение впадин, а затем начинается сток. Для любого момента времени объем воды в депрессиях описывается формулой:

$$V_{\text{деп}} = V_0(1 - e^{-kP_{\text{изб}}}), \quad (3)$$

где $V_{\text{деп}}$ – объем депрессий;

k – коэффициент;

$P_{\text{изб}}$ – слой избыточных осадков.

В данной аналитической модели не учтено испарение с поверхности депрессий во время дождя из-за его малости. Сначала вся вода полностью поглощается впадинами, поэтому $\frac{dV_{\text{деп}}}{dP_{\text{изб}}} = 1$, когда $P_{\text{изб}}$ мало. Формула (3) составлена формально, поэтому

коэффициент k фактически не имеет физического смысла. Однако в предположении о верности наших посылок его можно найти, продифференцировав выражение (3):

$$\frac{dV_{\text{деп}}}{dP_{\text{изб}}} = \frac{d}{dP_{\text{изб}}} (V_0(1 - e^{-kP_{\text{изб}}})) = V_0 - ke^0 = 1,$$

откуда $k = 1/V_0$ для малых $P_{\text{изб}}$. Из модели получается, что коэффициент в показателе экспоненты обратно пропорционален объему депрессий. Физически это означает, что чем больше объем впадин, тем меньше влияние интенсивности дождя на склоновое задержание.

Испарение существенно после дождя, а во время выпадения оно не учитывается из-за подавляющего его дождевого потока. Уменьшение запасов воды в депрессиях изменяется по логарифмическому закону [5]. Возможно, это связано с уменьшением зеркала поверхности, с которой происходит испарение.

Выводы. Аналитическое моделирование как метод исследования и полученные с его помощью результаты дают надежду на целенаправленное и плодотворное их использование при более детальном и системном моделировании процессов гидрологии в орошении. Следует отметить, что имитационное моделирование, планируемое в дальнейшем, позволит увидеть динамику ирригационных процессов и осуществить оптимизацию режимов полива.

Список использованных источников

- 1 Салугин, А. Н. Динамическое моделирование деградационных процессов в агроэкологии: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 03.00.16 / Салугин Александр Николаевич. – Волгоград, 2006. – 40 с.
- 2 Салугин, А. Н. Структурная модель водного баланса региона / А. Н. Салугин // Вестник ВолгГАСУ. – Волгоград, 2015. – Вып. 33(52). – С. 216–223.
- 3 Судницын, И. И. Движение почвенной влаги и водопотребление / И. И. Судницын. – М.: Моск. ун-т, 1979. – 255 с.
- 4 Дубровский, З. М. Математическая модель оптимального уравнения влажности в корнеобитаемой зоне растений / З. М. Дубровский, М. Г. Хубларян // Сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1978. – С. 27–39.
- 5 Глобус, А. М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей / А. М. Глобус. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 427 с.
- 6 Виноградов, Ю. Б. Современные проблемы гидрологии / Ю. Б. Виноградов, Т. А. Виноградова. – М.: Академия, 2008. – 320 с.
- 7 Виноградов, Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирования стока / Ю. Б. Виноградов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 312 с.
- 8 Голованов, А. И. Математическая модель влагопереноса в ландшафтных катенах / А. И. Голованов, Ю. И. Сухарев // Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России: сб. науч. тр. / МГУП. – Ч. 2. – М.: МГУП, 2005. – С. 3–11.
- 9 Нестеренко, Ю. М. Водная компонента аридных зон / Ю. М. Нестеренко. – Екатеринбург: Урал. центр акад. обслуживания, 2006. – 286 с.

10 Константинов, А. Р. Испарение в природе / А. Р. Константинов. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 532 с.

11 Кучмент, Л. С. Математическое моделирование речного стока / Л. С. Кучмент. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 191 с.

12 Салугин, А. Н. Влагопроницаемость ненасыщенных почвогрунтов аридной зоны / А. Н. Салугин, А. К. Кулик, М. В. Власенко // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 1. – С. 21–24.

УДК 631.67.03/502.65

С. В. Подовалова, Н. М. Иванютин

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД РЕКИ САЛГИР И ЕЕ ПРИТОКОВ

Основной целью исследований является научное обоснование экологически безопасного водопользования в орошаемом земледелии Республики Крым с акцентом на качественные показатели имеющихся водных ресурсов. Р. Салгир и ее притоки являются одним из основных источников воды для целей орошения, к ним привязаны две крупные оросительные системы Салгирская и Тайганская, подающие воду на поливаемые земли Симферопольского, Белогорского, Нижнегорского и Красногвардейского районов. Не только достаточное количество, но и соответствующее качество этой воды является залогом получения высоких и стабильных урожаев, поэтому мониторинговые исследования важны для устойчивого ведения орошаемого земледелия. В ходе работы была установлена динамика показателей солевого состава воды и проведена оценка ее пригодности для целей орошения. В результате установлены показатели, на которые необходимо обратить внимание, чтобы не допустить снижения урожайности возделываемых культур и развития негативных процессов на орошаемых массивах.

Ключевые слова: река Салгир, антропогенная нагрузка, качество воды, орошение, мелиоративная обстановка.

S. V. Podovalova, N. M. Ivanyutin

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

STUDY OF DYNAMICS OF WATER QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF THE SALGIR RIVER AND ITS TRIBUTORIES

The main aim of research is the scientific substantiation of ecologically safe water use in irrigated agriculture of the Republic of Crimea with an emphasis on qualitative indicators of available water resources. The Salgir river and its tributaries are one of the main sources of water for irrigation purposes, two large irrigation systems Salgirskaya and Taiganskaya supplying water to the irrigated lands of Simferopol, Belogorsk, Nizhnegorsk and Krasnogvardeysky districts are attached to them. Not only a sufficient quantity, but also a corresponding quality of this water is a guarantee of high and stable yields, therefore monitoring studies are important for the sustainable irrigated agriculture. In the course of the work the indicators dynamics of water salt composition was determined and an assessment of its suitability for water irrigation purposes was made. As a result indicators that must be taken into account to prevent a decrease in the yield of cultivated crops and the development of negative processes on irrigation projects have been set up.

Key words: the Salgir river, anthropogenic load, water quality, irrigation, reclamative situation.

Введение. Прекращение поставок воды от внешнего водоисточника привело к усилению дефицита водных ресурсов в Республике Крым. Это способствовало увеличению антропогенной нагрузки на ряд водных объектов, что в свою очередь сказалось на качественных показателях водных ресурсов. Р. Салгир является самым крупным водотоком Крымского региона и имеет комплексное водохозяйственное значение, в т. ч. ирригационное [1]. Бассейн р. Салгир занимает 14 % площади полуострова, в нем построено пять водохранилищ (Аянское, Симферопольское, Балановское, Тайганское, Белогорское), более 400 прудов, которые являются источниками хозяйственно-питьевого назначения. Кроме того, в бассейне Салгира находятся элементы оросительных систем и водохозяйственного комплекса Северо-Крымского канала, которые в настоящее время используются для переброски вод в восточную часть полуострова [2]. К стоку, формирующемуся в его бассейне, привязаны две крупные оросительные системы Салгирская и Тайганская, подающие воду на поливаемые земли Симферопольского, Белогорского, Нижнегорского и Красногвардейского районов. Фактически большая часть орошаемых в настоящее время земель поливается за счет именно этого природного водоисточника. Если говорить об усилении антропогенной нагрузки на бассейн реки, хотелось бы подчеркнуть значительное увеличение забора из Симферопольского, Белогорского и Тайганского водохранилищ, аккумулирующих сток р. Салгир и ее притоков, на покрытие питьевых нужд населения г. Симферополя и населенных пунктов восточного региона Крыма. Это в значительной степени отразилось на качественной составляющей стока, самовосстанавливающейся способности самой реки.

Так как получение высоких и гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур зависит не только от достаточного количества воды, подаваемой на участок, но и от мелиоративной обстановки, на которую в значительной мере влияют качественные характеристики водных ресурсов, необходимо вести обязательные наблюдения за пригодностью данного ресурса для целей орошения, в особенности по солевому составу, которому при мониторинговых наблюдениях фактически не уделяется внимание. В основном отслеживаются показатели, влияющие на экологическое состояние самих водотоков.

Использование воды несоответствующего качества может привести к развитию процессов засоления, осолонцевания, уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур, снижению эффективности работы оросительной сети, поливного оборудования и техники.

Материалы и методы. Экспериментальная часть исследований проведена в 2016, 2017 гг. в отделе водосбережения, мониторинга и альтернативного водообеспечения ФГБУН «НИИСХ Крыма».

Пробы воды отбирались в 20 пунктах (рисунок 1), расположенных в бассейне р. Салгир, в которых с 2016 г. проводится мониторинг качественного состава воды в различные сезоны года с выявлением возможных антропогенных источников загрязнения, а также в дополнительно выбранных в 2017 г. створах на основных притоках реки, участвующих в формировании ее качественных и количественных показателей.

Для определения пригодности водных ресурсов для целей орошения были проведены анализы в лаборатории агрохимических исследований ФГБУН «НИИСХ Крыма» по сокращенному перечню показателей: минерализация, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , а также pH и взвешенные вещества. Для проведения комплексной оценки качества воды использовались распространенные методы расчета, принятые в РФ [3, 4].

Результаты и обсуждение. Антропогенное воздействие на воды бассейна р. Салгир остается высоким. Так как численность населения растет и масштабы урбанизации и освоения территории увеличиваются, снижение негативного воздействия на водные объекты не представляется вероятным. Это, в свою очередь, будет вызывать снижение экологического благополучия водных объектов и деградацию водных экосистем [2].

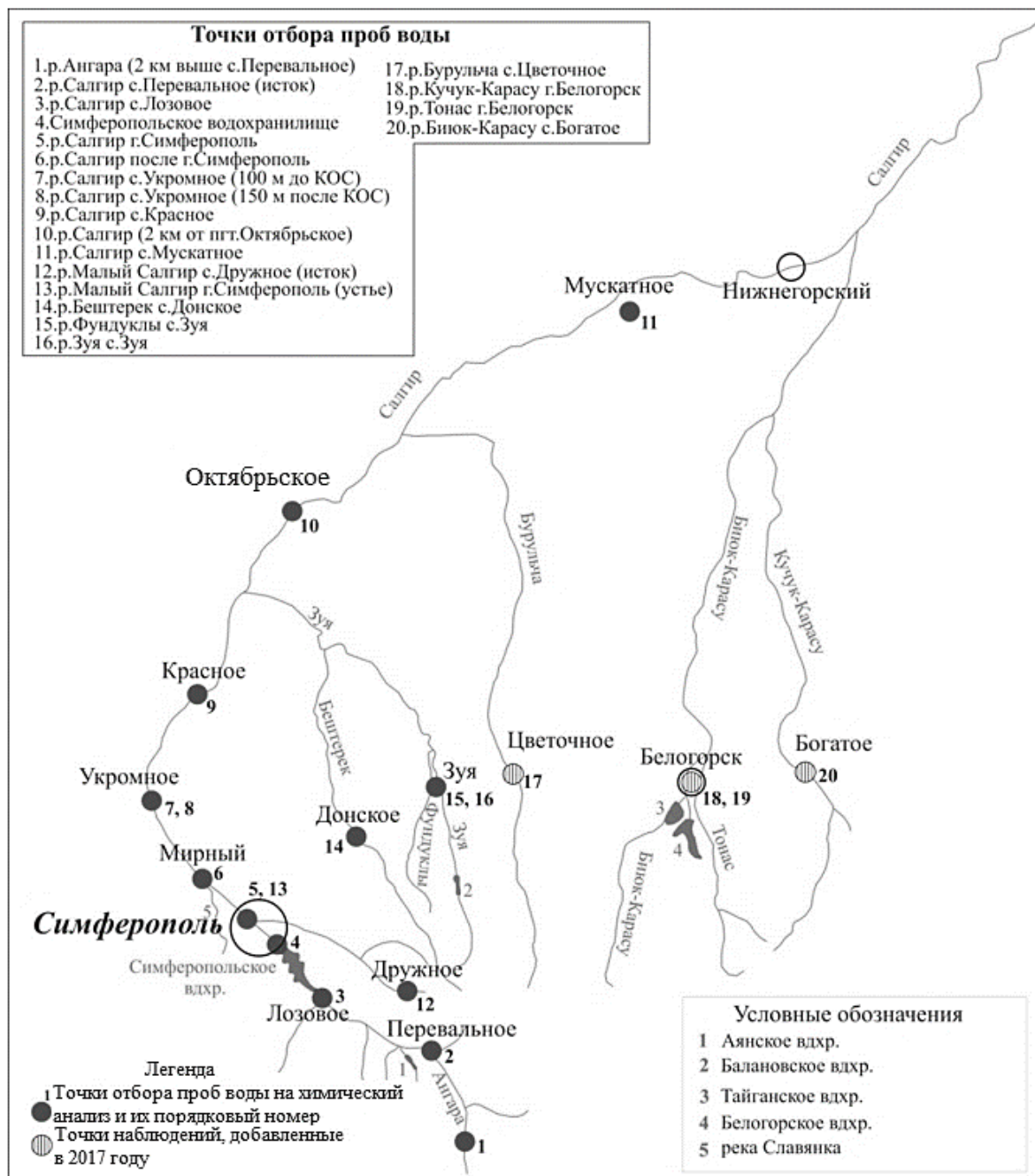


Рисунок 1 – Места отбора проб воды из р. Салгир и ее притоков

В настоящее время более 30 % всех использованных пресных вод полуострова приходится на воды бассейна р. Салгир, а для целей орошения в 2015 г. было использовано 7,56 млн м³ из общих по Крыму 12,97 млн м³, что составляет около 60 %, поэтому необходимо сохранение и рациональное использование данных водных ресурсов [5].

Воды р. Салгир используются для различных нужд народного хозяйства, перед этим проходя дополнительную подготовку, а для целей орошения очистка вод, как правило, не проводится. Необходимо осуществлять оценку качественных характеристик вод реки перед использованием для целей орошения, чтобы предотвратить негативное воздействие их на почву, растения и окружающую среду.

Согласно ГОСТ 17.1.2.03-90 «Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения» [6] установлен перечень нормируемых элементов в поливной воде. Это связано с тем, что качеству воды, используемой для орошения,

необходимо уделять особое внимание, так как ее состав влияет на компоненты природной среды «растение – почва – человек – окружающая среда». Из-за возрастающего воздействия на водные объекты Крыма в условиях роста техногенной нагрузки актуальным становится вопрос оценки их экологического благополучия, так как уже сейчас в окружающей среде содержится около 10 млн поллютантов, а некоторые, даже нетоксические, соединения при комбинированном действии способны вызвать токсические эффекты [3].

Каждый из показателей качества воды, полученный в результате проведения химического анализа, хотя и несет информацию о ее составе, все же не может служить мерой качества воды, так как не позволяет судить о значениях других показателей и совокупном их воздействии, поэтому результатом оценки качества воды должна быть комплексная оценка по общепринятым в РФ методикам. Так как водные ресурсы, используемые при орошении сельскохозяйственных культур, являются главным фактором воздействия на компоненты природной среды, то в результате проведения комплексной оценки можно добиться предотвращения негативного воздействия на вышеперечисленные компоненты.

В таблице 1 приведены результаты химического анализа проб воды из р. Салгир и ее притоков.

Таблица 1 – Результаты химического анализа проб воды из р. Салгир и ее притоков за 2016, 2017 гг.

№ створа	Дата отбора	Сухой остаток	рН	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	В мг/дм ³
										SO ₄ ²⁻
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	09.06.16	188	8,25	85	16	110	80,0	1,3	1,5	30
	19.06.17	274	8,34	275	34	96	13,0	2,0	10,0	17
2	09.06.16	244	8,19	92	16	130	61,0	1,3	4,5	следы
	07.04.17	218	8,34	244	35	102	16,0	2,2	11,0	43
3	30.03.16	338	8,10	213	42	74	13,0	2,3	14,0	30
	12.03.17	270	7,54	275	64	116	45,0	6,5	38,0	48
4	18.08.16	238	8,32	122	42	90	26,0	2,5	11,0	25
	19.06.17	306	8,48	216	44	106	23,0	3,0	16,0	27
5	17.07.16	472	8,42	244	57	182	16,0	2,3	21,0	36
	04.06.17	752	8,40	335	57	70	30,0	2,0	63,0	75
6	17.04.16	564	8,53	335	94	109	19,0	3,4	43,0	45
	13.05.17	338	8,55	275	50	86	11,0	4,0	25,0	24
7	29.05.16	586	8,15	256	48	156	30,0	5,0	41,5	45
	13.05.17	366	8,50	165	40	88	22,0	5,0	25,0	45
8	29.05.16	596	8,50	280	57	160	24,0	8,3	47,5	40
	13.05.17	424	8,55	317	65	98	22,0	8,0	38,0	69
9	29.05.16	580	8,6	305	70	156	21,0	8,3	53,0	42
	13.05.17	438	8,50	319	84	110	22,0	7,0	35,0	69
10	29.05.16	560	8,55	262	80	152	26,0	8,5	47,0	45
	05.05.17	456	7,05	305	54	100	33,0	5,0	35,0	39
11	19.04.16	587	8,30	295	61	180	19,0	3,0	35,0	38
12	17.04.16	234	8,36	244	23	74	2,4	1,5	3,0	4
	02.05.17	314	8,47	263	29	80	10,0	1,5	5,5	9
13	18.04.16	678	5,38	324	107	106	20,0	3,0	49,0	54
	07.04.17	570	8,27	293	81	124	28,0	3,0	58,0	108
14	15.05.16	394	8,40	244	50	50	11,0	5,0	40,0	54
	17.07.17	358	7,38	244	40	94	20,0	3,0	20,0	55

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	15.05.16	530	8,22	341	51	100	3,0	6,5	33,0	51
	17.07.17	500	7,40	293	50	116	38,0	5,5	32,0	62
16	15.05.16	532	8,14	335	47	78	21,0	8,3	41,0	45
	17.07.17	486	7,83	305	50	122	40,0	6,0	30,0	60
17	17.07.17	278	7,45	214	34	72	20,0	1,9	9,0	50
18	17.07.17	234	7,75	201	34	68	18,0	1,5	8,0	35
19	17.07.17	346	7,51	244	40	94	34,0	3,0	15,0	50
20	17.07.17	352	7,57	275	34	80	32,0	4,8	18,0	55

Паспорт воды (формула Курлова). Формула Курлова – стандартный вид записи информации о природной воде или источнике (рисунок 2).



Рисунок 2 – Изменение «паспорта воды» р. Салгир, мг/дм³

В соответствии с результатами анализов и рассчитанной по ним формулой Курлова антропогенное воздействие на качественные характеристики речной воды наблюдается на всем ее протяжении, т. е. по мере продвижения от верхних звеньев гидрографической сети к нижним. В связи с этим изменяется и «паспорт воды», если в верхнем течении преобладают гидрокарбонаты (результат вымывания известняковых пород), то в среднем течении – хлориды (результат попадания в воду промышленных и хозяйственных сточных вод).

При сравнении химического состава вод в одних и тех же точках пробоотбора за 2016 и 2017 гг., отраженного в записи «паспорта воды», прослеживается уменьшение количества створов с преобладанием вод хлоридного типа, а основная часть водотока относится к гидрокарбонатному типу. Воды притоков р. Салгир, по данным исследований, относятся к гидрокарбонатным магниево-кальциевым.

Оценка по величине минерализации (по А. Н. Костякову) [7]. Данная классификация воды продолжает широко использоваться в РФ. Согласно результатам лабораторных анализов, по степени минерализации (рисунок 3) вода р. Салгир в основном пригодна для целей орошения.

Оценка качества воды по ирригационному коэффициенту Стеблера. Данный коэффициент рассчитывается по нескольким формулам в зависимости от концентрации Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} :

$$\text{ - при } r\text{Na}^+ < r\text{Cl}^- \quad A = \frac{288}{5r\text{Cl}};$$

$$\text{ - при } r\text{Cl}^- < r\text{Na}^+ < (r\text{Cl}^- + r\text{SO}_4^{2-}) \quad A = \frac{288}{r\text{Na} + 4r\text{Cl}};$$

$$\text{ - при } r\text{Na}^+ > (r\text{Cl}^- + r\text{SO}_4^{2-}) \quad A = \frac{288}{10r\text{Na} - 5r\text{Cl} - 9r\text{SO}_4},$$

где A – ирригационный коэффициент;

288 – безразмерный эмпирический коэффициент;

rNa^+ , rCl^- и rSO_4^{2-} – концентрация натрия, хлора и сульфат-иона, мг-экв/л.

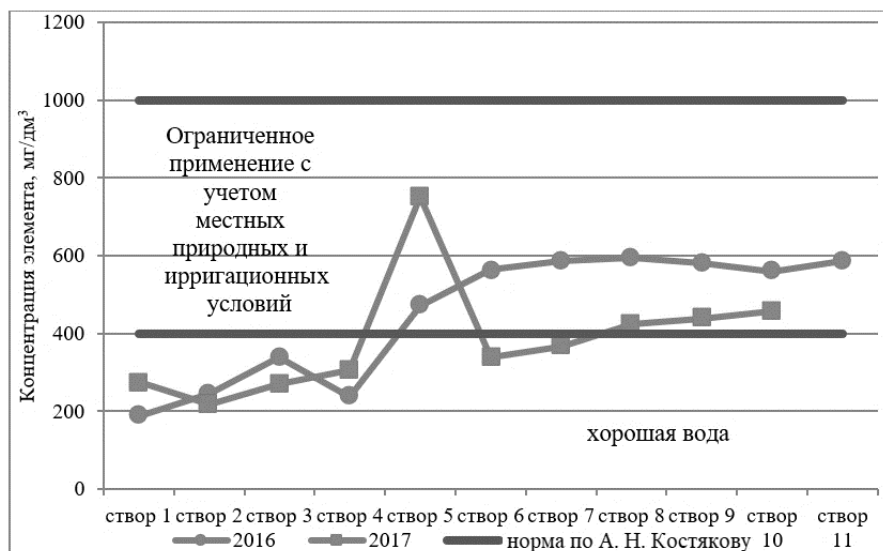


Рисунок 3 – Пригодность вод р. Салгир по величине минерализации

Для установления ирригационных качеств воды (оценки возможности осолонцевания почв) используют щелочную характеристику, т. е. рассчитывают ирригационный коэффициент, называемый также щелочным коэффициентом Стеблера. Вода, для которой расчетное значение ирригационного коэффициента выше 18, считается пригодной для орошения и не требует применения предупредительных мер перед использованием.

Так, данный показатель в 2016 г. у истока реки был в 2 раза выше, чем в 2017 г. (128 и 60 соответственно), а в черте города Симферополя отмечено его увеличение с 21,7 в 2016 г. до 40,8 в 2017 г. Повышение показателя наблюдалось и в самом нижнем створе р. Салгир (пгт Октябрьское) (с 25,6 в 2016 г. до 37,9 в 2017 г.). Следовательно, воды р. Салгир и ее притоков в 2016 и 2017 гг. по вероятности осолонцевания почв пригодны для целей орошения.

Только в одном створе (р. Зуя) в 2016 г. было зафиксировано расчетное значение 2,74, квалифицирующее данную воду как воду неудовлетворительного качества, которую можно применять для орошения лишь после глубокой предварительной обработки или строительства искусственного дренажа на полях с целью профилактики почв от возможного их осолонцевания. Результаты 2017 г. этого не подтвердили.

Оценка качества воды по степени опасности осолонцевания почв:

- по натриево-адсорбционному отношению, которое характеризует относительную активность ионов натрия и рассчитывается по формуле:

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{0,5(rCa + rMg)}},$$

где Na, Ca, Mg – концентрация катионов, мг-экв/л.

При значениях $SAR < 10$ опасность осолонцевания почв низкая, оросительные воды считаются безопасными.

При длительном использовании воды с высоким показателем SAR натрий замещает другие элементы в почвенном поглощающем комплексе, ухудшается структурность почвы и ее водопроницаемость. Повышенное содержание кальция и магния снижает вредоносное влияние натрия, поэтому при высоком показателе SAR рекомендуется провести гипсование почвы с целью вытеснения натрия из почвенного поглощающего комплекса [2].

По результатам расчетов всех проб воды можно сделать вывод, что опасность осолонцевания почв при использовании этих вод для орошения низкая, так как рассчитанные величины SAR не превышают 1,58;

- **по натриевому показателю**, который рассчитывается по формуле:

$$P_{Na} = \frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+} \times 100.$$

Был проведен расчет процентного содержания натрия в исследуемых пробах. Согласно полученным результатам почти во всех пробах воды процентное содержание натрия имеет тенденцию к увеличению. Так, например, у истока реки в с. Перевальном P_{Na} возрос в 4 раза (с 1,7 % в 2016 г. до 7 % в 2017 г.), как и в черте города (с 8 до 31,35 % соответственно). Однако превышений порогового значения в 50 % не зафиксировано. В результате можно сделать вывод, что опасность осолонцевания почв при использовании этих вод для орошения низкая;

- **по магниевому показателю**, который рассчитывается по формуле:

$$P_{Mg} = \frac{Mg^+}{Ca^{++} + Mg^{++}} \times 100.$$

Магний неблагоприятно воздействует на почву при его содержании в воде более 50 % от суммы $Ca^{2+} + Mg^{2+}$. Он усиливает адсорбирование натрия (Na^+) почвой в контакте ее с водой и увеличивает вредное воздействие натрия на почву.

У истоков р. Салгир отмечено уменьшение процентного содержания магния в пробах воды более чем в 2 раза (в с. Перевальном с 43,9 % в 2016 г. до 20,7 % в 2017 г.), во всех остальных пробах, наоборот, получены значения выше 2016 г. А в 2016 г. в пробе воды из основного притока (р. Ангары) содержание магния превысило допустимое значение и составило 55 %, при использовании такой воды возможно магниевое засоление почв. Остальная вода пригодна для целей орошения;

- **по степени опасности осолонцевания почв** (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация вод по степени опасности осолонцевания почв

Год	Класс воды	Номер пробы	Возможность использования воды
2016	I	1–5, 12, 14	Вполне пригодна для всех культур и типов почв
	II	6–11, 13, 15, 16	Пригодна для большинства культур и типов почв
2017	I	1–4, 6–9, 12, 14–20	Вполне пригодна для всех культур и типов почв
	II	5, 10, 13	Пригодна для большинства культур и типов почв

В результате проведенной оценки вод р. Салгир и ее притоков выяснилось, что в 2016 г. воды верхнего течения реки (до створа 5) относились к I классу и были пригодны для целей орошения всех культур и типов почв, а воды нижнего течения (створы 6–11) относились ко II классу и были пригодны для полива большинства культур и типов почв. В 2017 г. ситуация изменилась и воды во всех створах, кроме 5 и 10, уже относились к I классу. Воды истока р. Малый Салгир в 2016 и 2017 гг. также относились к I классу, а вот воды в устье реки, находящемся в центральной части г. Симферополя, были отнесены ко II классу. Воды всех исследуемых притоков р. Салгир в 2017 г. относились к I классу.

Оценка качества воды по показателю жесткости. Так как в результате проведения анализов было определено отдельно содержание кальция и магния, для подсчета общей жесткости мы суммировали эти два элемента, переведенные в мг-экв/л, и охарактеризовали пригодность воды по величине жесткости (рисунки 4, 5).

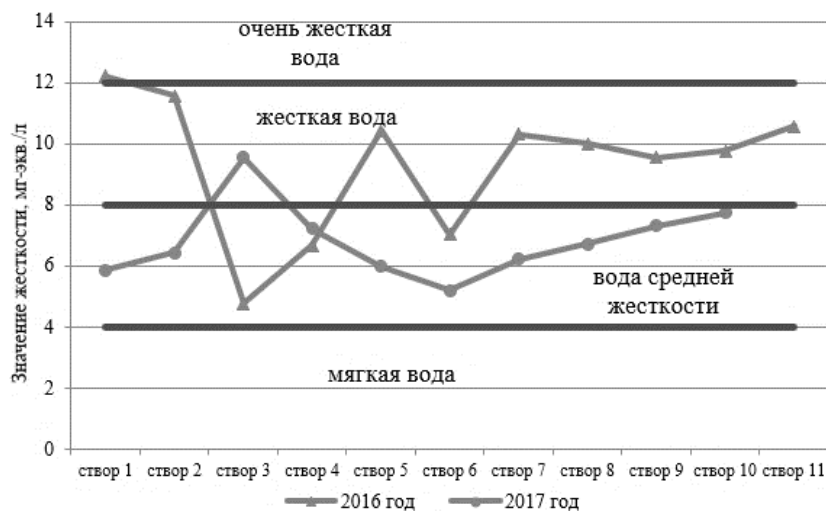


Рисунок 4 – Изменение показателя жесткости вод р. Салгир

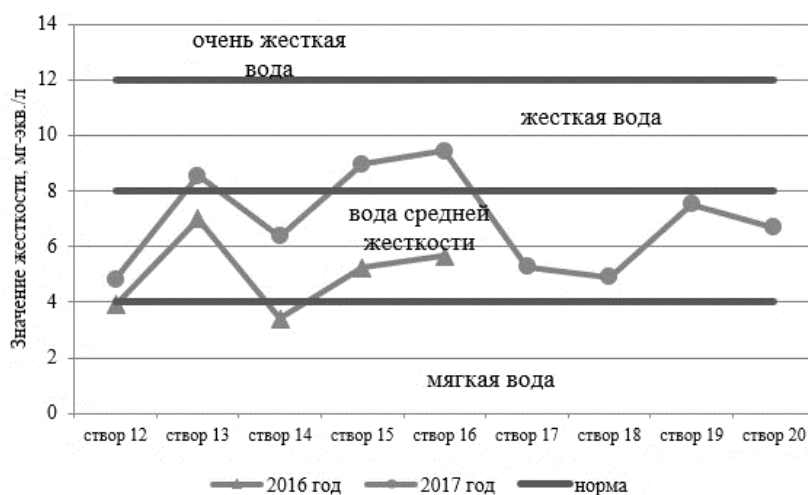


Рисунок 5 – Изменение показателя жесткости вод притоков р. Салгир

Из данных рисунков 4, 5 следует, что воды р. Салгир по всему течению претерпевают изменения, которые связаны с изменением антропогенной нагрузки. В 2017 г. значение жесткости на всем протяжении реки было ниже, чем в 2016 г. Практически во всех створах воды классифицированы как среднежесткие. Воды р. Малый Салгир по показателю жесткости, как и по остальным изученным показателям, у истока значительно отличались от вод у устья. Воды в р. Фундуклы и Зуя (створы 15 и 16) относились в 2016 г. к среднежестким, в 2017 г. – к жестким.

Повышенная жесткость отрицательно влияет на растения, так как приводит к переходу важнейших элементов питания в соединения, недоступные для растений.

Дополнительно к приведенному перечню методов оценки качества вод для целей орошения нами были составлены диаграммы (рисунки 6–9), на которых показана динамика содержания хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов за 2016 и 2017 гг. по р. Салгир и ее притокам.

Река Салгир. Анализируя данные рисунков 3, 6, 7, можно увидеть, что сухой остаток, содержание хлоридов и сульфатов увеличивается на всем протяжении реки, это можно связать с увеличением антропогенной нагрузки на реку по мере продвижения к нижним частям водотока. Концентрация сухого остатка в 2017 г. была немного ниже, чем в 2016 г., однако в створе 5 (участок реки в черте г. Симферополя) наблюдался скачок минерализации до 752 мг/дм³. Концентрация хлоридов в большей части

створов в 2017 г. была выше уровня 2016 г. Содержание сульфатов было значительно выше показателей 2016 г. При этом наблюдались значительные колебания концентрации этого компонента от створа к створу, это может быть связано с влиянием точечных источников поступления поллютанта в реку.

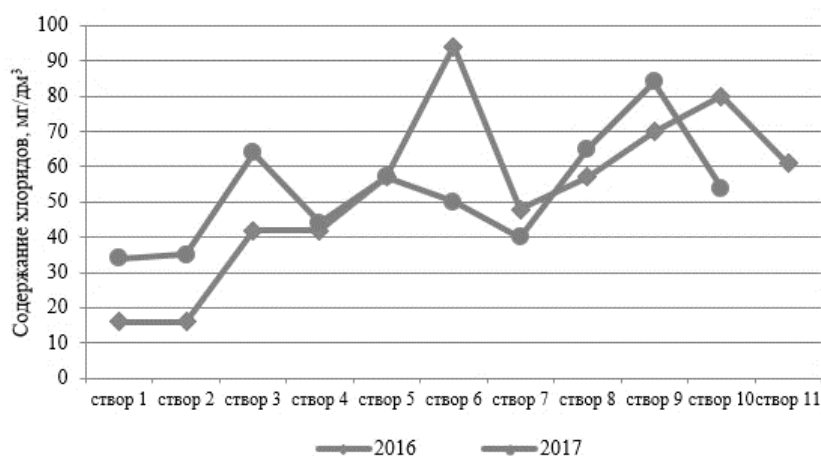


Рисунок 6 – Динамика концентрации хлоридов в водах р. Салгир от истока к устью в 2016, 2017 гг.

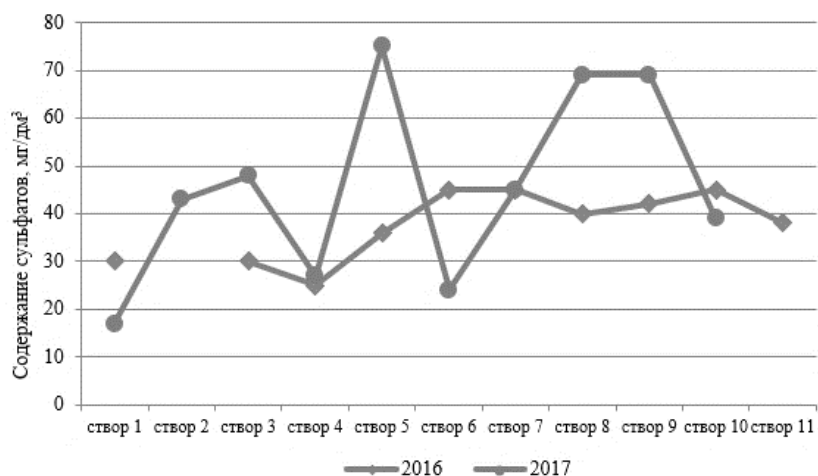


Рисунок 7 – Изменение концентрации сульфатов в водах р. Салгир от истока к устью в 2016, 2017 гг.

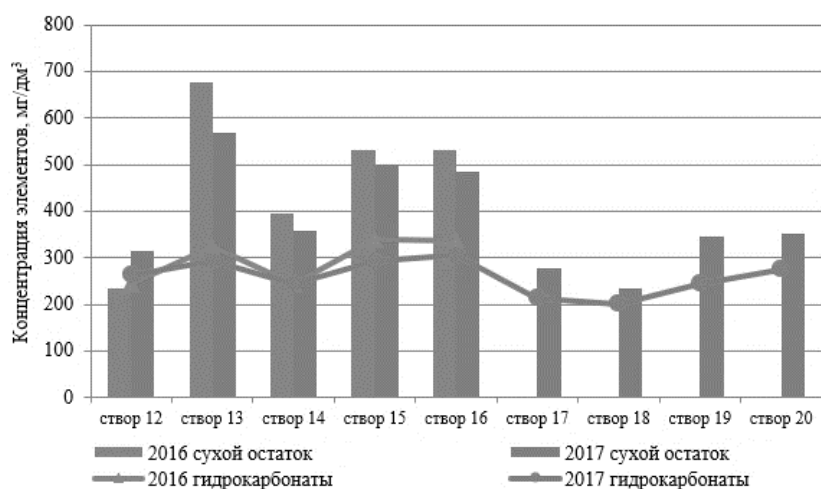


Рисунок 8 – Динамика уровня минерализации и содержания гидрокарбонатов в воде притоков р. Салгир в 2016, 2017 гг.

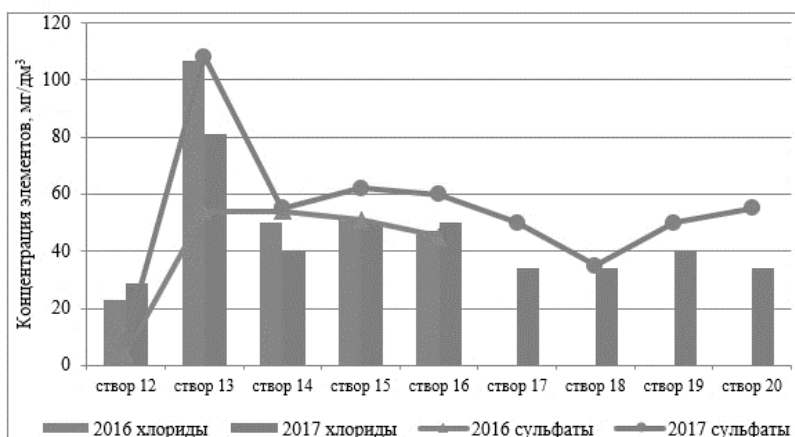


Рисунок 9 – Динамика концентрации хлоридов и сульфатов в воде притоков р. Салгир в 2016, 2017 гг.

Притоки реки Салгир. При анализе данных рисунков 8, 9 первое, на что обращает внимание, – это большой скачок концентрации всех представленных компонентов в створах 12 и 13 (исток и устье р. Малый Салгир). Это еще раз доказывает рост антропогенной нагрузки на речной бассейн по мере продвижения от верхних участков гидрографической сети к нижним.

Выводы

1 Одним из основных критериев, определяющих возможность использования водного объекта для целей орошения, является качество воды. Использование воды несоответствующего качества может привести к развитию процессов засоления, осолонцевания, уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур, снижению эффективности работы оросительной сети, поливного оборудования и техники.

2 В результате исследований установлено, что сухой остаток, концентрации хлоридов и сульфатов увеличиваются на всем протяжении реки, это можно связать с увеличением антропогенной нагрузки на реку по мере продвижения к нижним частям водотока. Сухой остаток в 2017 г. был немного ниже, чем в 2016 г. Концентрация хлоридов в большей части створов в 2017 г. была выше уровня 2016 г. Содержание сульфатов было значительно выше показателей 2016 г. При этом наблюдались значительные колебания концентрации этого компонента от створа к створу, это может быть связано с влиянием точечных источников поступления загрязнителя в реку.

3 В результате проведенной оценки вод р. Салгир и ее притоков выяснилось, что в 2016 г. воды верхнего течения реки (до створа 5) относились к I классу и были пригодны для целей орошения всех культур и типов почв, а воды нижнего течения (створы 6–11) относились ко II классу и были пригодны для полива большинства культур и типов почв. В 2017 г. ситуация изменилась и воды во всех створах, кроме 5 и 10, уже относились к I классу.

4 Из результатов анализов проб воды на жесткость следует, что воды р. Салгир по всему течению претерпевают изменения, которые связаны с изменением антропогенной нагрузки. В 2017 г. значение жесткости на всем протяжении реки было ниже, чем в 2016 г. Практически во всех створах воды классифицированы как среднежесткие. Воды рек Фундуклы и Зуя (створы 15 и 16) относились в 2016 г. к среднежестким, в 2017 г. – к жестким.

5 При оценке вод по ирригационному коэффициенту Стеблера, процентному содержанию натрия и магния выявлена тенденция к увеличению этих показателей, что в дальнейшем может привести к ухудшению качества вод и непригодности их для целей орошения, поэтому необходимо проводить регулярные наблюдения за качественными показателями вод.

6 Полученные результаты и расчеты указывают на необходимость проведения многолетних исследований качественных характеристик водных ресурсов с расширением количества изучаемых водотоков, используемых для орошения.

Список использованных источников

1 Иванютин, Н. М. Водооборот и антропогенная нагрузка в бассейне реки Салгир / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова, В. И. Кременской // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 4(24). – С. 174–188. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec452-field6.pdf.

2 Иванютин, Н. М. Влияние антропогенной деятельности на качественные характеристики вод реки Салгир и их оценка по степени пригодности для целей орошения / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 95–103.

3 Мелиоративные системы и сооружения: СНиП 2.06.03-85: утв. Госстроем СССР 17.12.85: введ. в действие с 01.07.86. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.

4 Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: СанПиН 2.1.4.1175-02: утв. Гл. гос. санитарным врачом Рос. Федерации 17.11.02: введ. в действие с 01.03.03. – М., 2003.

5 Подовалова, С. В. Оценка качества вод реки Салгир с использованием метода биотестирования / С. В. Подовалова, Н. М. Иванютин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 127–143. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec501-field6.pdf.

6 ГОСТ 17.1.2.03-90. Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения. – Введ. 1991-07-01. – М., 1990.

7 Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 189 с.

УДК 626.82

Р. Т. Хожамуратова

Каракалпакский государственный университет, Нукус, Республика Узбекистан

Э. И. Чембарисов

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

Ж. Б. Мирзакобулов

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД ОРОШАЕМОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАРАКАЛПАКСТАН

В статье представлены характеристики уровня залегания, минерализации и химического состава грунтовых вод орошаемой зоны Республики Каракалпакстан. Приведен анализ многолетнего изменения этих характеристик и их распределения по отдельно выделенным районам.

Ключевые слова: орошаемая зона, Республика Каракалпакстан, уровень залегания грунтовых вод, минерализация, химический состав.

R. T. Khozhamuratova

Karakalpak State University, Nukus, Republic of Uzbekistan

E. I. Chembarisov

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Zh. B. Mirzakobulov

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

PECULIARITIES OF GROUNDWATER SALINITY AND CHEMICAL COMPOSITION DISTRIBUTION OF THE IRRIGATED ZONE OF THE REPUBLIC OF KARAKALPAKSTAN

The article presents the peculiarities of the level of occurrence, mineralization and chemical composition of groundwater in the irrigated zone of the Republic of Karakalpakstan are presented. An analysis of the long-term changes of these characteristics and their distribution over allocated regions is given.

Key words: irrigated zone, Republic of Karakalpakstan, groundwater table, salinity, chemical composition.

Дельта Амударьи на территории Каракалпакии сложена многими видами и типами отложений мелового, третичного и четвертичного периодов. Меловые отложения имеют место на правом берегу реки. Третичные отложения встречаются у Туя-Муюна, Кызылкума, Устюрта и в других районах в виде отложений красных и красно-желтых глин. Четвертичные отложения широко распространены повсеместно на территории современной и формирующейся дельты р. Амударьи и состоят из песков, супесей, суглинков и глин, приносимых водой. Эти отложения имеют сравнительно хорошую водопроницаемость, неустойчивость к процессам размыва, рыхлую структуру. Четвертичные отложения являются объектом мелиорации, в них формируются грунтовые воды и их режим [1, 2].

Сложность геологического строения дельты р. Амударьи, наличие и хозяйственное использование орошаемых земель в дельте обуславливают особенности ее гидрогеологических условий и формирования режима грунтовых вод. В плане проведения гидроэкологического мониторинга большой практический интерес вызывает анализ минерализации и состояния уровня грунтовых вод за многолетний период.

Анализ имеющихся данных о гидрогеолого-мелиоративной обстановке показал, что на орошаемых землях высокие уровни грунтовых вод наблюдаются в марте и апреле, в период интенсивных промывных поливов, по окончании промывок происходит некоторое падение уровня [2].

По условиям формирования грунтовых вод низовья р. Амударьи отличаются от остальных оазисов Узбекистана тем, что главная речная артерия здесь проходит по командным отметкам территории, формируя потоки грунтовых вод, движущиеся от реки вглубь оазиса [1, 3].

На орошаемой площади размером 515,3 тыс. га территории с грунтовыми водами на глубине 0–1 м занимают 7,8 тыс. га, 1,0–1,5 м – 48,9 тыс. га, 1,5–2,0 м – 268,6 тыс. га, 2–3 м – 120,9 тыс. га, 3–5 м – 66,9 тыс. га, более 5 м – 2,21 тыс. га. Минерализация грунтовых вод изменяется следующим образом: участки с минерализацией грунтовых вод 0–1 г/л занимают 2,7 тыс. га, 1–3 г/л – 433,7 тыс. га, 3–5 г/л – 72,8 тыс. га, 5–10 г/л – 6,0 тыс. га и более 10 г/л – 0,3 тыс. га.

График колебания грунтовых вод по Республике Каракалпакистан за период 1963–2011 гг. приведен на рисунке 1. Видно, что с 1980 по 1999 г. глубина грунтовых вод колебалась в пределах 210–180 см, а в маловодные 2000, 2001 гг. уровень грунтовых вод опустился до 350–360 см.

Грунтовые воды, насыщающие толщу дельтовых отложений и почти лишенные общего стока, образуют обширный бассейн с неоднородными гидрогеологическими

условиями. Неоднородность выражается в различии глубины залегания грунтовых вод, их минерализации, условий местного стока и зависит от питания, рельефа и литологического строения пород.

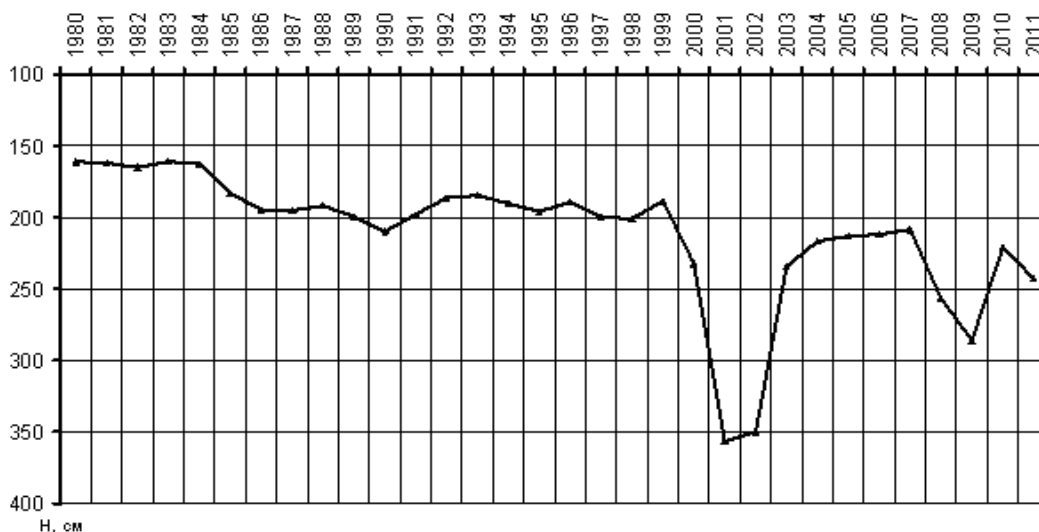


Рисунок 1 – График колебания уровня грунтовых вод по Республике Каракалпакстан за период 1980–2011 гг.

В формировании подземных вод дельты основную роль играют сама река и ее притоки. Атмосферные осадки в питании грунтовых вод заметную долю составляют только весной на участках неглубокого залегания. Грунтовые воды расходуются преимущественно на испарение. Подземный сток имеет подчиненное значение, находясь в зависимости от местных литолого-геоморфологических условий. Участки более или менее хорошо выраженного местного подземного стока расположены у реки и ее притоков.

Периферические части дельты, вблизи Устюрта на западе и в Тахтакупырском районе на востоке, характеризуются обычно глубоким (ниже 10 м) залеганием грунтовых вод; испарение крайне ослаблено.

В пределах площадей вблизи Аральского моря, характеризующихся обилием часто меняющихся протоков реки, разливами и озерами, грунтовые воды залегают неглубоко (обычно не глубже 3 м). Местный подземный сток в этих частях дельты заметно выражен вдоль действующих русел (река и ее протоки), играющих роль источников питания грунтовых вод. Подземный сток, направляющийся от русел вглубь береговой полосы, быстро затухает (у протоков – на расстоянии нескольких сотен метров, а у главного русла реки – на расстоянии 1–2 км), так как в большинстве случаев он осуществляется при неглубоком залегании грунтовых вод, которые на пути стока в значительном количестве испаряются. Структура регионального баланса грунтовых вод всей дельты от Туя-Муюна до Арала (без учета орошения) характеризует бассейн как территорию естественного соленакопления (таблица 1).

Таблица 1 – Структура регионального баланса грунтовых вод всей дельты от Туя-Муюна до Арала (без учета орошения)

Приход		Расход	
Потери из р. Амударьи (без учета разливов)	320	Подземный отток	0
Атмосферные осадки	30	Суммарное испарение, повышение уровня грунтовых вод и возврат в реку	350
Подземный приток	0	Итого	350
Итого	350		

В м³/с

Минерализация грунтовых вод в зоне застоя пестрая, наблюдается неравномерное распределение солей, которое зависит в основном от наличия местного подземного стока [2].

Наименьшей минерализацией обладают грунтовые воды приречной полосы и участков, прилегающих к протокам. При этом преобладающее значение имеют гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые, а в непосредственной близости к водотокам – гидрокарбонатные кальциевые воды. По мере возрастания общего содержания солей в воде, что особенно резко выражено в средних частях междуречных понижений, повышается содержание сульфатов и хлоридов, а в сильно минерализованных (40–60 г/л) водах преобладают хлориды. Из катионов преобладают натрий и магний.

В вертикальном профиле минерализация грунтовых вод также изменчива. Их опресняют через местный подземный сток фильтрационные воды Амударьи и ее притоков.

Наконец, соленосные, особенно третичные, породы коренного ложа обуславливают часто повышенную минерализацию грунтовых вод в нижней части водоносной толщи. Поэтому в одних случаях с глубиной наблюдается понижение минерализации, в других – повышение.

При рассмотрении условий залегания грунтовых вод нетрудно заметить особенность строения водоносной толщи дельтовых отложений. В теле дельты широко развиты песчаные образования русловых фаций. В результате блуждания реки и ее притоков русловые фации погребались под фациями разливов и озер, которые представлены сложным комплексом супесей, суглинков и глин, содержащих прослойки мелкозернистого песка. Отложения русел в теле дельты имеют ярусное строение. В результате изменчивости направлений гидрографической сети на протяжении всей истории ее развития горизонтальные проекции древних погребенных и современных русел сложно пересекались.

Русловые фации представляют большой интерес как участки возможных естественных коллекторов (в случае создания в них районного понижения зеркала грунтовых вод при помощи откачек из скважин). Эти участки наиболее благоприятны и для локализации подземного, хотя и слабого, стока.

На территории бассейна выделяется согласно работам Н. Н. Ходжибаева [1] несколько групп потоков грунтовых вод:

- группа потоков грунтовых вод левобережья Амударьи. Располагается в западной части бассейна, на территории приаральской части дельты Амударьи. Границы ее на востоке и юго-востоке проходят по Амударье, на юге – по выходам коренных пород через выступ Назымхан до плато Аккелин, на западе – по чинку Устюрта, на северо-западе – по сороковой гидроизогипсе, являющейся границей описываемого потока и потока грунтовых вод со стороны оз. Судочье, на севере (условно) – по линии современной формирующейся дельты. Источники питания грунтовых вод – фильтрационные потери поверхностного стока и инфильтрация атмосферных осадков. На отдельных участках в старых руслах в отложениях мела и четвертичного возраста наблюдаются линзы пресных вод с минерализацией до 1 г/л. Минерализация грунтовых вод увеличивается от зоны питания (0,5 г/л) к зоне разгрузки (50–60 г/л) (от пресных до горько-соленых);

- группа потоков грунтовых вод современной Аральской дельты. Находится в северо-западной части бассейна. На западе она ограничена Амударьей, на севере – современной формирующейся дельтой, на северо-востоке граница проходит вдоль юго-западного склона возвышенности Бельтау, на юго-востоке – по пескам Табакум. Источники питания грунтовых вод – фильтрационные воды временно и постоянно действующих водотоков и в некоторой степени – инфильтрация атмосферных осадков. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 1–5 до 10–20 м. Минерализация изменяется от 0,5 (в зоне питания) до 10–50 г/л (в зоне разгрузки). В районе группы потоков преоб-

ладает процесс вертикального водообмена. Территория естественно слабодренажена, а в нижней части, где испарение преобладает над стоком, не дренирована;

- группа потоков грунтовых вод северных склонов гор Султануиздаг. Располагается в юго-восточной части описываемого бассейна. Источники питания грунтовых вод – поверхностные воды Амударьи, атмосферные осадки и перелив вод коренных отложений. Воды отличаются слабой минерализацией (от 0,5 до 1,5 г/л) в старых руслах Амударьи и повышенной (до 10–15 г/л) – на песчаной равнине. В зонах питания грунтовые воды залегают на отметках 95–105 м, в зонах разгрузки – 40 м. Направление движения потока – с юга на север и северо-восток.

Благодаря затрудненному подземному стоку, а также климатическим условиям района грунтовые воды расходуются в основном на испарение и транспирацию. Незначительное количество вод расходуется на подземный отток в сторону Сарыкамышской впадины. Несколько улучшен отток по руслам староречий. Минерализация грунтовых вод оазиса зависит от характера питания и расходования грунтовых вод и их связи с рекой. Минерализация – от 0,5 до 5 г/л и выше.

Наименее минерализованные воды развиты вдоль Амударьинских староречий Дарьялыка и Даудана, наиболее минерализованные распространены главным образом за пределами оазиса. Это свидетельствует о существенном перемещении водных масс, а следовательно и солей, внутри дельты под действием естественных геологических факторов.

Гидрохимический профиль на всей территории Присарыкамышской дельты имеет одну форму: некоторое повышенное значение минерализации у зеркала грунтовых вод, уменьшение ее в интервале 5–15–25 м и вновь увеличение с глубиной.

По химическому составу грунтовые воды изменяются от гидрокарбонатно-сульфатных до хлоридно-сульфатных. Соотношение питания грунтовых вод с испарением определило особенности химического состава – интенсивное накопление в грунтовых водах оазиса хлоридов.

Для территории бассейна характерно распространение грунтовых вод с глубиной залегания зеркала от 1–2 до 30 м. Наиболее близкое залегание уровня наблюдается в приамударьинской полосе; с удалением к ее периферии он погружается и в пустынной части дельты находится на глубине свыше 15 м.

Разгрузка грунтовых вод в левобережье происходит за счет испарения, транспирации и подземного оттока в сторону Сарыкамышской котловины, частичная – путем выклинивания в районе озер юга Хорезма, на Акчадарьинской дельте – за счет испарения, транспирации и частично выклинивания в оз. Ащиккуль.

По данным мелиоративной службы Министерства сельского и водного хозяйства РУз, земли со средней и сильной степенью засоления в Республике Каракалпакстан составляли в разные годы от 40 до 50 % орошаемой территории, сильной – от 22,7 до 64,5 тыс. га, в Хорезме – от 12 до 39 тыс. га. Если такие земли оставить без промывки, то на них вообще невозможно получить урожай. Сезонное засоление зависит от глубины грунтовых вод, режима и технологии поливов в вегетацию хлопчатника. При недостатке подачи оросительной воды сверху и неудовлетворительном дренировании территорий к концу вегетации в верхнем корнеобитаемом слое накапливаются соли. Засоление – результат неоптимального управления водными ресурсами, вследствие которого имеются значительные потери урожая хлопчатника и других сельскохозяйственных культур. Неудовлетворительное водоотведение способствует застою грунтовых вод, но основная причина подъема уровня грунтовых вод – большие потери воды из каналов и на полях при поливах сельхозкультур.

Средний уровень грунтовых вод орошаемой зоны по Республике Каракалпакстан за 2013 г. приведен в таблице 2. Видно, что в пределах мелиоративных систем средний годовой уровень грунтовых вод изменяется от 157 до 561 см.

Таблица 2 – Средний уровень грунтовых вод орошаемой зоны по Республике Каракалпакстан за 2013 г.

Наименование мелиоративной системы	Район	Месяц												Среднегодовой уровень грунтовых вод
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Южная	Турткуль	217	198	170	167	179	185	171	162	170	180	194	200	183
	Элликкала	220	201	173	175	184	188	176	166	177	191	206	214	189
	Беруни	196	158	137	138	154	169	162	150	153	173	197	200	166
Амударьинская	Амударья	164	139	134	146	166	177	150	135	146	171	191	166	157
	Ходжейли	182	151	136	153	170	193	186	166	177	202	221	203	178
	Шуманай	199	165	169	176	185	215	229	214	215	224	229	217	203
Левобережная	Канлыккуль	206	193	190	197	201	210	206	188	192	206	220	217	202
	Кунград	196	173	184	176	190	204	198	184	171	178	178	195	186
	Муйнак	563	559	542	550	543	553	567	564	567	577	576	576	561
Правобережная	Нукус	242	226	235	230	228	233	220	222	226	248	262	254	236
	Кегейли	265	252	240	243	244	264	279	269	271	293	304	305	269
	Чимбай	212	173	175	189	202	227	236	218	229	259	275	287	224
	Караузьяк	189	188	190	178	190	205	204	196	207	220	237	252	205
	Тахта-купыр	224	219	220	211	213	221	217	217	222	232	243	255	225
По Республике Каракалпакстан	234	214	207	209	218	232	229	218	223	240	252	253	227	

В см

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

На орошаемой площади размером 515,3 тыс. га участки с грунтовыми водами на глубине 0–1 м занимают 7,8 тыс. га, 1,0–1,5 м – 48,9 тыс. га, 1,5–2,0 м – 268,6 тыс. га, 2–3 м – 120,9 тыс. га, 3–5 м – 66,9 тыс. га, более 5 м – 2,21 тыс. га. Территории с минерализацией грунтовых вод 0–1 г/л занимают 2,7 тыс. га, 1–3 г/л – 433,5 тыс. га, 3–5 г/л – 72,8 тыс. га, 5–10 г/л – 6,0 тыс. га и более 10 г/л – 0,3 тыс. га.

В результате проведенного анализа выявлено, что с 1980 по 2011 г. глубина грунтовых вод колебалась в пределах 210–180 см, а в маловодные 2000, 2001 гг. уровень грунтовых вод опустился до 350–360 см. За прошедшие годы наблюдалась общая тенденция к понижению уровня грунтовых вод.

Наименьшей минерализацией обладают грунтовые воды приречной полосы и участков, прилегающих к протокам. По мере возрастания общего содержания солей в воде повышается содержание сульфатов и хлоридов, из катионов преобладают натрий и магний.

Рассмотренные выше закономерности составляют теоретическую основу для прогнозов вторичного засоления почв и грунтов при длительном орошении. Было выявлено, что в настоящее время преобладает хлоридно-сульфатный тип вторичного засоления. При длительной эксплуатации оросительных систем и отмывке хлористых и сульфатных солей происходит уменьшение минерализации грунтовых вод, они метаморфизуются в обратном направлении.

Список использованных источников

1 Ходжибаев, Н. Н. Естественные потоки грунтовых вод Узбекистана / Н. Н. Ходжибаев. – Ташкент: Фан, 1970. – 174 с. – (Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 7).

2 Генезис, формирование и режим поверхностных вод Узбекистана и их влияние на засоление и загрязнение агроландшафтов (на примере бассейна реки Амударья) / Э. И. Чембарисов, А. Б. Насрулин, Т. Ю. Лесник, Р. Т. Хожамуратова. – Нукус: Каракалпакстан, 2016. – 187 с.

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

УДК 626.823

А. Ю. Гарбуз

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ТРЕЩИНЫ БЕТОННЫХ ОБЛИЦОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ

Целью исследований являлось моделирование процесса фильтрации через малые трещины бетонных облицовок каналов с использованием экспериментального метода электрогидродинамических аналогий (ЭГДА). Для достижения поставленной цели автором были выполнены экспериментальные исследования по оценке водопроницаемости малых трещин различной глубины и ширины раскрытия, которые проводились на установке ЭГДА-9/60. В качестве закольматированных трещин применялась медная проволока диаметром 0,14 мм, которая с помощью клея БФ-2 с добавлением сажи крепилась к модели области фильтрации. По результатам проведенных исследований была по-

строена гидродинамическая сетка и получена расчетная номограмма, позволяющая определять расход ($q_{\text{тр}}$) профильтровавшейся воды через малую трещину в облицовке и пьезометрический напор (h_1) при заданных значениях ширины трещины (δ_0).

Ключевые слова: моделирование, фильтрация, трещина, бетонная облицовка, расход, метод электрогидродинамических аналогий, эксперимент.

A. Yu. Garbuz

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

MODELING OF FILTRATION THROUGH CRACKS OF CONCRETE LINING USING THE ELECTROHYDRODYNAMIC ANALOGY METHOD

The aim of the research was to simulate the filtration process through small cracks in canal concrete lining using the experimental electrohydrodynamic analogy method EHDD. To achieve this goal, the experimental research was carried out by the author at the EGDA-9/60 installation to assess the permeability of small cracks of different depths and crack widths. A copper wire of 0.14 mm in diameter was used as kolmat cracks, which was attached to the model of the filtration area with the help of BF-2 glue with addition of soot. Based on the results of the studies, a hydrodynamic grid was drawn and a calculating diagram was obtained which allows to determine the flow rate ($q_{\text{тр}}$) of filtered water through a small crack in the lining and the piezometric head (h_1) at given values of the crack width (δ_0).

Key words: modeling, filtration, crack, concrete lining, flow rate, electrohydrodynamic analogy method, experiment.

Введение. В настоящее время проблема рационального использования водных ресурсов приобретает все большее значение, а одной из основных проблем в водохозяйственном комплексе являются большие потери воды на фильтрацию. Если все потери воды на оросительной системе принять за 100 %, то они распределяются следующим образом: фильтрация – 70–75 %, испарение – 3–5 %, технические потери – 20–25 % [1–3].

Для оценки фильтрационных потерь в настоящее время используют различные методы: экспериментальные, теоретические и экспериментально-теоретические, которые с различной точностью позволяют определить потери воды на фильтрацию.

Целью настоящих исследований является моделирование процесса фильтрации через малые трещины бетонных противофильтрационных облицовок каналов с использованием экспериментального метода электрогидродинамических аналогий (ЭГДА).

Первоначально метод ЭГДА (основанный на решении уравнения Лапласа) применил Н. Н. Павловский [4] для расчетов плотин в лаборатории фильтрационных исследований во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, а уже потом данный метод усовершенствовался учеными для решения плоских и плановых задач фильтрации. Необходимо также отметить, что большой вклад в развитие метода ЭГДА внесли Н. И. Дружинин [5], В. Ф. Фильчаков [6], В. Р. Булдей [7], В. И. Панчишин и многие другие [8, 9], а в ряде институтов были созданы лаборатории фильтрационных исследований (ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, Гидропроект, ВНИИ ВОДГЕО, НИМИ и др.).

Материалы и методы. Метод ЭГДА основан на аналогии между движением электрического тока и движением грунтовых (подземных) вод и позволяет экспериментально (на моделях из электропроводной бумаги) решать различные фильтрационные задачи [10]. При моделировании методом ЭГДА используют основные дифференциальные уравнения установившегося движения грунтовых (подземных) вод [8, 9].

Движение грунтовых вод подчинено закону Дарси или основному закону ламинарной фильтрации. Скорость фильтрации V , м/с, в данной точке области фильтрации

(для которой известен пьезометрический уклон) определяется следующим образом [8]:

$$V = kJ = -\frac{dh}{dS},$$

где V – скорость фильтрации, м/с;

h – пьезометрический напор в точке, м;

S – длина дуги вдоль линии тока, м;

k – коэффициент фильтрации, который характеризует водопроницаемость грунтов и представляет собой количество жидкости, протекающей в единицу времени через единицу площади, при градиенте $J = 1$ или выражает скорость фильтрации при $J = 1$, м/сут (или м/с);

$J = -(dh/dS)$ – градиент напора, который определяет изменение напора на единицу длины вдоль линии тока [10].

Потенциальная функция φ и функция тока ψ для потока грунтовых (подземных) вод удовлетворяют уравнениям Лапласа, которые обычно относят к случаю напорной фильтрации без свободной поверхности:

$$\frac{\partial^2 \cdot \varphi}{\partial \cdot x^2} + \frac{\partial^2 \cdot \varphi}{\partial \cdot y^2} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 \cdot \psi}{\partial \cdot x^2} + \frac{\partial^2 \cdot \psi}{\partial \cdot y^2} = 0.$$

Линии равных напоров представляют живые сечения фильтрационного потока, являются эквипотенциальными линиями, и их уравнения выражают в виде [9]:

$$\varphi(x, y) = \text{const.}$$

Вследствие этого линии тока представляют собой следующее:

$$\psi(x, y) = \text{const.}$$

Семейство линий равного напора и линий тока в совокупности образуют гидродинамическую сетку движения фильтрационного потока [9].

Если фильтрационный поток является безнапорным со свободной поверхностью, то движение грунтового потока описывают уравнением вида:

$$\frac{\partial^2 \cdot h^2}{\partial \cdot \chi^2} = 0.$$

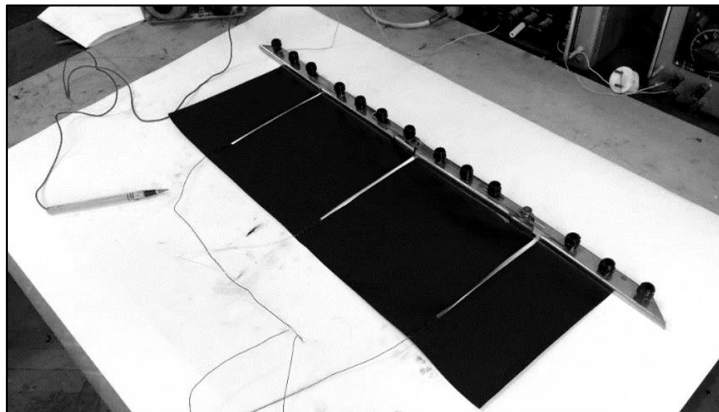
Далее изложим описание экспериментальных исследований по оценке водопроницаемости противопьезометрических бетонных покрытий при наличии в них малых трещин различной глубины и ширины раскрытия. Опыты проводились на установке ЭГДА-9/60 в лаборатории кафедры водоснабжения и использования водных ресурсов НИМИ им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской ГАУ».

При проведении лабораторных исследований в качестве проводящей среды применялась электропроводная бумага, которая позволяет существенно упростить технику моделирования задачи фильтрации. Экспериментальные исследования проводились в два этапа. Целью первого этапа данных экспериментов стало исследование водопроницаемости бетонного покрытия при наличии в нем закольматированной волосистой трещины. При изучении движения фильтрационного потока на электрических моделях с помощью метода ЭГДА были выполнены все необходимые условия подобия.

Так, электрические модели представляли изучаемые области фильтрации в масштабе 2:1 без всякого искажения. В связи с этим высота модели принималась равной удвоенной толщине облицовки $\delta_0 = 20$ см. Длина модели принималась равной удвоенной длине между трещинами $L_{тр} = 20$ см. В процессе моделирования движения фильтрационного потока через бетонное покрытие, содержащее заданные повреждения, среда

принималась однородной. Поэтому физическое подобие выполняется автоматически.

Моделирование исследуемой области фильтрации через бетонную облицовку с наличием в ней повреждений проводилось вырезанием электропроводной бумаги. В качестве закольматированных волосяных трещин применялась медная проволока диаметром 0,14 мм, которая с помощью клея БФ-2 с добавлением сажи крепилась к модели области фильтрации. Общий вид модели проиллюстрирован на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Общий вид модели на электропроводной бумаге
(автор фото А. Ю. Гарбуз)**

Реализация граничных условий осуществлялась следующим образом. К модели вдоль линии, соответствующей верхней поверхности защитного покрытия подключались металлические шины-зажимы, и подавалось на них значение 100 % потенциала, 10 % значения потенциала подавалось на три проволочные шины, которые играют роль закольматированной части трещины. Вдоль боковых линий модели электропроводная бумага обрезалась, т. е. бумага заменялась диэлектриком – воздухом, и тем самым устанавливалась изоляция.

Процесс выполнения автором лабораторных исследований представлен на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Выполнение лабораторных исследований
на приборе ЭГДА (автор фото А. Ю. Гарбуз)**

Результаты и обсуждение. Линии тока строили непосредственно на бумаге визуально, используя свойство ортогональности в точках их пересечения с эквипотенциалами. Построенная гидродинамическая сетка на модели области фильтрации (рисунок 3) состоит из криволинейных квадратов и имеет восемь лент фильтрационного расхода и несколько напорных поясов (в зависимости от задаваемых размеров трещин в бетонной облицовке).

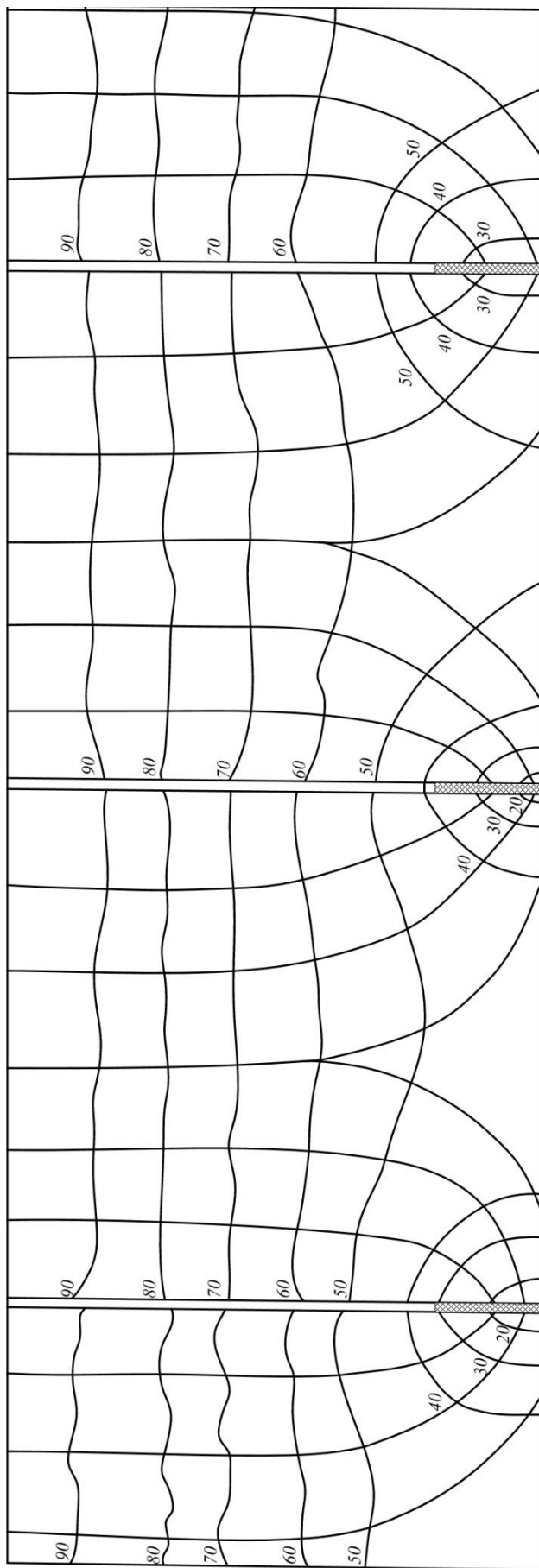


Рисунок 3 – Гидродинамическая сетка модели трещин в бетонной облицовке

Удельный расход через закольцованную трещину определяется по формуле:

$$q_{\Phi} = \delta_{\text{тр}} \cdot k \cdot \Delta h \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{\Delta S_i},$$

где $\delta_{\text{тр}}$ – ширина раскрытия трещины, м;

k – коэффициент фильтрации, м/с;

Δh – потери напора в пределах рассматриваемого пояса ($\Delta h = \frac{h_0 + \delta_0}{N}$), м;

N – количество поясов;

Δl_i – высота криволинейного квадрата гидродинамической сетки, м;

ΔS_i – средняя ширина криволинейного квадрата гидродинамической сетки, м;

h_0 – действующий напор на облицовку, м.

Задаваясь исходными данными, выполним расчеты для нескольких фрагментов.

Расчеты для I фрагмента.

Исходные данные: $\delta_{\text{тр}} = 2$ мм; $k = 1 \cdot 10^{-6}$ см/с; $h_0 = 1,0 \div 5,0$ м; $\delta_0 = 0,1$ м; $N = 8$ шт.

$$1) \Delta h = \frac{1+0,1}{8} = 0,1375,$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{\Delta S_i} = \frac{2,7}{3,3} + \frac{2}{3,1} + \frac{2}{2,5} + \frac{2,7}{3} + \frac{2,9}{2,8} + \frac{2,8}{3,2} = 5,074,$$

$$q_{\Phi_1} = \delta_{\text{тр}} \cdot k \cdot \Delta h \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{\Delta S_i} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1375 \cdot 5,074 = 0,012 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$2) \Delta h = \frac{2+0,1}{8} = 0,2625,$$

$$q_{\Phi_1} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2625 \cdot 5,074 = 0,023 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$3) \Delta h = \frac{+0,1}{8} = 0,3875,$$

$$q_{\Phi_1} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3875 \cdot 5,074 = 0,034 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$4) \Delta h = \frac{4+0,1}{8} = 0,5125,$$

$$q_{\Phi_1} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5125 \cdot 5,074 = 0,045 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$5) \Delta h = \frac{5+0,1}{8} = 0,6375,$$

$$q_{\Phi_1} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,6375 \cdot 5,074 = 0,056 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Расчеты для II фрагмента.

Исходные данные: $\delta_{\text{тр}} = 2$ мм; $k = 1 \cdot 10^{-6}$ см/с; $h_0 = 1,0 \div 5,0$ м; $\delta_0 = 0,1$ м; $N = 8$ шт.

$$1) \Delta h = \frac{1+0,1}{8} = 0,1375,$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{\Delta S_i} = \frac{2,7}{3,6} + \frac{2,6}{3,7} + \frac{2,3}{3,8} + \frac{3,0}{2,7} + \frac{3,2}{3,2} + \frac{2,9}{3,5} = 4,997,$$

$$q_{\Phi_2} = \delta_{\text{тр}} \cdot k \cdot \Delta h \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{\Delta S_i} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1375 \cdot 4,997 = 0,011 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$2) \Delta h = \frac{2+0,1}{8} = 0,2625,$$

$$q_{\Phi_2} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2625 \cdot 4,997 = 0,023 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$3) \Delta h = \frac{3+0,1}{8} = 0,3875,$$

$$q_{\Phi_2} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3875 \cdot 4,997 = 0,033 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$4) \Delta h = \frac{4+0,1}{8} = 0,5125,$$

$$q_{\Phi_2} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5125 \cdot 4,997 = 0,044 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$5) \Delta h = \frac{5+0,1}{8} = 0,6375,$$

$$q_{\Phi_2} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,6375 \cdot 4,997 = 0,055 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Расчеты для III фрагмента.

Исходные данные: $\delta_{\text{тр}} = 2 \text{ мм}$; $k = 1 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}$; $h_0 = 1,0 \div 5,0 \text{ м}$; $\delta_0 = 0,1 \text{ м}$; $N = 7 \text{ шт}$.

$$1) \Delta h = \frac{1+0,1}{7} = 0,1571,$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{\Delta S_i} = \frac{3,25}{3,2} + \frac{3,0}{3,8} + \frac{2,7}{3,2} + \frac{2,9}{3,3} + \frac{3,1}{3,1} + \frac{3,1}{3,4} = 5,439,$$

$$q_{\Phi_3} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1571 \cdot 5,439 = 0,015 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$2) \Delta h = \frac{2+0,1}{7} = 0,3,$$

$$q_{\Phi_3} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3 \cdot 5,439 = 0,028 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$3) \Delta h = \frac{3+0,1}{7} = 0,4428,$$

$$q_{\Phi_3} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,4428 \cdot 5,439 = 0,042 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$4) \Delta h = \frac{4+0,1}{7} = 0,5857,$$

$$q_{\Phi_3} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5857 \cdot 5,439 = 0,055 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$5) \Delta h = \frac{5+0,1}{7} = 0,7286,$$

$$q_{\Phi_3} = 0,002 \cdot 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7286 \cdot 5,439 = 0,068 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут}.$$

После расчетов фильтрационных потерь через трещины облицовок определим общий фильтрационный расход из всех трещин для различных напоров по зависимости:

$$q_{\text{общ}} = (q_{\Phi_1} + q_{\Phi_2} + q_{\Phi_3}) \cdot L_{\text{тр}}.$$

$$1) q_{\text{общ}_1} = (0,012 \cdot 10^{-4} + 0,011 \cdot 10^{-4} + 0,015 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,1 = 0,0038 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$2) q_{\text{общ}_2} = (0,023 \cdot 10^{-4} + 0,023 \cdot 10^{-4} + 0,028 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,1 = 0,0074 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$3) q_{\text{общ}_3} = (0,034 \cdot 10^{-4} + 0,033 \cdot 10^{-4} + 0,042 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,1 = 0,0109 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$4) q_{\text{общ}_4} = (0,045 \cdot 10^{-4} + 0,044 \cdot 10^{-4} + 0,055 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,1 = 0,0144 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$5) q_{\text{общ}_5} = (0,056 \cdot 10^{-4} + 0,055 \cdot 10^{-4} + 0,068 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,1 = 0,0179 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Для упрощения расчетов удельного фильтрационного расхода через малую (волосную) трещину с учетом пьезометрического напора (h_1) построена расчетная номограмма (рисунок 4), которая позволяет найти расход ($q_{\text{тр}}$) профильтровавшейся воды через трещину бетонной облицовки и пьезометрический напор (h_1).

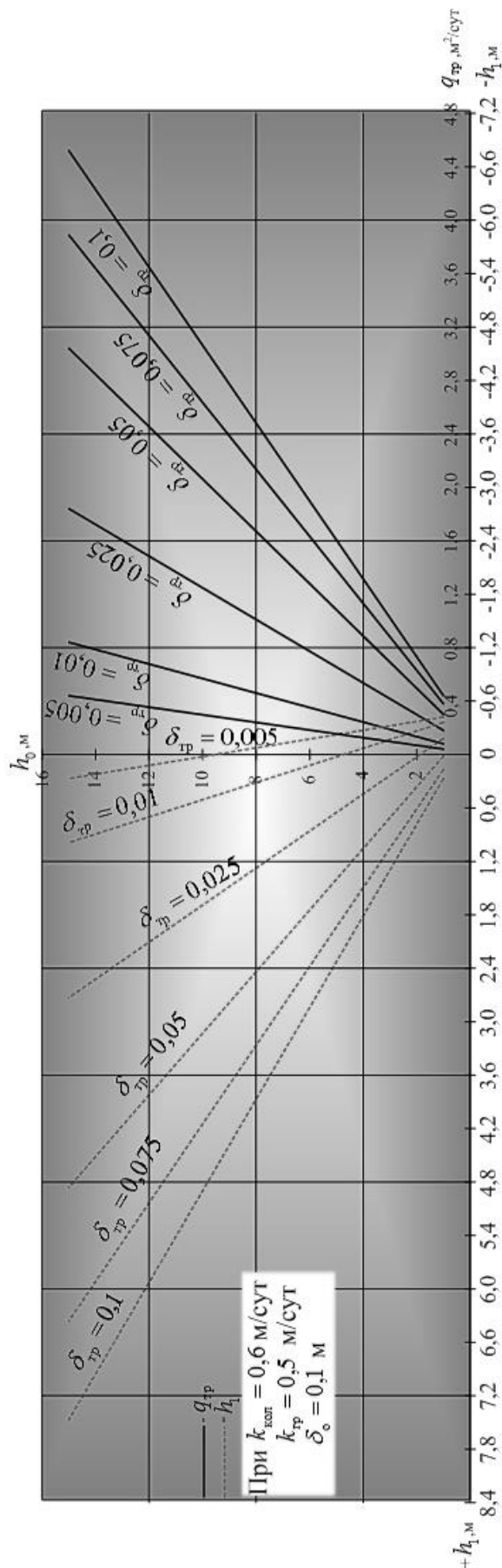


Рисунок 4 – Расчетная номограмма для определения водопроницаемости трещин бетонных облицовок каналов при $k_{\text{кол}} = 0,6 \text{ м/с}$, $k_{\text{тр}} = 0,5 \text{ м/с}$

Полученная и приведенная на рисунке 4 расчетная номограмма является приближенной, для точного определения фильтрационного расхода необходимо проведение экспериментальных исследований при заданных значениях.

Необходимо отметить, что аналогичные экспериментальные исследования, связанные с моделированием движения грунтовых вод методом ЭГДА, проводились и ранее для накопителей промышленных отходов [11], а с использованием экспериментально-теоретических методов и компьютерных моделей – для каналов и водоемов [12].

Выводы

1 Проведенные экспериментальные исследования по оценке водопроницаемости бетонных защитных покрытий при наличии в них трещин различной глубины и ширины раскрытия с помощью метода электрогидродинамических аналогий показали, что при ширине трещины $\delta_{тр} = 0,02$ м, напоре на сооружении $h_0 = 1,0 \div 5,0$ м и толщине облицовки $\delta_0 = 0,1$ м средний фильтрационный расход будет составлять $q = 0,0011 \cdot 10^{-4}$ м³/сут.

2 Для изучения основной характеристики фильтрации (фильтрационного расхода) через повреждения в бетонных облицовках, а именно малые волосяные трещины, достаточно провести по восемь численных экспериментов, учитывающих сочетание четырех факторов: коэффициента фильтрации защитного покрытия, толщину защитного покрытия, длину волосяных трещин, частоту повреждений и напор на сооружении.

Список использованных источников

1 Ищенко, А. В. Повышение эффективности и надежности противofильтрационных облицовок оросительных каналов / А. В. Ищенко. – М., 2006. – 211 с. – (Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион).

2 Косиченко, Ю. М. Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, А. В. Ищенко // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2014. – № 3. – 12 с. – Режим доступа: http://ivdon.ru/urloads/article/pdf/IVD_91_kosichenko.pdf_55f9154bc5.pdf.

3 Баев, О. А. Противofильтрационные покрытия с применением бентонитовых матов для накопителей жидких отходов / О. А. Баев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2013. – № 3(11). – С. 115–124. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=188&id=199>.

4 Павловский, Н. Н. Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения: собр. соч. в 2 т. Т. 2 / Н. Н. Павловский. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 771 с.

5 Дружин, Н. И. Изучение региональных потоков подземных вод методом ЭГДА / Н. И. Дружин. – М.: Недра, 1966. – 335 с.

6 Фильчаков, П. Ф. Теория фильтрации под гидротехническими сооружениями. В 2 т. Т. 2 / П. Ф. Фильчаков. – Киев: Изд-во АН УССР, 1960. – 692 с.

7 Булдей, В. Р. Моделирование гидромелиоративных систем / В. Р. Булдей. – Киев: Науч. мысль, 1973. – 336 с.

8 Аравин, В. И. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений / В. И. Аравин. – Л., 1955. – 272 с.

9 Полубаринова-Кочина, П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. – М.: Наука, 1977. – 644 с.

10 Ищенко, А. В. Гидравлика. Основы моделирования движения грунтовых вод методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА): учеб. пособие / А. В. Ищенко. – Новочеркасск, 2007. – 100 с.

11 Складенко, Е. О. Экспериментальные исследования противofильтрационных и дренажных защит накопителей промышленных отходов / Е. О. Складенко // Известия

высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2007. – № 5. – С. 71–72.

12 Косиченко, Ю. М. Математическое и физическое моделирование фильтрации через малые повреждения противифльтрационных устройств из полимерных геомембран / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2014. – Т. 274. – С. 60–74.

УДК 631.347.3

А. А. Чураев, Ю. Ф. Снопич, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДОЖДЕОБРАЗУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ 3-ОПОРНОЙ ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

В данной статье рассматривается теоретический расчет дождеобразующих устройств для 3-опорной широкозахватной дождевальной машины кругового действия с водопроводящим трубопроводом из стеклопластика (номинальные диаметры 150 и 100 мм). Расходы воды дождеобразующими устройствами вычислялись при расходе дождевальной машины 60 л/с, длине водопроводящего трубопровода 90 м и давлении на входе 0,2 МПа. В результате расчета получен требуемый диаметр сопла насадки дождеобразующего устройства, по которому будет подбираться стандартное сопло насадки и рекомендуемый расход.

Ключевые слова: широкозахватная дождевальная машина, дождеобразующее устройство, диаметр трубопровода, скорость потока воды, площадь живого сечения, сопло насадки, опорная тележка.

A. A. Churaev, Yu. F. Snipich, L. V. Yuchenko, M. V. Vaynberg

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

THEORETICAL CALCULATION OF RAIN-FORMING DEVICES FOR 3-POINT WIDE-SPAN SPRINKLING MACHINE

The theoretical calculation of the rain forming devices for a 3-point wide-span centre pivot sprinkling machine with an inlet pipeline of fiberglass (nominal diameters are 150 and 100 mm) is considered in this paper. The water discharge by spray devices was calculated at the sprinkler's discharge of 60 l per s, the length of the inlet pipe 90 m and the inlet pressure 0.2 MPa. As a result of calculation, the required diameter of the sprinkler jet nozzle of the spray device is obtained, along which the standard nozzle of sprinkler jet and the recommended flow rate will be selected.

Key words: wide-span sprinkler, rain-forming device, pipeline diameter, water flow rate, discharge section area, sprinkler jet nozzle, support trolley.

При выборе дождеобразующих устройств и их расстановке на широкозахватной дождевальной машине (ШДМ) приходится учитывать большое число факторов, влияющих на равномерность орошения. К их числу относятся конструктивные факторы: тип аппаратов, расстояние между ними, давление на входе в машину и т. д. [1, 2].

При выборе дождеобразующего устройства возможны различные варианты их установки на трубопроводе. Важным параметром здесь является степень перекрытия дождя, создаваемая дождеобразующим устройством. Чем больше получаемый дождь дифференцирован по интенсивности и структуре капель, тем выше должна быть степень перекрытия [3, 4].

Определение заданного расхода воды опытным образцом дождеобразующего устройства и выбор его размеров включает две операции:

- определение расхода воды каждого установленного на опытном образце дождеобразующего устройства;

- определение величины напора, обеспечивающего подачу расчетного расхода воды.

В основу расчета расхода воды дождеобразующими устройствами положено требование получения одинакового слоя осадков по всей площади захвата машины во время вращения ее вокруг неподвижной опоры [5]. Для этого расходы воды дождеобразующими устройствами должны удовлетворять условию:

$$\frac{q_1 T}{f_1} = \frac{q_2 T}{f_2} = \dots = \frac{q_n T}{f_n} = \frac{QT}{F},$$

где q_1, q_2, \dots, q_n – расход воды дождеобразующим устройством, л/с;

T – период вращения машины, мин;

f_1, f_2, \dots, f_n – площадь полива отдельного дождеобразующего устройства, м²;

Q – общий расход дождевальнoй машины, л/с;

F – площадь полива машины с одной позиции, м².

После сокращения на период вращения машины T получим:

$$\frac{q_1}{f_1} = \frac{Q}{F} = \text{const, откуда } q_1 = Q \frac{f_1}{F}.$$

Таким образом, расход воды отдельным дождеобразующим устройством равен общему расходу машины, умноженному на отношение площади обслуживания этого устройства ко всей площади полива с одной позиции.

Величина площади полива F , м², зависит от длины водопроводящего трубопровода и определяется как площадь круга с радиусом R , м, равным длине захвата машин дождем:

$$F = \pi R^2.$$

Площадь обслуживания отдельного дождеобразующего устройства можно определить по формуле:

$$f_i = 2\pi r_i l_i,$$

где r_i – расстояние от центра вращения машины до местоположения данного устройства, м;

l_i – длина захвата дождем (ширина кольца) с учетом перекрытия смежными дождеобразующими устройствами, м.

При определении величины напора, обеспечивающего подачу расчетного расхода воды, необходимо было выполнить гидравлический расчет водопроводящего трубопровода ШДМ, используя математические зависимости из специальной научной литературы [6–9]. Были использованы следующие основные формулы для расчетов.

Площадь живого сечения трубопровода ω , м²:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4},$$

где d – внутренний диаметр трубопровода, м, равный $d = D_n - 2b$;

D_n – наружный диаметр трубопровода, м;

b – толщина стенки трубопровода, м.

Скорость потока воды в водопроводящем трубопроводе V , м/с:

$$V = \frac{Q}{\omega},$$

где Q – расход воды, л/с.

Потери напора по длине трубопровода h_l , м, определялись по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{lV^2}{d2g},$$

где λ – коэффициент сопротивления по длине;

l – длина участка трубопровода, м;

$g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент сопротивления по длине λ для принятого типа труб определялся по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_3}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25},$$

где K_3 – эквивалентная равнозернистая абсолютная шероховатость труб, мм (для труб из композитных материалов $K_3 = 0,4 \dots 0,7$ мм);

Re – число Рейнольдса, равное:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu},$$

где $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$ – кинетический коэффициент вязкости воды при температуре 20 °С, м²/с;

d – внутренний диаметр трубопровода, мм.

Потери напора на местных гидравлических сопротивлениях h_m , м, определялись по формуле Вейсбаха [8]:

$$h_m = \xi_i \frac{V^2}{2g},$$

где ξ_i – коэффициент местного сопротивления.

В теоретическом расчете учитывались также местные сопротивления при внезапном сужении водопроводящего трубопровода и при переходе от его диаметра к диаметру колена концевой аппаратуры.

Коэффициент внезапного сужения трубопровода $\xi_{\text{вн.с}}$ рассчитывался по формуле:

$$\xi_{\text{вн.с}} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2,$$

где ε – коэффициент сжатия потока, равный:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - n},$$

где $n = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ – степень сжатия потока;

ω_1 и ω_2 – площади поперечного сечения трубы до сужения и после сужения, м².

Общие потери напора по длине трубопровода $\sum h$, м, составили:

$$\sum h = \sum h_l + \sum h_m,$$

где $\sum h_l$ – сумма всех линейных сопротивлений, м;

$\sum h_m$ – сумма всех местных сопротивлений, м.

Конструктивная характеристика 3-опорной ШДМ следующая:

- длина ШДМ – 90 м;

- радиус полива концевым дождевальным аппаратом – 3,5 м;

- диаметр водопроводящего трубопровода – 0,15; 0,10 м;
- количество опор (тележек) – 3 шт.;
- количество дождевальных аппаратов – 35 + 1 шт. (концевой аппарат);
- расстояние между дождевальными аппаратами – 2,5 м.

Для равномерного распределения расхода воды по всей длине трубопровода ШДМ необходимо также правильно подобрать диаметр сопел насадок дождеобразующего устройства и определить величину напора, обеспечивающего подачу расчетного расхода воды. Требуемый диаметр сопла d_c , мм, дождеобразующего устройства определяется по величине его секундного расхода при фактическом рабочем напоре воды перед ним по формуле:

$$d_c = 100 \sqrt{\frac{4q}{31,4\mu\sqrt{2gH}}},$$

где q – расход дождеобразующего устройства, л/с;

μ – коэффициент расхода сопла (при расчетах можно принять для дождевальных насадок $\mu = 0,85 \dots 0,9$; для дождевальных аппаратов $\mu = 0,8$);

g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$);

H – напор перед соплом, м.

Вычисления (расходов воды дождеобразующими устройствами, скоростей движения воды в поливном трубопроводе, потерь напора, коэффициентов сопротивления трению, требуемого диаметра сопла насадки) производились при следующих данных: общий расход машины Q – 60 л/с, расстояние между дождеобразующими устройствами – 2,5 м, длина захвата дождем отдельного дождеобразующего устройства (ширина кольца) с учетом перекрытия смежными дождевальными устройствами – 2,6 м. Длина водопроводящего пояса условно разбита на 13 участков. На каждом участке по три дождеобразующих устройства, кроме участка 1 (одно устройство) и участка 13 (два устройства с учетом концевой аппарата).

В таблице 1 показано изменение скорости воды по длине трубопровода и условно разбитым участкам 3-опорной ШДМ при расходе 60 л/с и давлении на входе 0,2 МПа.

Таблица 1 – Изменение скорости воды по длине трубопровода 3-опорной ШДМ

В м/с

Расход, л/с	Расстояние по длине трубопровода, м												
	2,5	7,5	15,0	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0	67,5	75,0	82,5	90,0
	Номер участка												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
60	3,10	2,90	2,75	2,55	2,40	2,30	$\frac{2,30^*}{3,00}$	2,80	2,60	2,40	2,15	1,88	1,58
* – изменение скорости движения воды на участке 7 (в числителе – скорость подхода воды, в знаменателе – скорость выхода воды).													

На рисунке 1 показана гистограмма скорости воды на расчетных участках, из данных рисунка видно, что резкое изменение скорости движения воды в трубопроводе на участке 7 произошло из-за смены диаметра трубопровода с 0,15 на 0,10 м.

Результаты вычислений расхода воды каждым дождеобразующим устройством представлены в таблице 2.

Результаты определения скорости воды в поливном трубопроводе при изменении расхода воды по длине с учетом числа Рейнольдса сведены в таблицу 3.

Результаты определения потерь напора по длине трубопровода и местных потерь напора с учетом коэффициента сопротивления представлены в таблице 4.

Результаты расчета по определению требуемого диаметра сопла дождеобразующего устройства сведены в таблицу 5.

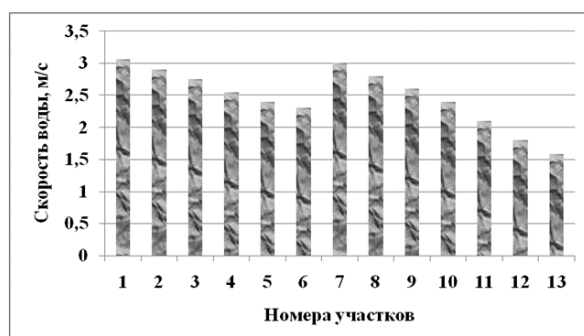


Рисунок 1 – Гистограмма скорости воды на расчетных участках по длине трубопровода 3-опорной ШДМ при расходе 60 л/с

Таблица 2 – Определение расхода воды дождеобразующими устройствами (при общем расходе машины $Q = 60$ л/с)

Номер дождеобразующего устройства	Площадь полива отдельным дождеобразующим устройством f , м ²	Расстояние от центра вращения машины до местоположения данного устройства r_i , м	Расход воды отдельным дождеобразующим устройством q_i , л/с
1	2	3	4
1	40,82	2,5	0,089
2	81,64	5,0	0,178
3	122,46	7,5	0,267
4	163,28	10,0	0,356
5	204,10	12,5	0,445
6	244,92	15,0	0,534
7	285,74	17,5	0,623
8	326,56	20,0	0,712
9	367,38	22,5	0,801
10	408,20	25,0	0,891
11	449,02	27,5	0,979
12	489,84	30,0	1,069
13	530,66	32,5	1,158
14	571,48	35,0	1,247
15	612,30	37,5	1,336
16	653,12	40,0	1,425
17	693,94	42,5	1,514
18	734,76	45,0	1,603
19	775,58	47,5	1,692
20	816,40	50,0	1,781
21	857,22	52,5	1,870
22	898,04	55,0	1,959
23	938,86	57,5	2,048
24	979,68	60,0	2,137
25	1020,50	62,5	2,226
26	1061,32	65,0	2,315
27	1102,14	67,5	2,404
28	1142,96	70,0	2,493
29	1183,78	72,5	2,582

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
30	1224,60	75,0	2,671
31	1265,42	77,5	2,760
32	1306,24	80,0	2,849
33	1347,06	82,5	2,939
34	1387,88	85,0	3,028
35	1428,70	87,5	3,117
36	1469,52	90,0	3,206
Сумма (Σ)	27186,12		59,307

Примечание – Расчетная площадь полива машиной с одной позиции
 $F = 27450,66 \text{ м}^2$.

Таблица 3 – Определение скорости воды в поливном трубопроводе с учетом числа Рейнольдса

№ участка	№ насадки	Расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$	Скорость воды, $\text{м}/\text{с}$	Число Рейнольдса Re
1	1	0,060	3,10	429702,97
2	2–4	0,059	2,90	401980,2
3	5–7	0,058	2,75	381188,1
4	8–10	0,056	2,55	353465,3
5	11–13	0,053	2,40	332673,3
6	14–16	0,049	2,30	318811,9
7	17–19	0,045	3,00	204950,5
8	20–22	0,039	2,80	249505,0
9	23–25	0,033	2,60	231683,2
10	26–28	0,026	2,40	213861,4
11	29–31	0,019	2,15	191584,2
12	32–34	0,010	1,88	167524,8
13	35, 36	0,001	1,58	140792,1

Таблица 4 – Результаты определения коэффициента сопротивления трению и потерь напора по трубопроводу

№ участка	Расстояние между насадками, м	Коэффициент сопротивления	Потери напора по длине трубопровода, м	Потери напора при переходе к диаметру концевой аппаратуры, м	Потери напора при сужении трубопровода, м
1	2	3	4	5	6
1	2,5	0,027	0,000713		
2	2,5	0,013	0,000288		
3	2,5	0,014	0,000263		
4	2,5	0,013	0,00023		
5	То же	0,027	0,000429		
6	"	0,013	0,000192		
7	"	0,015	0,000217		0,580
8	"	0,030	0,001161		
9	"	0,027	0,000912		
10	"	0,014	0,000413		
11	"	0,015	0,000359		
12	"	0,015	0,000296		

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
13	"	0,016	0,000234	0,012	
Сумма			0,005881	0,012	0,580
Итого				0,598	

Таблица 5 – Результаты расчета по определению требуемого диаметра сопла дождеобразующего устройства

№ участка	Рабочий напор участка водовода, м	Рабочий напор насадки, м	№ насадки	Диаметр сопла d_c , м
1	19,999	6,666	1–3	0,003
2	19,999	6,666	4–6	0,007
3	19,999	6,666	7–9	0,028
4	19,998	6,666	10–12	0,033
5	19,998	6,665	13–15	0,038
6	19,998	6,665	16–18	0,013
7	19,417	6,472	19–21	0,046
8	19,416	6,472	22–24	0,049
9	19,415	6,472	25–27	0,017
10	19,415	6,471	28–30	0,018
11	19,414	6,471	31–33	0,019
12	19,414	6,471	34, 35	0,019
13	19,414	6,471	36	0,019

После определения требуемого диаметра сопла насадки подбираем стандартное сопло (выпускаемое производственным предприятием) и по нему рекомендуемый расход, который не должен отличаться от требуемого расхода более чем на $\pm 10\%$.

Список использованных источников

- 1 Лебедев, Б. М. Основы теории струй дождевальных машин. Теоретические и экспериментальные исследования в области сельскохозяйственного машиностроения / Б. М. Лебедев, Б. М. Марквардте // Труды ВАСХНИЛ. – М., 1967. – Вып. 56. – С. 23–25.
- 2 Шепелев, А. Е. Применение основных законов дождевания при обосновании конструкции ДМ «ДКФ-1ПК-1» / А. Е. Шепелев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 4. – С. 57–59.
- 3 Шахмурян, В. П. Исследование работы экспериментальных дождевателей, регулирующих дальность и интенсивность дождя / В. П. Шахмурян // Труды ГрузНИИГиМ. – Тбилиси, 1963. – Вып. 2. – С. 17–21.
- 4 Ландес, Г. Л. Эксплуатация широкозахватных дождевальных машин и результаты исследований их работы в производственных условиях / Г. Л. Ландес, В. Г. Луций, С. М. Давшан // Широкозахватные машины «Фрегат», «Волжанка»: сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – Коломна, 1974. – Т. 5. – С. 198–297.
- 5 Полонский, А. М. Методика подбора дождевальных аппаратов машины «Фрегат» / А. М. Полонский, С. Н. Никулин. – Коломна: ВНИИМиТП, 1972. – 15 с.
- 6 Исаев, А. П. Гидравлика дождевальных машин / А. П. Исаев. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
- 7 Поспелов, А. М. Дождевание / А. М. Поспелов. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 168 с.
- 8 Гидравлика, гидромашин и гидроприводы: учеб. для машиностроит. вузов / Т. М. Башта [и др.]. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
- 9 Исаев, А. П. Оценка технологических возможностей дождевальной техники на основе определения допустимых норм полива / А. П. Исаев // Улучшение эксплуатации оросительных систем и планировка орошаемых земель. – М.: Колос, 1982. – С. 67–78.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.587

А. Н. Бабичев, В. И. Ляшевский, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПОЧВЕННО- КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Целью работы являлось проведение собственных исследований и обобщение результатов научных исследований ведущих ученых юга России по изучению отношения сельскохозяйственных культур к влаге. Установлено, что в производственных условиях урожайность сельскохозяйственных культур значительно ниже проектной. В результате исследований выявлены связи между прибавкой урожайности и нормами орошения сельскохозяйственной культуры. Данные связи позволили установить коэффициенты, учитывающие отношение сельскохозяйственных культур к влаге, и рассчитать дифференцированные оросительные нормы для лет различной обеспеченности осадками. Данные оросительные нормы позволят снизить потребление воды на 25–59 % при незначительном снижении урожайности (9–22 %).

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, дифференцированные оросительные нормы, урожайность, коэффициент культуры, обеспеченность осадками, Республика Крым.

A. N. Babichev, V. I. Lyashevsky, V. A. Monastyrskiy, V. I. Olgarenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

DIFFERENTIATED IRRIGATION NORMS OF AGRICULTURAL CROPS FOR SOIL-CLIMATE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF CRIMEA

The aim of work was to conduct our own study and generalize the scientific research results of leading scientists of the south of Russia on the study of ratio of crops to moisture. It is found that the yield of agricultural crops is much lower under production conditions than the design yield. As a result of research, the links between yield increase and agricultural crops irrigation norms were revealed. These relationships allowed us to establish coefficients that take into account the ratio of crops to moisture, and to calculate the differentiated irrigation rates for years of different rainfall availability. These irrigation norms will allow to reduce water consumption by 25–59 % with insignificant decrease in yield (9–22 %).

Key words: agricultural crops, differentiated irrigation norms, yield, crop coefficient, rainfall occurrence, the Republic of Crimea.

Введение. Крымский полуостров в целом характеризуется недостаточным увлажнением. Наибольшее количество осадков на полуострове выпадает на относительно небольшом предгорном участке на северном склоне Крымских гор, а большая его часть относится к зоне рискованного земледелия. Поэтому для получения стабильно высоких и гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур необходимо орошение.

В 2014 г. в условиях перекрытого Украиной Северо-Крымского канала в Крыму (который обеспечивал более 80 % потребности Крыма в воде) осталось лишь 17 тыс. га орошаемых земель, поэтому аграрии были вынуждены переходить на засухоустойчивые культуры и капельное орошение. В 2015 г. площадь была уменьшена до 10,1 тыс. га, а объем воды, подаваемой на орошение, значительно сократился.

Как отметил руководитель Республики Крым Сергей Аксенов, «из-за водной блокады было потеряно порядка 120000 га орошаемых земель – в денежном эквиваленте ущерб оценивается в 5 миллиардов рублей» [1].

Рациональное использование водных ресурсов Республики Крым является одной из первоочередных задач развития данного региона в целом. Поэтому разработка дифференцированных режимов орошения сельскохозяйственных культур в условиях Республики Крым является актуальной и востребованной в настоящее время.

Материалы и методы. Общеизвестно, что существуют хозяйственно-экономические и экологические ограничения, из-за которых проектные (достигнутые) урожайности в производственных условиях существенно ниже. В этих условиях требуется экономическое обоснование показателей снижения оросительных норм, установленных по дефициту водопотребления.

Решить эту задачу можно на основе существующих связей между прибавкой урожайности и нормами орошения сельскохозяйственной культуры. Такие связи устанавливаются на основе проведения полевых (экспериментальных) исследований.

Уравнения связи оросительных норм и урожайности сельскохозяйственных культур, полученные при обработке (использовании) результатов многолетних полевых исследований В. В. Бородычева, Г. А. Сенчукова, Г. Т. Балакая, Н. А. Ивановой, В. А. Кулыгина, А. Я. Олейника, Л. Д. Осипенко, А. Н. Бабичева, В. А. Монастырского и В. И. Ольгаренко, представляют собой следующие выражения [2–8]:

$$\frac{Y_i}{Y_0} = K_{б.к.} \cdot \ln \frac{N_{ор,i}}{N_{ор,0}} + 1,$$

$$\frac{N_{ор,i}}{N_{ор,0}} = \exp^{\frac{Y_i/Y_0 - 1}{K_{б.к.}}},$$

где Y_i – урожайность сельскохозяйственной культуры, которая соответствует ограниченным условиям водообеспечения, т/га;

Y_0 – урожайность сельскохозяйственной культуры, которая может быть получена при оросительной норме $N_{ор,0}$, рассчитанной по дефициту водопотребления, т/га;

$K_{б.к.}$ – коэффициент, зависящий от биологических особенностей сельскохозяйственных культур;

$N_{ор,i}$ – дифференцированная оросительная норма, м³/га;

$N_{ор,0}$ – оросительная норма, рассчитанная по дефициту водопотребления, м³/га.

Уравнения связи позволяют прогнозировать урожайность сельскохозяйственной культуры при заданном отношении $N_{ор,i}/N_{ор,0}$, а также значение $N_{ор,i}$ при заданном отношении Y_i/Y_0 .

Рекомендуется принять средние значения $K_{б.к.}$: для зерновых культур – 0,50; для овощей – 0,75; для кормовых – 0,45; для технических – 0,65.

Используя вышеприведенные связи, на основе технико-экономического расчета можно обосновать рациональные (экономически целесообразные) оросительные нормы [8].

Количественные значения $K_{б.к.}$ и результаты решения уравнений относительно Y_i / Y_0 и $N_{ор,i} / N_{ор,0}$ приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Снижение урожайности сельскохозяйственных культур (в процентах) при ограничении (снижении) норм орошения

Сельскохозяйственная культура	Коэффициент культуры (растения)	$N_{ор,i} / N_{ор,0}$			
		0,9	0,8	0,7	0,6
Соя на зерно	0,71	7	16	25	36
Люцерна на сено	0,59	6	13	21	30
Кукуруза на силос	0,41	4	9	15	21
Кукуруза на зерно	0,52	5	12	19	27
Озимая пшеница	0,48	5	11	17	25
Овощи (томаты)	0,75	8	17	27	38
Корнеплоды (свекла столовая)	0,44	5	10	16	22
Картофель весенней посадки	0,61	6	14	22	31
Картофель летней посадки	0,55	6	12	20	28

Таблица 2 – Снижение оросительной нормы (в процентах) при ограничении ресурсов (возможности получения максимальной (оптимальной) урожайности сельскохозяйственных культур)

Сельскохозяйственная культура	Коэффициент культуры (растения)	Y_i / Y_0			
		0,9	0,8	0,7	0,6
Соя на зерно	0,71	13	19	30	34
Люцерна на сено	0,59	16	22	35	40
Кукуруза на силос	0,41	22	31	46	52
Кукуруза на зерно	0,52	17	25	38	44
Озимая пшеница	0,48	19	27	41	45
Овощи (томаты)	0,75	12	18	28	33
Корнеплоды (свекла столовая)	0,44	20	29	43	49
Картофель весенней посадки	0,61	15	22	34	39
Картофель летней посадки	0,55	17	24	37	42

Для определения норм водопотребности при орошении сельскохозяйственных угодий устанавливаются оросительные нормы брутто, т. е. учитываются потери воды на поле (просачивание воды за пределы расчетного слоя, испарение и унос ветром в период дождей), кроме того, часть воды теряется в структурах внутрихозяйственной сети (потери из открытой временной сети и из трубопроводов).

Значения оросительных норм сельскохозяйственных культур при локальных способах полива (капельном, внутрипочвенном, подпочвенном) будут существенно отличаться от одноименных показателей при сплошном увлажнении (поверхностном поливе, дождевании, затоплении). При определении оросительных норм для условий локального (капельного, приствольного и пр.) полива следует учитывать долю увлажняемой поверхности.

Используя данные соотношения, можно определить оросительные нормы сельскохозяйственных культур для лет различной обеспеченности осадками (таблица 3).

Таблица 3 – Оросительные нормы (нетто) сельскохозяйственных культур при дифференцированных режимах орошения для лет различной обеспеченности осадками в Республике Крым

В м³/га

Зона естественной увлажненности по K_y	Орошаемая культура	Обеспеченность по дефициту водного баланса, %					
		5	25	50	75	85	95
0,4–0,5	Пшеница озимая	500	800	900	1000	1100	1200
	Ячмень яровой	200	350	450	600	650	750
	Кукуруза на зерно	600	90	1050	1250	1400	1550
	Соя	750	1200	1400	1650	1900	2050
	Картофель ранний	400	600	750	950	1050	7750
	Томаты	1150	1650	2200	2550	2700	2950
	Капуста поздняя	1300	1800	2300	2750	2900	3000
	Кормовая свекла	750	1000	1250	1450	1550	1700
	Кукуруза на силос	450	650	800	900	1000	1150
	Многолетние травы в год посева	550	650	750	1000	1250	1350
	Многолетние травы 2-го года	1300	1600	1900	2350	2500	2700
	Кукуруза пожнивная	400	550	700	800	850	950
< 0,4	Пшеница озимая	600	850	950	1050	1150	1250
	Ячмень яровой	250	400	500	650	700	800
	Кукуруза на зерно	700	1000	1100	1350	1450	1650
	Соя	850	1250	1550	1700	1900	2200
	Картофель ранний	450	650	800	1000	1100	1200
	Томаты	1200	1750	2350	2700	2800	3000
	Капуста поздняя	1350	1900	2400	2800	3000	3150
	Кормовая свекла	800	1000	1300	1550	1650	1750
	Кукуруза на силос	450	750	800	950	1100	1200
	Многолетние травы в год посева	600	700	850	1050	1300	1400
	Многолетние травы 2-го года	1400	1700	2000	2400	2550	2850
	Кукуруза пожнивная	400	600	700	800	900	950
	Рис	17100	17100	17100	17500	17800	18200
	Рисовый севооборот	11800	11800	11800	12300	12600	12900

Выводы. Таким образом, в результате собственных исследований и обобщения научных исследований ведущих ученых юга России установлены коэффициенты культур, благодаря которым рассчитаны дифференцированные оросительные нормы для лет различной обеспеченности осадками, позволяющие снизить потребление воды на 25–59 % в сравнении с биологически оптимальным при незначительном снижении урожайности (9–22 %).

Полученные оросительные нормы можно применять в условиях Республики Крым при использовании дифференцированных режимов орошения сельскохозяйственных культур для лет различной обеспеченности осадками.

Список использованных источников

1 Проблемы с водой в Крыму – скважины, водоводы или опреснение? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://perekop.ru/water-problems-in-russian-crimea/>, 2017.

2 Щедрин, В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 225 с.

3 Бабичев, А. Н. Особенности роста и развития сорго при различных режимах орошения / А. Н. Бабичев, С. Г. Балакай // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2012. – Вып. 47. – С. 17–21.

4 Балакай, Г. Т. Соя на орошаемых землях / Г. Т. Балакай. – М., 1999. – 198 с.

5 Кулыгин, В. А. Влияние разных режимов орошения на эффективность использования оросительной воды при возделывании овощных культур и картофеля / В. А. Кулыгин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2011. – № 65(01). – 10 с. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/07.pdf>. – Шифр Информрегистра 0421100012\0026.

6 Монастырский, В. А. Влияние сидеральных культур на урожайность картофеля летней посадки на орошаемых черноземах Ростовской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Монастырский Валерий Алексеевич. – Новочеркасск, 2013. – 23 с.

7 Бабичев, А. Н. Влияние дифференциации поливной нормы на рост и развитие картофеля летнего срока посадки в условиях поймы Нижнего Дона / А. Н. Бабичев, В. И. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2015. – № 3(19). – С. 64–78. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec357-field6.pdf.

8 Сенчуков, Г. А. Ландшафтно-экологические и организационно-хозяйственные аспекты обоснования водных мелиораций земель / Г. А. Сенчуков. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 276 с.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 626/627

А. А. Куприянов, А. М. Кореновский

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ТАЙГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

Целью работы являлось проведение натурных обследований технического состояния гидротехнических сооружений Тайганского водохранилища. В результате обследований установлено, что глины апта в теле плотины обладают набухающими свойствами, вследствие чего при циклическом наполнении и сработке водохранилища разрушается облицовка верхового откоса плотины. Предложены мероприятия по обеспечению надежной и безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений, обоснована необходимость проведения мониторинга степени набухания грунтов тела плотины.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, безопасность, надежность, обследование, гидроузел, отводящий канал, плотина.

A. A. Kupriyanov, A. M. Korenovskiy

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

SAFETY OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURES OF TAIGAN WATER RESERVOIR IN THE REPUBLIC OF CRIMEA

The purpose of the work was to conduct field surveys of the technical condition of hydraulic structures of the Taigan water reservoir. As a result of investigation it was found that the Apt clay in the dam body possesses dilative properties, as a result of which the lining of the upstream slope is destroyed at reservoir cyclic storage and storage decrease. The measures to ensure reliable and safe operation of hydraulic structures were proposed; the need to monitor the degree of dilative soil of the dam body was justified.

Key words: hydraulic engineering structures, safety, reliability, inspection, hydraulic works, diversion canal, dam.

В наступившем столетии около миллиарда человек будут жить на территориях, прилегающих к нижним бьефам гидротехнических сооружений, что вызывает повышенный интерес к проблемам их безопасности. Немалые опасения связываются также с ростом численности плотин, пробывших в эксплуатации 50 лет и более, характеризующихся низким уровнем надежности [1, 2].

Как показала практика, гидродинамические аварии, которые возникают при прорыве сооружений, создающих напорный фронт, входят в число наиболее опасных по угрозе населению и окружающей природной среде техногенных катастроф.

С целью обеспечения безопасности гидротехнических сооружений, находящихся на территории Республики Крым, и восстановления стабильного водоснабжения сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» было проведено обследование одного из первых водохранилищ Крыма – Тайганского водохранилища, построенного в 1938 г. силами специально организованного треста «Тайганстрой» под руководством М. Б. Каменева и главного инженера И. С. Мордвина. В те годы это было самое крупное водохранилище

Крыма, его объем составлял 13,8 млн м³. Как отмечает в своей работе А. Н. Олиферов, плотина водохранилища строилась вручную, из всех механизмов на строительстве находилось только два трактора [3].

Изначально водохранилище наполнялось водами р. Биюк-Карасу по подводящему каналу длиной 8,5 км, но в 1972 г. было построено Белогорское водохранилище объемом 23,3 млн м³, плотина которого высотой 25 м перегородила русло р. Биюк-Карасу. Тайганское водохранилище стало наливным, т. е. стало наполняться из Белогорского водохранилища через перепускное сооружение. В настоящее время Тайганское водохранилище – мощнейший источник воды для целей орошения в центральной части Крымского полуострова. Совместно с Белогорским водохранилищем общая площадь мелиорированных земель, на которую подается вода, составляет 9648 га. Основные показатели Тайганского водохранилища приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели Тайганского водохранилища

Наименование показателя	Единица измерения	Количество, шт.
1 Отметка НПУ	м	209,00
2 Объем при НПУ	млн м ³	13,8
3 Полезный объем при НПУ	млн м ³	13,6
4 Площадь зеркала при НПУ	км ²	2,0
5 Максимальная глубина при НПУ	м	16,5
6 Отметка УМО	м	194,0
7 Длина	м	2000
8 Ширина	м	2280

В состав гидроузла Тайганского водохранилища входит грунтовая плотина, донный трубчатый водовыпуск и отводящий канал. Плотина Тайганского водохранилища имеет сложное очертание в плане, основные параметры поперечного сечения плотины приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры поперечного сечения плотины

Наименование показателя	Характеристика	Примечание
1	2	3
1 Тип плотины	Грунтовая, глухая	Проезжая
2 Класс	III	–
3 Основные параметры:		
- длина по гребню, м	761,0	
- ширина по гребню, м	6,0	
- максимальная высота, м	19,1	–
- максимальный напор, м	16,5 (при НПУ)	
- отметка гребня, м	211,60	
- ширина основания, м	117,0	
4 Заложение откосов		В процессе реконструкции в 2010 г. от ПК 5 + 20 до ПК 6 + 72 было выполнено крепление откоса монолитным железобетоном и каменной наброской, вследствие чего на участке длиной 152 м заложение откоса от основания до отметки 209,0 м составило 4,0, от отметки 209,0 м до отметки гребня 211,6 м – 2,0
- верхового:		
от основания до отметки 195,0 м	3,5	
от отметки 195,0 м до отметки 209,0 м	3,0	
от отметки 209,0 м до отметки 211,6 м	2,0	
- низового:		
от основания до отметки 203,6 м	2,5	
от отметки 203,6 м до отметки гребня 211,6 м	2,0	

Продолжение таблицы 2

1	2	3
5 Материал тела и основания плотины	Глинистые грунты	–
- тело плотины	Насыпное	–
- крепление верхового откоса	Железобетонные плиты	Местами каменная наброска и монолитный железобетон
- дренажное устройство	Дренажная призма	Выхода фильтрационного потока на поверхность откоса не обнаружено
- крепление низового откоса	Посев трав по слою растительного грунта толщиной 0,2 м	–
6 Тип и количество установленной КИА	6 водомерных реек, 14 скважин, 2 пьезометрических створа и 2 репера на правом и левом бортах плотины	–

Донный трубчатый водовыпуск выполнен из двух чугунных труб диаметром 0,8 м, заключенных в бетонную обойму и проложенных от входного оголовка до проекции гребня плотины в грунте ее основания. Далее, до водобойного колодца – в бетонной галерее диаметром 3,6 м. Камера регулирования водовыпуска расположена в конце галереи под гребнем плотины и оборудована четырьмя задвижками типа «Лудло» с ручным приводом. В нижнем бьефе выполнен водобойный колодец длиной 10 м, шириной 5 м, глубиной 3,5 м.

Отводящий канал протяженностью 464 м, шириной по дну 2,2 м и заложением откосов 1:1 облицован монолитными железобетонными плитами. На канале имеются два целевых водослива с перепадами. Рыбозащитное сооружение (сезонного действия) представляет собой короб из сваренных стальных пластин, установленный на водозаборе.

В геологическом строении рассматриваемого района принимают участие породы нижнего отдела меловой системы, который представлен аптскими и альбскими ярусами. Эти ярусы состоят из песчаников, глин и известняковых конгломератов. Основанием плотины служит слой аллювиальных суглинков мощностью 2 м, подстилаемых пластом гравийных отложений толщиной 1,8 м, а коренными породами основания служат аптские глины. Глубина залегания подземных вод составляет от 1 до 30 м.

Первый инцидент, связанный с безопасной эксплуатацией гидротехнических сооружений Тайганского водохранилища, произошел в августе 1997 г. Высокий риск разрушения плотины, вызванный обильными и продолжительными атмосферными осадками, при отметке, превышающей отметку ФПУ, привел к необходимости сброса воды одновременно из трех водохранилищ – Симферопольского, Белогорского и Тайганского, что значительно увеличило уровни воды в реках ниже водохранилищ (в т. ч. и в низовьях р. Салгир) и продолжительность паводка. В результате наводнение затронуло г. Белогорск, пос. Нижнегорский и другие населенные пункты, а также сельскохозяйственные угодья. Положение усложнилось в результате дополнительного сброса воды из Горлинского водохранилища, расположенного на р. Кучук-Карасу [3, 4].

Кроме того, в течение всего периода эксплуатации, с 1938 г. до настоящего времени, на плотине Тайганского водохранилища дважды происходила деформация верхового откоса на участке от ПК 1 + 20 до ПК 2 + 60 (в 1957 и 1962 гг.). Обе деформации происходили в сентябре после сработки водохранилища до отметки 195–196 м. Это

обусловлено способностью аптских глин, из которых отсыпано тело плотины, набухать при смачивании их водой в весенне-летний период, когда водохранилище наполняется, в результате чего происходит разрушение плитного покрытия и образуется выпор грунта, и растрескиваться в осенне-зимний период, когда происходит сработка водохранилища.

4 октября 2001 г. на участке от ПК 5 + 45 до ПК 6 + 50 произошел оползень верхового откоса плотины в зоне донного трубчатого водовыпуска, ось которого расположена на ПК 6 + 13. Максимальная глубина просадки по линии разрыва составляла от 0,8 до 1,8 м [5]. По проекту, разработанному Управлением водного хозяйства Народного комиссариата земельных ресурсов Крымской АССР (в 1935 г.), в основании плотины должен находиться глино-бетонный зуб, скрепляющий основание плотины с ее телом, однако при проведении обследования сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» с помощью георадара ОКО-2М выяснилось его отсутствие. Также были выявлены многочисленные линзы воды в теле и основании плотины. Наиболее крупная из них длиной 5 м и высотой приблизительно 1 м расположена на участке между ПК 5 + 45 и ПК 6 + 50. Однако при обследовании галереи, в которой проходят трубы водосброса, мокрых пятен и выходов фильтрационных вод не зафиксировано.

Кроме того, проведенная сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» геодезическая съемка позволила установить значительную просадку гребня плотины по всей длине. По всей видимости, это связано с недостаточным уплотнением грунта плотины при ее строительстве и ведением работ взрывным способом в карьерах по добыче полезных ископаемых, расположенных на расстоянии 4,5 км от гидроузла.

Плотина Тайганского водохранилища расположена в Джавагайской балке, т. е. в области резкого изменения рельефа земной поверхности, к данным областям, как правило, приурочены геодинамические зоны фильтрационных потоков [6]. В таких районах градиент скорости четвертичных движений составляет 10^{-9} мм/год и более, а фоновые подвижки, по исследованиям ОАО «УкрНТЭК», колеблются от $2 \cdot 10^{-3}$ до $4 \cdot 10^{-3}$ мм/год со знакопеременной направленностью [7]. Однако из-за высокой сейсмичности, установленной ДБН В.1.1-12:2006 «Строительство в сейсмических районах Украины» (карты общего сейсмического районирования ОСР-2004) в 9 баллов, эти значения могут быть на порядок выше.

За время эксплуатации значительно изменились физико-механические свойства грунтов тела плотины. Из имеющихся материалов по проектированию плотины Тайганского водохранилища (1934 г.) известно, что для грунтов тела плотины были приняты следующие характеристики [8]: удельный вес грунта $\gamma_s - 2,7$ т/м³; пористость $m - 0,4$; угол внутреннего сопротивления мокрого глинистого грунта $\varphi - 30-15^\circ$; коэффициент трения по основанию $f - 0,5$.

По результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных в 2015 г., эти данные составляют: плотность грунта $\gamma_s - 1,65-1,72$ г/см³ (среднее значение 1,68 г/см³); пористость $m - 37,9-40,1$ % (среднее значение 39,1 %); угол внутреннего трения грунта, рекомендуемый для расчета устойчивости верхового откоса, $\varphi - 5^\circ$; удельное сцепление грунта, рекомендуемое для расчета, $- 0,4$ кг/см².

Выводы. В результате проведенных натурных обследований установлено, что глины апта в теле плотины обладают набухающими свойствами. Сила набухания колеблется от 0,75 до 1,75 кг/см², что не было учтено при проектировании плотины в 1934 г., следовательно, разрушения облицовки мокрого откоса будут иметь место при наполнении и сработке водохранилища.

Согласно исследованиям С. К. Сухорученко [9, 10], проведенным в КрымГИ-ИНТИЗ, аптские глины на территории Крымского предгорья отнесены к сильнонабухающим глинам с давлением набухания до 5,2 кгс/см². В связи с этим сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений Тайганского водохранилища были предложены следующие мероприятия:

- провести детальные инженерно-геологические и геофизические изыскания на гребне и бермах плотины;
- заложить временные шурфы в бортах плотины для мониторинга степени набухания грунтов;
- установить степень влияния работающих карьеров на безопасность гидротехнических сооружений Тайганского водохранилища;
- провести микросейсмическое и геодинамическое картирование гидротехнических сооружений и прилегающих территорий;
- предусмотреть выполнение антисейсмических мероприятий в соответствии с п. 8 СП 14.13330.2014 [11];
- разработать комплекс научно обоснованных инженерно-технических мероприятий, максимально смягчающих воздействие пучинистых грунтов. В комплексе учесть уменьшение коэффициента фильтрации грунтов при их набухании, которое способствует образованию линз воды в теле плотины и снижению прочности грунта, а также то, что набухающие грунты тела плотины являются пучинистыми и подвержены морозному растрескиванию.

Список использованных источников

- 1 Варга, А. А. Вероятностный анализ безопасности гидротехнических сооружений при взаимодействии с окружающей средой / А. А. Варга // *Геоэкология*. – 2002. – № 2. – С. 99–111.
- 2 Водохранилищный узел гидротехнических сооружений: учеб. пособие / А. А. Ткачев [и др.]; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. – Новочеркасск, 2014. – 149 с.
- 3 Олиферов, А. Н. Реки и озера Крыма / А. Н. Олиферов, З. В. Тимченко. – Симферополь: Доля, 2005. – 216 с.
- 4 Кореновский, А. М. Оценка риска аварии гидротехнических сооружений Тайганского водохранилища в Республике Крым / А. М. Кореновский, Д. В. Бакланова // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. – 2016. – № 2(62). – С. 113–119.
- 5 Рабочий проект «Противооползневые мероприятия в верхнем бьефе плотины Тайганского водохранилища». Кн. 1. Пояснительная записка. – Симферополь, 2002. – 36 с.
- 6 Кореновский, А. М. Геодинамическая безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / А. М. Кореновский // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. – 2013. – Вып. 51. – С. 86–89.
- 7 Геодинамика и ее экологические проявления / Б. И. Воевода, Е. Г. Соболев, А. Н. Русанов, О. В. Савченко // *Научные труды ДонНТУ*. Серия: Горно-геологическая. – 2001. – Вып. 23. – С. 3–10.
- 8 Правила эксплуатации Тайганского водохранилища. – Киев, 1980. – 228 с.
- 9 Сухорученко, С. К. Изменение свойств нижнемеловых глин в предгорном Крыму при хозяйственной деятельности человека / С. К. Сухорученко // *Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности*. – 2006. – № 6(36). – С. 26–30.
- 10 Сухорученко, С. К. Влияние изменения физических и набухающих свойств набухающих глин на экологическую безопасность при хозяйственном освоении территории (на примере Предгорного Крыма) / С. К. Сухорученко // *Строительство и технологическая безопасность*. – 2005. – Вып. 12. – С. 89–91.
- 11 *Строительство в сейсмических районах* (актуализированная редакция СНиП II-7-81*): СП 14.13330.2014: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации от 18.02.14: введ. в действие с 01.06.14 // *Гарант Эксперт 2015* [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2015.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 631.53:633.2

Н. Е. Василенко, С. Ф. Антонив, С. И. Фостолович

Институт кормов и сельского хозяйства Подолья Национальной академии аграрных наук Украины, Винница, Украина

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЛАКОВЫХ ТРАВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДУБОРОЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ СЕМЯН

В статье приведены данные научного поиска в области определения уборочной спелости семян низовых злаковых трав: овсяницы красной, овсяницы тонколистой, полевицы тонкой – и способов улучшения посевных качеств, что позволит увеличить выход семян с высокими посевными качествами, значительно сократить затраты труда при уборке и послепосевной подготовке семян. Установлено, что в среднем за три года исследований максимальная урожайность овсяницы тонколистой составила 391 кг/га, полевицы тонкой – 479 кг/га при оптимальной влажности 35 %. При влажности семян 30 % урожайность уменьшалась на 9 кг/га (2,4 %) у овсяницы тонколистой, а у полевицы тонкой – на 7 кг/га (1,5 %). Оптимальным сроком обмолота овсяницы красной в среднем за 2014–2016 годы исследований оказался срок при влажности семян 30 %, что обеспечило уровень урожайности 401 кг/га.

Ключевые слова: злаковые травы, овсяница красная, овсяница тонколистая, полевица тонкая, срок уборки, влажность семян, урожайность.

N. Ye. Vasilenko, S. F. Antoniv, S. I. Fostolovich

Institute of Feed Research and Agriculture of Podillya of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Vinnitsa, Ukraine

CEREAL GRASSES PRODUCTIVITY DEPENDING ON PREHARVESTING SEEDS MOISTURE

The article presents the scientific research data in the field of determining the low grasses seeds pickling ripeness: red fescue, thin-leaved fescue, colonial bent grass and ways to improve their sowing qualities, which allows to increase the seeds yield with high sowing qualities and to cut down labour costs for harvesting and post-harvesting seed preparation significantly. It has been found out that for three years of research the maximum yield of thin-leaved fescue was 391 kg per ha, colonial bent grass – 479 kg per ha with an optimum moisture 35 % on average. In a thin-leaved fescue with a seed moisture 30 %, the yield decreased by 9 kg per ha (2.4%), and in a colonial bent grass – by 7 kg per ha (1.5 %). The optimal time for red fescue threshing for 2014–2016 was a period with a seed moisture 30%, which ensured a yield level 401 kg per ha.

Key words: cereal grasses, red fescue, fescue thin-leaved, colonial bent grass, harvesting time, seed moisture, yield.

Введение. Настоящее состояние семеноводства не обеспечивает потребностей производства в необходимом ассортименте трав, особенно злаковых, слабо учитываются возможности специализации выращивания семян относительно агроклиматических условий.

Современные сорта многолетних злаковых трав характеризуются высокой генетически обусловленной семенной продуктивностью. Однако способность к осыпанию и

неравномерное созревание приводят к значительным потерям, такие травы предъявляют повышенные требования к процессу уборки семеноводческих травостоев. По мнению ученых, опоздание со сбором семян злаковых трав на 2–3 дня приводит к потере от 30 до 60 % урожая [1–4].

Задачей наших исследований является определение оптимального срока уборки семян злаковых низовых трав и их послеуборочной доработки. Установлено, что наибольшее количество растворимых углеводов в семенах злаковых трав содержится при влажности 55 %. По мере созревания происходит изменение химического состава семян [5]. При влажности 45 % содержание углеводов резко уменьшается в 2–4 раза в зависимости от вида трав.

Существуют различные мнения относительно сроков уборки семенных посевов злаковых трав. Визуальные способы оценки не дают возможность правильно выбрать срок и собрать семена без потерь, ведь известно, что большинство видов злаковых трав имеют способность осыпаться в период молочно-восковой и восковой спелости семян.

Поэтому возникает необходимость разработать объективные методы определения срока уборки семенных травостоев. Наиболее точным и доступным способом является определение срока сбора семян трав по их влажности. Определение срока достижения семенами злаковых трав уборочной спелости по их влажности базируется на мониторинге содержания влаги в семенах в процессе созревания. При этом влажность устанавливается лабораторным методом путем высушивания отобранных образцов семян в сушильном шкафу. В связи с этим проведение дополнительных исследований по этим вопросам является актуальным и представляет безусловный интерес.

Материал и методы. Исследования проводились в Институте кормов и сельского хозяйства Подолья в севообороте отдела семеноводства и трансфера инноваций, расположенном в с. Бохоники Винницкого района Винницкой области. Почвы серые лесные с показателями: рН 5,2–5,5, гидролитическая кислотность (Hr) – 1,75–2,14 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 12–13 мг-экв/100 г почвы, в пахотном слое почвы (0–20 см) содержание гумуса составляет 1,91–2,14 %, легкогидролизованного азота по Корнфильду – 6,3–6,8, подвижных форм фосфора (P_2O_5) по Чирикову и калия (K_2O) – соответственно 14,5–16,0 и 9,3–10,5 мг/100 г почвы.

Закладка учетных площадок по изучению влияния сроков уборки урожая семян злаковых трав: овсяницы красной, тонколистой и полевицы тонкой – проводилась согласно общепризнанной методике в кормопроизводстве [6–9]. Овсяница красная сорта Айра, овсяница тонколистая сорта Краска, полевица тонкая сорта Юнона высевались черезрядным способом с нормами высева соответственно 5,0; 5,5 и 10,0 млн шт./га всхожих семян.

Первое определение влажности семян начинали через 10 дней после фазы полного цветения, второе – через три дня, а затем ежедневно путем отбора проб семян и определения содержания влаги в них в лабораторных условиях. Семена со снопа обмолачивали, очищали, а образец высушивали в сушильном шкафу при температуре 130 °С в течение 1 ч [10].

Математическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа на персональном компьютере с использованием специальных пакетов прикладных программ типа Excel, Statistika, Sigma [11].

Результаты и обсуждение. Уборка семян – наиболее сложный и ответственный этап семеноводства. Сложность обусловлена такими факторами, как одновременность созревания и осыпание семян, их высокая текучесть, забивание молотилки комбайна из-за наличия в ворохе большого количества листостебельной массы.

Признаком спелости семян злаковых трав является их осыпание с верхушек (5–10 %) соцветий при легком ударе соцветия по ладони. В связи с этим возникает про-

блема разработки и применения более эффективных методов определения состояния готовности травостоя к уборке, которые по сравнению с оценкой по внешним признакам позволяли бы выбирать оптимальные сроки уборки, что значительно уменьшило бы потери семян при обмолоте.

В 2014–2016 гг. проводились исследования по изучению влияния сроков уборки урожая семян злаковых трав путем прямого их комбайнирования в диапазоне влажности семян от 45 до 20 %. Всего определено шесть сроков с интервалом влажности между сроками 5 %. Прямое комбайнирование имеет много преимуществ перед отдельным способом сбора, в первую очередь это уменьшение затрат времени, материальных средств и труда. Кроме того, при уборке прямым комбайнированием при оптимальной влажности семян злаковых трав потери составляют 10–20 % против 30–40 % и более при раздельном.

Оптимальна влажность семян во время уборки – 35 %, при этих условиях урожайность за годы проведения исследований для овсяницы тонколистной составила 391 кг/га, а полевицы тонкой – 479 кг/га. При уборке семян с влажностью 30 % урожайность уменьшалась на 9 кг/га у овсяницы тонколистной, или на 2,4 %, а у полевицы тонкой – на 7 кг/га, или на 1,5 % (таблица 1). Когда убирали семена при влажности 45 и 40 %, урожайность овсяницы тонколистной Краска составила 223 кг/га, а полевицы тонкой Юнона – 345 кг/га и была ниже на 14,6 и 15,4 % из-за неполного обмолота. При этом значительно росли расходы на досушивание и очистку вороха, так как в нем значительно увеличилось содержание примесей в виде измельченных листьев и стеблей, влажность которых значительно превосходит влажность семян. В таких случаях возникает опасность передачи влаги из примесей, а при длительном пребывании вороха в бункере комбайна, в мешках или буртах – опасность быстрого его согревания и порчи семян злаковых культур.

Таблица 1 – Влияние сроков уборки на урожайность семян многолетних низовых злаковых трав (в среднем за 2014–2016 гг.)

Влажность семян при уборке, %	Урожайность		
	Овсяница красная	Овсяница тонколистная	Полевица тонкая
45	206	223	343
40	354	341	415
35	394	391	479
30	401	382	472
25	345	347	444
20	313	293	416
НСР ₀₅	16,3–26,1	15,6–29,7	17,3–25,1

Урожайность семян овсяницы тонколистной и полевицы тонкой при проведении уборки при влажности семян 25 % составила 347 и 444 кг/га, при 20 % – 293 и 416 кг/га. При поздних сроках уборки урожая овсяницы тонколистной и полевицы тонкой при влажности семян 25 % урожайность снижалась на 12,7 и 7,9 %, а при 20 % – на 33,4 и 15,1 % в сравнении с оптимальным сроком.

Во время обмолота овсяницы красной сорта Айра в среднем за три года исследований при раннем сроке уборки (влажность семян 40 %) значительная часть семян оставалась не вымолоченной из соцветий. Урожайность составляла 354 кг/га, что на 13,3 % меньше, чем при обмолоте в оптимальный срок. Оптимальным сроком в среднем за 2014–2016 годы исследований оказался срок обмолота при влажности семян 30 %, который обеспечил уровень урожайности 401 кг/га.

Уровень урожайности при обмолоте при влажности 25 и 20 % составил соответственно 345 и 313 кг/га, что на 16,2 и 28,1 % меньше в сравнении с оптимальным сроком.

Потери урожая значительно возрастают за счет естественного осыпания и выдувания из комбайна семян с незначительной физической массой при обмолоте. Единственным преимуществом сроков уборки при влажности 25 и 20 % является то, что семена имеют меньшую влажность и содержат незначительное количество примесей, это облегчает процесс их досушивания и очистки. На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что овсяницу красную целесообразно убирать прямым комбайнированием при влажности семян 35–30 %. Это позволяет собрать семена с наименьшими потерями и с высокими посевными качествами. Более ранняя уборка (при влажности 40–45 %), а также поздняя (при влажности 20–25 %) приводит к потере 20–50 % семян.

Показатели структурного анализа урожая семян овсяницы красной сорта Айра и тонколистой сорта Краска, в частности масса 1000 семян, зависели от сроков уборки урожая. При влажности семян 30–20 % масса 1000 семян составляла 0,82–0,85 г. Проведение их обмолота при влажности семян 45 и 40 % приводило к уменьшению массы 1000 семян на 0,15 и 0,11 г по сравнению с оптимальным сроком уборки при влажности 30–35 %.

При проведении уборки полевицы тонкой в 2016 г. при влажности семян 35–25 % масса 1000 зерновок находилась в пределах 0,08 г. Однако при обмолоте полевицы тонкой в ранние сроки при влажности семян 45 и 40 % наблюдалось уменьшение массы 1000 семян на 0,03 и 0,02 г по сравнению с оптимальным сроком.

Лабораторные исследования по определению посевных качеств семян показали, что их величина зависела от сроков уборки и влажности семян. Больше всего эта зависимость проявилась в силе роста, так как этот показатель более объективный и на него влияет в большей степени не количество проросших семян, а их качественные показатели, такие как величина развития проростка и корневой системы.

При этом энергия прорастания и всхожесть семян овсяницы красной в 2016 г. составили 57 и 81 %. При раннем сроке уборки семян при влажности 45 и 40 % энергия прорастания и всхожесть снижались на 14 и 10 % соответственно, а также на 8 и 7 % по сравнению с оптимальным сроком.

Наименьшими энергия прорастания и всхожесть семян овсяницы тонколистой и полевицы тонкой были в вариантах с более ранними сроками уборки; при влажности семян 45 и 40 % они снижались соответственно на 6–4 и 11–8 % по сравнению с оптимальным сроком. Энергия прорастания и всхожесть семян овсяницы тонколистой при проведении уборки в более поздние сроки при влажности семян 20 % составили 46 и 77 % соответственно.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что максимальная урожайность овсяницы тонколистой в среднем за три года исследований составила 391 кг/га, полевицы тонкой – 479 кг/га при оптимальной влажности 35 %. При влажности семян 30 % урожайность уменьшалась на 9 кг/га (2,4 %) у овсяницы тонколистой, а у полевицы тонкой – на 7 кг/га (1,5 %). Оптимальным сроком обмолота овсяницы красной в среднем за 2014–2016 годы исследований оказался срок при влажности семян 30 %, что обеспечило уровень урожайности 401 кг/га.

Список использованных источников

1 Антонив, С. Ф. Семеноводство злаковых трав, особенности технологии выращивания семян новых и перспективных сортов / С. Ф. Антонив, С. И. Колесник // Семеноводство. – 2005. – № 11. – С. 7–10, 15–16.

2 Семеноводство и семенной контроль / Й. Берна [и др.]: [пер. с чеш.]. – М.: Колос, 1981. – 335 с. – (Семеноводство и семенной контроль).

3 Петриченко, В. Ф. Технологии выращивания бобовых и злаковых трав на семена / В. Ф. Петриченко, В. Д. Бугаев, С. Ф. Антонов. – Винница, 2005. – 52 с.

4 Кирилеско, А. Л. Агрэкологічні основи виробництва і використання трав'янистих кормів: монографія / А. Л. Кирилеско. – Харків: НТУ, 2012. – 309 с.

5 Богородская, П. Б. Влияние сроков уборки на урожай семян злаковых трав / П. Б. Богородская, В. В. Павлинова // Сборник научных трудов БелНИИ мелиорации и водного хозяйства. – 1985. – № 33. – С. 121–127.

6 Методика проведения опытов в кормопроизводстве / под ред. А. О. Бабича. – Винница, 1994. – 87 с.

7 Гаврилюк, Н. Н. Основы современного семеноводства / Н. Н. Гаврилюк: на укр. яз. – Киев: ННЦ «ИАЭ», 2004. – 256 с.

8 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

9 Новосёлов, Ю. К. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Новосёлов, Г. Д. Харьков, Н. С. Шеховцова; ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – М., 1983. – 198 с.

10 Справочник по выращиванию семян многолетних трав / Б. С. Зинченко [и др.]. – Киев: Урожай, 1990. – 230 с.

11 Вергунов, И. М. Основы математического моделирования для анализа и прогноза агрономических процессов / И. М. Вергунов. – Киев: Нора принт, 2000. – 146 с.

УДК 635.658:631.6:631.5:631.8

С. О. Лавренко, Н. Н. Лавренко, М. В. Максимов

Херсонский государственный аграрный университет, Херсон, Украина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ИЗ ПОЧВЫ РАСТЕНИЯМИ ЧЕЧЕВИЦЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ

Целью исследований являлось изучение условного потребления щелочногидролизованного азота и подвижного фосфора из корнеобитаемого слоя растениями чечевицы за вегетационный период при различных условиях влагообеспечения. Определены элементы технологии выращивания, которые влияют на величину потребления питательных веществ чечевицей. Установлено, что максимальным условное потребление щелочногидролизованного азота (87,9 мг/кг) и подвижного фосфора (18,4 мг/кг) с урожаем зерна чечевицы из слоя 0–50 см в неорошаемых условиях было при обвальном обработке на глубину 28–30 см, внесении минеральных удобрений в дозе N₉₀P₉₀ и густоте растений 3,0 млн шт./га, а при орошении максимальное потребление составило 101,2 и 20,9 мг/кг соответственно.

Ключевые слова: чечевица, орошение, удобрения, густота, элементы питания, азот, фосфор.

S. O. Lavrenko, N. N. Lavrenko, M. V. Maksimov

Kherson State Agrarian University, Kherson, Ukraine

EFFICIENCY OF PLANT NUTRITION ELEMENTS USE FROM SOIL BY LENTIL PLANTS UNDER VARIOUS MOISTURE CONDITIONS

The aim of research was to study the conventional consumption of alkaline-hydrolyzed nitrogen and mobile phosphorus from the root-layer by lentil plants during the vegetation period under different conditions of moisture supply. Elements of growing practice that affect the amount of nutrients consumption by lentil plants are determined. It was found that the maximum conventional consumption of alkaline hydrolyzed nitrogen (87.9 mg per kg) and mobile phosphorus (18.4 mg per kg) with a lentil grain yield from a layer of 0–50 cm in non-irrigated conditions was at an abrupt treatment to a depth of 28–30 cm, the application of mineral fertilizers in a dose of N₉₀P₉₀ and the plant's density of 3.0 million pcs per ha, and the maximum consumption by irrigation was 101.2 and 20.9 mg per kg, respectively.

Key words: lentil, irrigation, fertilizers, density, nutrition elements, nitrogen, phosphorus.

Введение. Зернобобовые культуры способствуют смягчению последствий изменения климата, поскольку снижают зависимость от синтетических удобрений. В процессе производства и применения минеральных удобрений происходит выброс парниковых газов в атмосферу, а их чрезмерное использование может иметь пагубные последствия для окружающей среды. Зернобобовые обладают способностью естественным образом связывать в почве атмосферный азот, а в некоторых случаях хорошо используют запасы фосфора, который содержится в почве, тем самым значительно снижая потребность в синтетических удобрениях [1].

В среднем для формирования 1 т зерна чечевица выносит из почвы 58 кг азота, 20 кг фосфора и 28 кг калия. Общеизвестно, что бобовые культуры на две трети обеспечивают свои потребности в азоте из воздуха с помощью клубеньковых бактерий, поэтому создание оптимальных условий для работы азотфиксирующих бактерий уменьшает потребность растений в минеральном азоте. На этом фоне у растений чечевицы довольно высокая потребность в фосфоре и калии потому, что эти элементы улучшают условия симбиотической азотфиксации. Также для эффективной работы симбиотического комплекса необходимы микроудобрения, в частности молибден и бор. Молибден входит в состав нитрогеназы, которая связывает азот из воздуха, а бор способствует развитию сосудисто-проводящей системы [2–4].

Чечевица способствует увеличению плодородия почвы. Так, проведенные исследования в Канаде показали, что наилучшие показатели микробиологической деятельности (увеличение от 171 до 287 %) и накопления азота в почве были при выращивании культур в звене севооборота «чечевица – пшеница», а наименьшие показатели – в звене «горох – пшеница» [5, 6]. Чечевица в симбиозе с азотфиксирующими бактериями усваивает значительное количество атмосферного азота (до 80 кг/га), использует малодоступные для зерновых культур труднорастворимые минеральные соединения. После уборки этой культуры на каждом гектаре с пожнивными остатками остается столько же питательных веществ, сколько от 10 т перегноя [4, 7].

Доза удобрений зависит от содержания питательных веществ в почве. Так, норма под основную обработку составляет 300–400 кг/га простого суперфосфата и 60–100 кг/га хлористого калия. Перед посевом семена чечевицы необходимо обработать микроудобрениями – молибденово-кислым аммонием и борной кислотой нормой 0,5–1,6 г/кг семян, а при посеве нужно внести 60–70 кг/га гранулированного суперфосфата [8].

По количеству азота, который фиксируется за вегетацию, зернобобовые культуры можно расположить в следующий ряд (в порядке возрастания): чечевица, горох, нут, фасоль, вика, бобы, соя, люпин. Внесение минерального азота, даже в дозе N_{30} , негативно влияет как на формирование клубеньков, так и на их азотфиксирующую активность. По мере негативной реакции симбиотического аппарата на минеральный азот зернобобовые культуры можно расположить в следующий ряд (в порядке возрастания отрицательного эффекта): чечевица, горох, нут, бобы (11–15 %) – соя, фасоль (20–21 %) – вика, люпин (26–30 %). При внесении стартовой дозы минерального азота (N_{30-60}) в подавляющем большинстве случаев формируется такой же урожай, как на посевах, на которых удобрения не вносили, поэтому чечевицу необходимо выращивать без дополнительного основного внесения азотных удобрений даже при низкой обеспеченности грунтовым азотом. Бактеризация семян эффективно сочетается со строчным внесением фосфорных или сложных удобрений. Посев инокулированных семян с внесением сложных удобрений позволяет повысить в 1,5 раза урожай зерна и на 20–50 % окупаемость удобрений, поэтому зернобобовые культуры, за исключением сои, целесообразно выращивать [9].

Применение органических удобрений повышает урожай чечевицы, если их внести под предшествующие культуры. В проведенных опытах на Мироновской селекци-

онной станции (Киевская область) предшественником чечевицы была сахарная свекла, которую сеяли после озимой пшеницы. Удобрения вносили под озимую пшеницу и свеклу. В среднем за 9 лет исследований прирост урожая чечевицы при внесении органических и минеральных удобрений под предшественник по двум севооборотам составлял 1,4–2,6 ц/га, а при внесении только минеральных удобрений – 0,6–1,6 ц/га. Наибольший средний прирост урожая чечевицы (2,6 ц/га) был получен при внесении под сахарную свеклу навоза нормой 27 т/га. Чечевица также хорошо реагирует на внесение навоза при размещении ее третьей культурой. В этих же опытах 20 т/га навоза, внесенные под озимую пшеницу, дали прирост урожая чечевицы 1,9 ц/га. На фоне внесения органических удобрений под зяблевую вспашку вносят от 3 до 5 ц/га фосфоритной муки, а весной под культивацию вносят 2–3 ц/га суперфосфата и 1,5–2,0 ц/га калийной соли. Азотные удобрения необходимы лишь в начале развития чечевицы, когда на корнях еще не поселились клубеньковые бактерии. При слабом развитии растений рекомендуется внести азотные удобрения в дозе 10–15 кг/га в подкормку [10].

Материал и методы. Исследования по усовершенствованию элементов технологии выращивания зерна чечевицы проводились путем постановки четырехфакторного полевого опыта на территории сельскохозяйственного кооператива «Радянська земля» Белозерского района Херсонской области.

В полевых опытах изучались такие факторы и их варианты: фактор А – основная обработка почвы: отвальная на глубину 20–22 см, отвальная на глубину 28–30 см; фактор В – фон питания: без удобрений, N₄₅P₄₅, N₉₀P₉₀; фактор С – густота растений, млн шт./га: 2,0; 2,5; 3,0; фактор D – условия увлажнения: без орошения, орошение. Полевые опыты были заложены в четырехкратной повторности. Расположение вариантов осуществлялось методом расщепленных участков с частичной рендомизацией.

Во время проведения исследований руководствовались общепризнанной методикой полевых опытов.

Агротехника чечевицы была общепринятой для зернобобовых культур в условиях Южной Степи Украины. В опытах выращивали сорт чечевицы Линза.

Результаты и обсуждение. При формировании урожая зерна культура тратит на его образование определенную часть элементов питания из почвы, а зернобобовые – дополнительно из воздуха благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями. Такая биологическая особенность позволяет чечевице и другим бобовым культурам значительно снижать потребность в азоте и, соответственно, в минеральных удобрениях. Анализ экспериментальных данных показывает, что условное потребление основных элементов питания чечевицей существенно зависело от исследуемых факторов (таблица 1).

Таблица 1 – Условное потребление щелочногидролизованного азота и подвижного фосфора из слоя 0–50 см растениями чечевицы за вегетационный период (среднее за 2013–2015 гг.)

Условия увлажнения	Основная обработка почвы	Фон питания	В мг/кг		
			Густота растений, млн шт./га		
1	2	3	2,0	2,5	3,0
			4	5	6
Щелочногидролизированный азот					
Без орошения	Отвальная на глубину 20–22 см	Без удобрений	40,2	41,5	52,7
		N ₄₅ P ₄₅	57,7	62,0	68,9
		N ₉₀ P ₉₀	65,7	71,3	81,7
	Отвальная на глубину 28–30 см	Без удобрений	41,3	42,2	54,9
		N ₄₅ P ₄₅	60,3	63,6	70,1
		N ₉₀ P ₉₀	74,2	82,7	87,9

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Орошение	Отвальная на глубину 20–22 см	Без удобрений	56,7	58,7	59,0
		N ₄₅ P ₄₅	68,9	74,0	78,6
		N ₉₀ P ₉₀	76,5	88,2	88,9
	Отвальная на глубину 28–30 см	Без удобрений	57,6	59,4	60,4
		N ₄₅ P ₄₅	71,3	76,8	81,1
		N ₉₀ P ₉₀	96,0	100,6	101,2
Подвижный фосфор					
Без орошения	Отвальная на глубину 20–22 см	Без удобрений	10,3	11,9	12,7
		N ₄₅ P ₄₅	10,9	13,2	15,1
		N ₉₀ P ₉₀	13,8	15,5	17,1
	Отвальная на глубину 28–30 см	Без удобрений	11,9	12,7	13,4
		N ₄₅ P ₄₅	12,7	13,9	15,8
		N ₉₀ P ₉₀	15,6	16,9	18,4
Орошение	Отвальная на глубину 20–22 см	Без удобрений	13,2	14,0	15,0
		N ₄₅ P ₄₅	14,6	16,5	17,6
		N ₉₀ P ₉₀	15,7	17,4	18,0
	Отвальная на глубину 28–30 см	Без удобрений	14,0	15,0	15,7
		N ₄₅ P ₄₅	15,7	17,1	19,6
		N ₉₀ P ₉₀	16,5	19,4	20,9

Азот является главным элементом питания, который обеспечивает рост и развитие растений и соответствующий уровень качества продукции. В наших опытах содержание щелочногидролизованного азота существенно колебалось по вариантам опыта от 40,2 до 101,2 мг/кг. Больше всего условное потребление азота в неорошаемых условиях было при вспашке на глубину 28–30 см (в среднем по опыту 64,1 мг/кг). Уменьшение глубины до 20–22 см снизило потребление азота растениями чечевицы на 6,5 %. В орошаемых условиях также наибольшее потребление азота было при глубокой обработке на 28–30 см (78,3 мг/кг, что по сравнению со вспашкой на 20–22 см ниже на 8,4 %). Такая разница по глубинам обработки в различных условиях увлажнения объясняется лучшими условиями онтогенеза растений, которые сложились при орошении в условиях дефицита влаги.

В неорошаемых условиях в вариантах без внесения минеральных удобрений условное потребление щелочногидролизованного азота было наименьшим (45,5 мг/кг). При внесении удобрений в дозе N₄₅P₄₅ потребление растениями азота существенно увеличилось (на 40,2 %) и составило в среднем по опыту 63,8 мг/кг. Наибольшим условное потребление щелочногидролизованного азота было при максимальной дозе минеральных удобрений N₉₀P₉₀ (77,3 мг/кг). В орошаемых условиях изменения были аналогичными. Внесение минеральных удобрений в дозе N₉₀P₉₀ обеспечило улучшение условий для максимального потребления щелочногидролизованного азота растениями чечевицы, которое составило 91,9 мг/кг и было больше соответствующего показателя в неорошаемых условиях на 18,9 %. Уменьшение дозы внесения азотно-фосфорных удобрений до 45 кг/га привело к снижению содержания азота до 75,1 мг/кг, или на 22,4 %, а в сравнении с контрольными вариантами (без внесения удобрений) – на 56,8 % (до 58,6 мг/кг соответственно).

Увеличение количества растений всегда обуславливает ответную реакцию в виде повышения количества потребленных элементов питания. Так, при густоте растений 3,0 млн шт./га условное потребление щелочногидролизованного азота было наибольшим как в неорошаемых условиях (69,4 мг/кг), так и при орошении (78,2 мг/кг). Уменьшение густоты растений (2,5 млн шт./га) способствовало снижению потребления азота растениями чечевицы, оно составило 60,6 мг/кг в неорошаемых условиях и 76,3 мг/кг при оро-

шении. Минимальными показателями условного потребления щелочногидролизованного азота были при густоте растений 2,0 млн шт./га, что в сравнении с максимальным сгущением меньше на 22,6 % в неорошаемых условиях и на 9,8 % – при орошении. Абсолютные показатели в этих условиях составили 56,6 и 71,2 мг/кг соответственно.

В условиях Южной Степи Украины дефицит влаги является основным лимитирующим фактором, который не только сдерживает ростовые процессы, но и не позволяет образовывать доступные формы элементов питания. Именно это объясняет большее условное потребление щелочногидролизованного азота при орошении (в среднем за годы исследований 75,2 мг/кг) по сравнению с неорошаемыми условиями, при которых показатель составлял 62,2 мг/кг.

Условное потребление подвижных форм фосфора было наибольшим в условиях орошения (16,4 мг/кг, что на 17,1 % больше соответствующих вариантов в неорошаемых условиях). Этот прирост был обеспечен за счет наличия влаги в оптимальном количестве, которая не только растворяла и превращала недоступные формы фосфора в доступные, но и создавала оптимальные условия для жизнедеятельности клубеньковых бактерий («Фосфоэнтерин»), внесенных при посеве культуры. Их активная деятельность способствовала превращению фосфора не только из удобрений, но и из почвы. Этот агротехнологический прием позволяет существенно снизить потребление фосфорных удобрений и улучшить экономический баланс выращивания зерна чечевицы.

Глубина основной обработки также существенно повлияла на потребление подвижных форм фосфора из почвы. Проведение глубокой обработки на 28–30 см обеспечило максимальные показатели как в неорошаемых условиях (14,6 мг/кг), так и при орошении (17,1 мг/кг). Сравнивая эти данные с показателями при вспашке на 20–22 см, следует отметить, что они были больше на 9,0 и 8,2 % соответственно.

Внесение минеральных удобрений увеличивало содержание элементов питания в почве и, соответственно, создавало лучшие условия для их использования растениями чечевицы. Так, в вариантах без внесения минеральных удобрений условное потребление подвижных форм фосфора было наименьшим и составляло в среднем по опыту 12,2 мг/га в неорошаемых условиях и 14,5 мг/кг – при орошении. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{45}P_{45}$ увеличивало показатель в указанных условиях увлажнения на 11,5 и 16,6 % соответственно. Максимальными показателями условного потребления подвижного фосфора были при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{90}$. Так, в неорошаемых условиях показатель составлял 16,2 мг/кг, что по сравнению с орошаемыми условиями было меньше на 11,1 %.

Выращивание чечевицы с густотой растений 2,0 млн шт./га обеспечило меньшее условное потребление подвижных форм фосфора. Так, при такой густоте в неорошаемых условиях показатель составил 12,5 мг/га, а при орошении – 15,0 мг/кг. Загущение растений до 2,5 млн шт./га увеличило анализируемый показатель на 12,0 % в неорошаемых условиях. Наибольшие показатели наблюдались при густоте растений 3,0 млн шт./га (15,4 мг/кг). При орошении тенденция изменения показателя была аналогичной. С увеличением густоты растений с 2,0 до 3,0 млн шт./га условное потребление подвижного фосфора возросло с 15,0 до 17,8 мг/кг, или на 18,7 %. При густоте растений 2,5 млн шт./га показатель имел промежуточные значения, которые составили 16,6 мг/кг.

Выводы. Максимальным условное потребление щелочногидролизованного азота (87,9 мг/кг) и подвижного фосфора (18,4 мг/кг) с урожаем зерна чечевицы из слоя 0–50 см в неорошаемых условиях было при обвальной обработке на глубину 28–30 см, внесении минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{90}$ и густоте растений 3,0 млн шт./га, а при орошении максимальное потребление составило 101,2 и 20,9 мг/кг соответственно.

Список использованных источников

1 Что такое зернобобовые культуры? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fao.org/pulses-2016/news/news-detail/ru/c/337860>, 2017.

2 Адаптивная селекция зернобобовых в условиях Лесостепи / А. А. Бабич, С. Иванюк, И. В. Темченко, А. В. Барвиненко // Вестник аграрной науки. – 2003. – № 10. – С. 39–42.

3 Адамень, Ф. Ф. Основные направления научно-технической политики в селекции сельскохозяйственных культур / Ф. Ф. Адамень, А. А. Корчинский // Вестник аграрной науки. – 2000. – № 10. – С. 5–7.

4 Современная технология выращивания чечевицы: науч.-произв. изд. / А. В. Черенков, А. И. Клим, А. Д. Гирька, А. А. Кулинич, Ю. Я. Сидоренко, О. Бочевар, А. В. Ильенко, А. А. Кулик. – Днепропетровск, 2013. – 48 с.

5 Biederbeck, V. O. Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate / V. O. Biederbeck, R. P. Zentner, C. A. Campbell // Soil Biology and Biochemistry. – 2005, October. – Vol. 37, iss. 10. – P. 1775–1784.

6 Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure / V. O. Biederbeck, C. A. Campbell, V. Rasiah, R. P. Zentner, G. Wen // Soil Biology and Biochemistry. – 1998, August. – Vol. 30, iss. 8–9. – P. 1177–1185.

7 Кондыков, И. В. Культура чечевицы в мире и Российской Федерации (обзор) / И. В. Кондыков // Зернобобовые и крупяные культуры: науч.-произв. журн. – 2012. – № 2. – С. 13–20.

8 Яньков, И. Древнейшая «монастырская» культура / И. Яньков // Фермерское хозяйство. – 2011. – № 43(555). – С. 26.

9 Шотт, П. Р. Биологическая фиксация азота в однолетних агроценозах лесостепной зоны Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Шотт Петр Рейнгольдович. – Барнаул, 2007. – 39 с.

10 Зерновые бобовые культуры / под ред. Д. Ф. Лихваря. – Киев: Урожай, 1964.

О МЕЛИОРАЦИИ ДОСТУПНО

УДК 631.961

А. К. Кладиев

Калмыцкая научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция – филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Элиста, Российская Федерация

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ПЕСКОВ НА ЧЕРНЫХ ЗЕМЛЯХ ФИТОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫМИ ПРИЕМАМИ

В статье приведена динамика опустынивания Черных земель за период 1970–1985 гг., рассмотрены технологии проведения фитолесомелиоративных мероприятий по закреплению открытых песков методом посева песчаного овса (кияка) и высокоэффективные технологии создания древесно-кустарниковых насаждений. Приведены данные о реализации Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием на Черных землях и поставлены проблемные вопросы, решение которых будет способствовать успешному выполнению плана работ по дальнейшему закреплению открытых песков.

Ключевые слова: деградация, аккумулятивная и деструктивная область, закрепление песков, древесно-кустарниковый ярус, борьба с опустыниванием, фитогенный эффект.

A. K. Kladiev

Kalmyk Research Agroforestry Experimental Station – a branch of the Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Science, Elista, the Russian Federation

SOLVING THE PROBLEMS OF OPEN SANDS FIXATION ON BLACK LANDS BY PHYTO FOREST RECLAMATION PRACTICES

The dynamics of the Black Lands desertification during 1970-1985 is shown in the article; the technologies of conducting phyto forest reclamation practices for fixing open sands by method of sowing giant ryegrass (kayaks) and highly effective technologies for creating tree-shrub plantations are considered. Data on implementation of the Master Plan of Desertification Control on the Black Lands are given and problematic issues the solution of which will contribute to the successful implementation of program for further open sands consolidation are raised.

Key words: degradation, accumulative and destructive area, sand fixation, tree- shrub layer, desertification control, phytogenic effect.

Прикаспий – самый хрупкий регион аридного пояса России, периодически подвергающийся деградации.

Территория Черных земель издавна определялась как зона отгонного животноводства не только для Калмыкии, но и для соседствующих субъектов – Ростовской, Астраханской областей, Дагестана, Ставрополя и даже Грузии. Скотоводы, прекрасно знающие экологию степи, использовали Черные земли только как зимние пастбища. Однако изменение методов хозяйствования и землепользования в 1960-е гг., а это организация стационарных хозяйств, привело к значительному росту поголовья скота, а распашка свыше 150 тыс. га легких песчаных почв – к резкому уменьшению противодефляционной устойчивости земель и почти полной деградации почвенного покрова этой территории.

Если в 1956–1959 гг. опустыниванием на Черных землях было охвачено лишь 3,5 % территории, то уже в 1971–1975 гг. – 37 %, в 1984–1985 гг. – 94 %, а площадь открытых песков достигла более 600 тыс. га. Площадь «рукотворной пустыни» ежегодно прирастала на 50 тыс. га за счет сокращения пастбищных угодий [1].

Согласно динамике опустынивания и прогнозу при отсутствии мероприятий по восстановлению растительности, к 2000 г. площадь открытых песков на Черных землях составила более 1 млн га, а к 2030 г. рассматриваемый регион превратится в бесплодную пустыню.

Боролись ли с опустыниванием на Черных землях в 70-е гг. прошлого столетия? Однозначно да. Каждому хозяйству этого региона выделялись определенные финансовые средства для работы по закреплению открытых песков и коренному улучшению пастбищ, но так как не было соответствующей технологии и опыта по закреплению открытых песков, эти деньги большей частью просто «закапывались» в землю или использовались не по назначению. «Кустарщина» оказалась не тем путем к кардинальному решению глобального вопроса.

Попытка использовать технологию среднеазиатских республик с применением саксаула черного для закрепления песков оказалась провальной. Но путем проб и ошибок приобретались опыт и навыки.

В эти годы было весьма актуально изыскивать и применять самые разнообразные методы и средства для борьбы с деградацией, особенно те, которые позволяют быстро восстанавливать растительный покров на эродируемых территориях, вовлекая в мелиоративное производство дешевые местные ресурсы, в частности песчаный овес. Одним из таких методов, примененных Всесоюзным научно-исследовательским институтом агролесомелиорации, в настоящее время Федеральный научный центр агроэкологии Российской академии наук, был аэросев песчаного овса по лентам свеженарезанных борозд на площади свыше 5 тыс. га. Он в 5 раз в сравнении с проектными нормами сокращал расход семян, денежных средств и, главное, времени на выполнение пескоукрепительных работ. Мониторинг урожайности травянистой растительности на данном участке показал, что она в 3 раза выше, чем на прилегающей территории, и в отдельные годы достигает свыше 20 ц/га.

Но оказалось, что и посеы песчаного овса не всегда дают положительные результаты, и, естественно, встал вопрос дальнейшего усовершенствования технологии закрепления открытых песков. Научными сотрудниками ВНИАЛМИ под руководством акад. В. И. Петрова были разработаны высокоэффективные технологии комплексной дифференцированной фитомелиорации очагов опустынивания с созданием на них 2-ярусных (кустарники + травы) и 3-ярусных (деревья + кустарники + травы) лесопастбищ, которые были положены в основу создания Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием на Черных землях и Кизлярских пастбищах на площади 5,4 млн га.

Древесно-кустарниковые растения обладают более высокой жизнестойкостью, поэтому их посадки более эффективны при закреплении открытых песков, чем посеы песчаного овса.

При создании древесно-кустарникового яруса в аккумулятивной области очага опустынивания использовали машину лесопосадочную барханную МЛБ-1 и ее модернизированный тип, названный МПЛП (машина плодово-лесопосадочная), разработанный отделом механизации ВНИАЛМИ. В МПЛП был учтен ряд технических недостатков МЛБ-1, а именно отсутствие съемных загортачей, уплотнительных катков, была выполнена другая компоновка сидений сажальщиков. В деструктивной области использовали лесопосадочную машину СЛЧ-1 (М. Чашкина).

Схема размещения древесно-кустарниковых растений в аккумулятивной зоне – трехрядные кулисы из джужгуна 5,0 × 1,5 м с единичными посадками саженцев вяза приземистого, акации белой, тополя, ясеня в рядах джужгуна через 30–40 м, что состав-

ляло в среднем 25 шт./га. В деструктивной области очага опустынивания – посадки терескена с размещением $0,7 \times 8,0$ м [2].

Под защитой деревьев и кустарников во все времена года скорость ветра ниже, чем в открытой степи. Есть все теоретические и практические предпосылки считать, что созданные лесонасаждения на песках в виде куртин являются не только пескоукрепительными, но и зоолесомелиоративными. Изменяя физические факторы среды обитания диких животных, птиц, а также мест выпаса и отдыха овец, крупного рогатого скота, они улучшают терморегуляцию животных, создают зону комфорта [3]. Лесопастбищные экосистемы, которые трансформируют микроклиматические условия, сглаживают и минимизируют амплитуду колебаний лимитирующих факторов, обладают ярко выраженным фитогенным эффектом [4].

Лесонасаждения, создаваемые по этим технологиям, обеспечивают быструю фиксацию барханов, способствуют интенсивному росту кормовых угодий, позитивно влияют на зооклиматическую обстановку в местах выпаса и содержания сельскохозяйственных животных.

Высокий производственный потенциал лесомелиоративных предприятий и постоянная научная поддержка со стороны Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук позволили остановить процесс опустынивания в регионе Черных земель.

За период реализации генеральной схемы по борьбе с опустыниванием (1989–2003 гг.) по Республике Калмыкии были выполнены фитомелиоративные мероприятия на площади 453 тыс. га и передано в эксплуатацию 350 тыс. га полноценных, высокопродуктивных, зоотехнически комфортных угодий с кормоемкостью 10–16 ц/га. По Астраханской области за этот же период выполнены работы по фитомелиорации на площади 83 тыс. га. Фитомелиоративные работы на Черных землях уникальны, не имеют аналогов в мировой практике (рисунок 1).



1985 г.



2015 г.

Рисунок 1 – Состояние лесопастбища «Молодежный» (джузгун) в 1985, 2015 гг., площадь – 3,0 тыс. га, Яшкульский район (фото А. К. Кладиева)

Растительные формации в пустыне неустойчивы и легкоранимы. Известно, что естественная растительность пустынь, раз измененная под влиянием хозяйственной деятельности человека, не возвращается к своему первоначальному виду. По результатам мониторинга биоразнообразия растительного покрова на всех обследованных участках лесопастбищ и прилегающих кормовых угодьях всего зафиксировано 140 видов растений, на фитомелиорированных территориях – до 59 одновременно произрастающих видов, где лидирующую роль занимают кормовые травы – свыше 70 %. Сегодня, к сожалению, приходится констатировать, что и на лесопастбищах, и на естественных травостоях выявляется высокая доля рудеральных и ядовитых растений, зачастую в 2 раза

превышающая рекомендованную (соответственно 7 и 5 %) для устойчивой эксплуатации экосистем на пастбищах нашего региона величину [5]. Такое соотношение экологических групп свидетельствует о высокой антропогенной нагрузке.

Сегодня остро стоят следующие проблемные вопросы, от решения которых зависят дальнейшие работы по закреплению вновь появляющихся открытых песков и сохранению уникальных лесопастбищных угодий, созданных 20–30 лет назад и более в бывших очагах опустынивания на Черных землях, а именно:

- провести полную инвентаризацию состояния опустыненных территорий на Черных землях, дать оценку выполненным работ по закреплению песков;
- продолжить финансирование фитомелиоративных работ из средств РФ;
- узаконить передачу деградированных земель в долгосрочное пользование из различных хозяйственных субъектов на период выполнения фитомелиоративных работ;
- решить вопросы выращивания посадочного материала;
- привлечь научные кадры для дальнейшего усовершенствования технологий закрепления песков и коренного улучшения пастбищ.

Восстановление деградированных пастбищ и закрепление песков – это все-таки ликвидация последствий, а не устранение опустынивания. Занимаясь агролесомелиорацией, т. е. устраняя последствия, мы идем по самому затратному и долгому пути. Устранять надо одновременно и причины опустынивания, а причины – в нерациональном, бессистемном использовании пастбищ, отсутствии регулирования поголовья скота и сроков использования пастбищ.

Список использованных источников

1 Лесомелиоративные работы на Черных землях / К. И. Бембеев, А. К. Кладиев, А. С. Манаенков, А. В. Вдовенко // Агролесомелиорация в 21 веке: состояние, проблемы, перспективы, фундаментальные и прикладные исследования: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2015. – С. 31–34.

2 Рекомендации по формированию лесопастбищ в аридной зоне / В. И. Петров [и др.]. – Волгоград, 2000. – 42 с.

3 Маслов, Ю. М. Лес в степи / Ю. М. Маслов. – Элиста: Калмиздат, 1979. – 91 с.

4 Павловский, Е. С. Экологические и социальные проблемы агролесомелиорации / Е. С. Павловский. – М.: Агропромиздат, 1988. – 182 с.

5 Вдовенко, А. В. Экологические проблемы пастбищного животноводства Северо-Западного Прикаспия / А. В. Вдовенко // АгроXXI. – 2011. – № 7–9. – С. 45–47.

НАУКА – ПРАКТИКЕ

УДК 332.3

С. Ю. Турко, К. Ю. Трубакова

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

**ПЛАНИРОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
ЗЕРНО-ОВЦЕВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЫ**

В статье рассматриваются современные подходы к распределению земельных ресурсов при планировании нескольких направлений хозяйственной деятельности того или иного типа фермерского хозяйства. Выделяются следующие структурные подразделения: производство, ведение домашнего хозяйства, быт, отдых. Целью исследований явилось изучение планирования и управления на уровне фермы любого типа. Рассмотренный в статье прием вполне адекватно отражает действительность, но требует некоторой атрибутики.

Ключевые слова: зернопроизводство, овцепроизводство, ферма, планирование, хозяйственная деятельность, риски, земельные ресурсы.

S. Yu. Turko, K. Yu. Trubakova

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

LAND RESOURCES PLANNING FOR GRAIN SHEEP FARM

Modern approaches to the distribution of land resources in planning several directions of economic activity of a particular type of farm are considered in the article. The following structural subdivisions are distinguished: production, housekeeping, household activities, recreation. The aim of research was to study planning and management at the farm level of any type. The technique considered in the article reflects the reality quite adequately, but requires some attributes.

Key words: grain production, sheep production, farm, planning, economic activity, risks, land resources.

Введение. Развитие агропромышленного комплекса на современном этапе основывается на ускорении научно-технического прогресса, мощной материально-технической и энергетической базе.

Наши исследования основывались на изучении современных подходов у нас в стране и за рубежом к распределению земельных ресурсов при планировании нескольких направлений хозяйственной деятельности того или иного типа фермерского хозяйства. При планировании и управлении на уровне фермы любого типа, как правило, решается многоплановая проблема. Во-первых, это распределение ресурсов фермы – земельных, трудовых, техники, строений, капитала, энергетических и др. Во-вторых, это организация отдельных направлений деятельности – растениеводства, овцеводства, пастбищ, энергетики и др.

Материалы и методы. Отмеченные позиции основаны на использовании опытного материала, разного типа моделирования и теории оптимизации. Указанные проблемы тяготеют к области знаний, касающейся сельскохозяйственных систем, в основе которых лежит анализ производственных систем в целом и отдельно их составляющих.

Что же касается исследования таких систем, то, как уже отмечалось, оно может быть осуществлено лишь методом моделирования [1].

За рубежом сейчас уже создано достаточно много таких моделей. Представление о них можно получить из обзорных работ Дента, Андерсона [2] и Дальтона [3]. Как правило, системы моделирования в них различные и определяются подходом того или иного исследователя. Модели распределения ресурсов на ферме в зарубежной модельной практике относятся обычно к двум классам – моделям с учетом рисков и неопределенностей и моделям без учета указанных факторов. Также опираются на положения теории принятия решений и на использование функции полезности. Математическое оформление часто бывает затруднено из-за сложности математизации рисков и неопределенностей [4].

Более простой подход к детерминированной задаче описания распределения ресурсов тот, в котором используемые данные известны и детерминированы, а функция полезности увязывается с максимизацией прибыли и минимизацией потерь. Такой подход, например, у Оудсли, Дюмонта, Байса, которые используют линейное программирование при решении задач на максимум и минимум [5, 6].

Результаты и обсуждение. На структуру фермы существенное влияние оказывает тип хозяйствования. Особенно это относится к территориям, в разной степени подверженным дефляции, где в основе используемых технологий должны лежать так называемые эколого-ландшафтные и ландшафтно-адаптивные принципы. Эти принципы ставят своей целью стабилизацию структурно-функциональных свойств ландшафта путем адаптации. В земледелии это относится к структуре посевных площадей, севооборотам, технологиям выращивания сельскохозяйственных растений, их требовательности к условиям обитания и т. д. В животноводстве – к содержанию пастбищ, режиму выпаса, кормопроизводству и т. д.

На практике для более устойчивого ведения хозяйства фермы имеет смысл осуществлять разностороннюю хозяйственную деятельность. Другое направление обустройства и планирования фермерского предприятия – это система «куст». Ее разработчики предлагают схему взаимного расположения фермерских хозяйств с каким-то одним направлением хозяйствования. Фермеры, выращивающие зерновые культуры, должны соседствовать с фермерами, занимающимися разведением крупного рогатого скота, овцеводством и садоводством, свиноводством и пчеловодством.

Выделяются следующие структурные подразделения: производство, ведение домашнего хозяйства, быт, отдых [7]. В первую структурную единицу входят гараж, ветроустановка, газогенератор, дороги, склад ГСМ, мастерская, водонапорная башня, магазин, автостоянка. Во второй структурной единице следует иметь сад, огород, теплицу, зимний сад, помещения для животных и птицы, скотный двор, водоем, кухню для приготовления пищи животным, столярный цех, склад стройматериалов. К разряду «быт» следует отнести кухню, кладовые, гараж, мастерскую, кабинет, комнаты для детей и гостей, санузел, ванную, прихожую, балконы, холодные кладовые. Структурная единица «отдых» должна включать спальные комнаты, бассейн, спортплощадки, детские площадки, гостиную, беседки, творческую мастерскую.

Отмечая в общем полезность данного направления и в целом правильное представление функций фермерских хозяйств и их обустройства, следует указать на один очень существенный его недостаток. Оно не дает представления о землеустройстве на территории фермерского хозяйства, не позволяет оценить экономические стороны отрасли, а также степень выживания фермерских хозяйств в современных рыночных отношениях. В нем нет решения вопросов природоохранного порядка, прогнозирования разных ситуаций на рынке и откликов на них в деятельности землепользователей.

Во избежание указанных недостатков мы использовали другой метод, позволяющий более объективно выделять земельные фонды при планировании работ на ферме с несколькими направлениями деятельности. Наш метод основан на использовании за-

кона нормального распределения и теории рисков, активно разрабатываемых в Агрофизическом научно-исследовательском институте (АФИ).

Согласно теории АФИ, нельзя потери и риски в сельском хозяйстве определять по одному неудачному году, так как они значительно шире отражаются на деятельности сельскохозяйственного предприятия за ряд лет. Поэтому мы приняли за основу не годовую неудачу, а формирующуюся за ряд лет область риска, которую определяют по фактическим результатам деятельности за достаточно большой период времени с использованием закона нормального распределения Гаусса. Это, как показывает практика, достаточно объективный подход [8, 9]. И тем не менее нужно помнить, что со временем меняются технологии, сорта и др.

Мы в своей работе также используем аналогичный подход. При этом считается, что тем больше риск, чем меньшая площадь земли при многоотраслевом хозяйствовании отводится ферме. Иначе говоря, должна соблюдаться пропорциональность риска и площади отвода земли.

Чтобы был более понятен наш подход, рассмотрим его на примере фермы зерно-овцеводческого направления. Допустим, что при обработке данных по растениеводству (за период не менее 25 лет) стандартное отклонение (δ_p) коэффициента эффективности деятельности составляет в зерновом хозяйстве 0,2, в животноводстве – 0,15, средние же значения этого коэффициента соответственно составляют 0,8 и 0,6. Отсюда начальные значения коэффициента эффективности будут равны: $0,8 - 3\delta = 0,8 - 0,6 = 0,2$ (растениеводство) и $0,6 - 3\delta = 0,6 - 0,45 = 0,15$.

Исходя из закона Гаусса, для левой ветви будем иметь начальное значение $\frac{n_i}{n_{cp}}$

равным:

$$\frac{n_i}{n_{cp}} = e^{-\frac{(k_{cp}-k_i)^2}{2\delta^2}},$$

где n_i – частота результата;

n_{cp} – средний результат;

k_{cp} – средний коэффициент эффективности;

k_i – коэффициент эффективности;

δ – стандартное отклонение коэффициента эффективности.

Подставляя k_{cp} , δ и k_i , для растениеводства и животноводства будем иметь:

$$\frac{n_{ip}}{n_{cp.p}} = e^{-\frac{(0,8-0,2)^2}{2 \cdot 0,04}} = 0,011 \text{ (растениеводство),}$$

$$\frac{n_{ijk}}{n_{cp.ж}} = e^{-\frac{(0,6-0,15)^2}{2 \cdot 0,0225}} = 0,011 \text{ (животноводство).}$$

Для других значений k_i (0,3; 0,4; 0,6; 0,8) будем иметь:

- растениеводство – 0,04; 0,135; 0,61; 1,0;

- животноводство – 0,135; 0,444; 1,0; 0,89.

Допустим, что критическое значение k_i в обоих случаях деятельности равно 0,3. Тогда, очевидно, критическая площадь под кривой распределения k_i для растениеводства будет равна:

$$S_p = 0,04 \cdot \mu_n \cdot 0,3 \cdot \mu_k = 0,012 \mu_n \cdot \mu_k,$$

где S – критическая площадь;

μ_n , μ_k – масштабы по осям абсцисс и ординат.

Для животноводческой деятельности имеем:

$$S_{ж} = 0,135\mu_n \cdot 0,3 \cdot \mu_k = 0,0405\mu_n \cdot \mu_k.$$

Естественно, соотношение будет равно:

$$\frac{S_{ж}}{S_{р}} = \frac{0,0405}{0,0120} = 3,4.$$

Следовательно, соотношение будет 1:3,4 (рисунок 1).

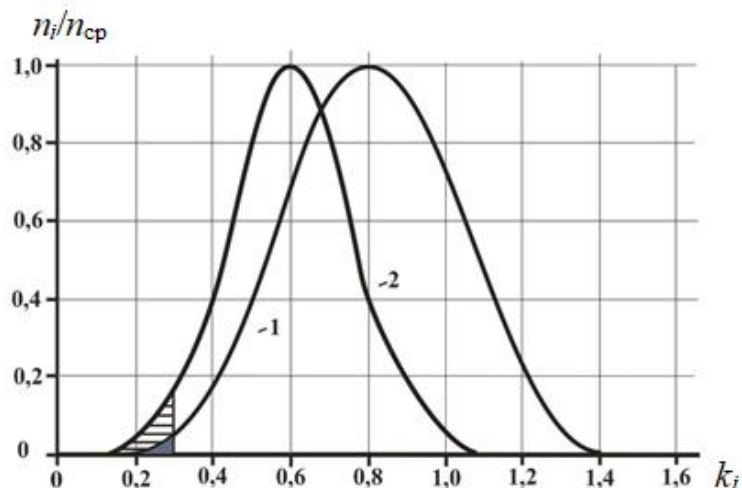


Рисунок 1 – Распределение вероятности коэффициента эффективности при зернопроизводстве (1) и животноводстве (2), заштрихованная часть – это область риска

Если принять, что площадь фермы равна 320 га (из практики известно, что при площади фермы менее 300 га ферма, как правило, нерентабельна), будем иметь:

- площадь пастбищ – 73 га;
- площадь зернового клина – 247 га.

Выводы. Рассмотренный в статье прием вполне адекватно отражает действительность, но требует некоторой атрибутики. Во-первых, он должен быть обеспечен электронной версией построения кривых, показанных на рисунке 1, а также техническими решениями выделения рискованных областей, определения их площадей и соотношений. Во-вторых, для его размещения должна быть разработана база данных по растениеводству и животноводству с привязкой к конкретным территориям. Тем не менее разработка, по-видимому, жизнеспособна, требует дальнейшего развития и питательной идентификации.

Список использованных источников

- 1 Spedding, C. R. W. An introduction to agricultural systems / C. R. W. Spedding. – London: Applied Science Publishers, 1979. – 169 p.
- 2 Dent, J. B. Systems analysis in agricultural management / J. B. Dent, J. R. Anderson. – Sidney: Wiley, 1971. – 394 p.
- 3 Dalton, G. E. Study of agricultural systems / G. E. Dalton. – London: Applied Science Publishers, 1975. – 441 p.
- 4 Roumasset, J. A. Risk, uncertainty and agricultural development / J. A. Roumasset, G. M. Boussard, I. Singh. – New York: SEARCA and ADC, 1979. – P. 407–437.
- 5 Andsley, E. Planing an arable farm's machinery needs – a linear programming application / E. Andsley // Proceedings of operational research workshop 20–21 September. – Silsoe: NCAE/NIAE, 1978. – № 32.

6 Audsley, E. An economic comparison of methods cultivating and planting cereals, sugar beet and potatoes and their interaction with harvesting, timeliness and available labour by linear programming / E. Audsly, S. Dumont, D. S. Boyse // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1978. – 23. – P. 283–300.

7 Васильев, Ю. И. Общие положения планирования фермерского хозяйства / Ю. И. Васильев, С. Ю. Турко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 3. – С. 12–13.

8 Васильев, Ю. И. Математическое моделирование многолетнего варьирования урожайности озимой пшеницы на открытом и облесенном пространстве / Ю. И. Васильев, С. Ю. Турко, Н. Н. Овечко // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 1. – С. 38–41.

9 Турко, С. Ю. Моделирование функционирования и эксплуатации пастбищ (мировой опыт и актуальность для аридной территории Европейской части РФ) / С. Ю. Турко // Вестник мясного скотоводства. – 2016. – № 1(93). – С. 116–120.

УДК 634.92:634.99

Л. П. Радочинская

Калмыцкая научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция – филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Элиста, Российская Федерация

СОХРАНЕНИЕ ВИДОВОГО И ПОПУЛЯЦИОННОГО БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ЛЕСОПАСТБИЩАХ ЧЕРНЫХ ЗЕМЕЛЬ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ В РЕГИОНЕ

Целью мониторинга лесопастбищных угодий, созданных на открытых песках более 30 лет назад, являлась оценка современного состояния растительного покрова восстановленных по разным агролесомелиоративным технологиям территорий. По общепринятым геоботаническим методикам определены видовой состав, спектр жизненных форм и экологическая структура фитоценозов лесопастбищ и окружающих выпасов. Выявлено 140 видов растений из 34 семейств. Биоразнообразие отдельных лесопастбищ в 2–3 раза выше, чем окружающих пастбищ. В составе экологических групп в 2–3 раза больше кормовых и лекарственных видов; рудеральных и ядовитых меньше в 1,5–3,0 раза. Выявленный состав жизненных форм и экологических групп способствует стабилизации и повышенной продуктивности фитоценозов, а сохранение видового и популяционного биоразнообразия является фактором экологической стабильности в регионе.

Ключевые слова: деградация, фитомелиорация, видовой состав, экологические группы, сохранение биоразнообразия, лесопастбища, Черные земли.

L. P. Radochinskaya

Kalmyk Research Agroforestry Experimental Station – a branch of the Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Science, Elista, Russian Federation

SPECIES AND POPULATION BIODIVERSITY CONSERVATION ON BLACK LAND FOREST PASTURES AS A FACTOR OF ENVIRONMENTAL STABILITY IN THE REGION

The goal of forest pastures monitoring created on open sands more than 30 years ago was to assess the current state of vegetation cover recovered by different agroforestry technologies of territories. According to the generally accepted geobotanical methods, the species

composition, the spectrum of life forms and the ecological structure of phytocoenoses of forest pastures and surrounding grazing are determined. 140 plant species from 34 families have been identified. The biodiversity of individual forest pastures is 2–3 times higher than that of surrounding pastures. Fodder and offgical species are 2–3 times bigger in ecological groups; ruderal and poisonous are less by 1.5–3.0 times. The revealed composition of life forms and ecological groups contributes to the stabilization and increased productivity of phytocoenoses and species and population biodiversity conservation is a factor of ecological stability in the region.

Key words: degradation, vegetative reclamation, species composition, ecological groups, biodiversity conservation, forest pastures, Black lands.

На территории Калмыкии, расположенной на стыке степной, полупустынной и пустынной зон, экосистемы, находящиеся под значительным антропогенным воздействием и не нарушенные хозяйственной деятельностью человека, практически отсутствуют, особенно на Черных землях, где к 80-м гг. прошлого века масштабы опустынивания территорий достигали катастрофических размеров. После снижения в 1990-е гг. в результате проведения экстренных и обширных фитомелиоративных работ процессы деградации пастбищ вновь усилились в последние десятилетия. В связи со сложившейся ситуацией в настоящее время можно говорить лишь об условно коренных растительных сообществах, формирующихся в условиях умеренного выпаса. Основной отраслью экономики Калмыкии по-прежнему остается животноводство, и основным кормовым ресурсом для животных служат природные кормовые угодья, представленные пастбищами и сенокосами. По данным Федеральной службы государственной статистики, на территории Черных земель и Кизлярских пастбищ поголовье КРС составляет около 1 млн голов, мелкого рогатого скота – более 3 млн, а это колоссальная нагрузка на пастбища.

Аграрная политика, нацеленная только на получение прибыли от животноводческой продукции и не учитывающая интересы сохранения и восстановления природного биоразнообразия, почвенного плодородия и биоресурсов, привела к тому, что процессы опустынивания в последние годы вновь начали опережать темпы работ по восстановлению земель, площадь опустыненных территорий растет, нарушается сезонность их использования, деградирует растительный покров, уменьшается видовое и популяционное биоразнообразие пастбищ. Процессы деградации черноземельских пастбищ неуклонно приводят к нарушению стабильности и деструкции природных экосистем, что в ближайшем будущем может вновь нарушить хрупкое экологическое равновесие в регионе.

Наши исследования последних лет в бывших очагах опустынивания, которые были фитомелиоративно освоены в 1980-е гг. по технологиям, разработанным ВНИАЛМИ (в настоящее время ФНЦ агроэкологии РАН), показали, что преимущество созданных лесопастбищ и по прошествии 30 лет и более проявляется не только в повышении фитопродуктивности восстановленных территорий, но и в увеличении биоразнообразия, формировании более устойчивых популяций и фитоценозов, которые способствуют продлению продуктивного долголетия и созданию более устойчивых, защищенных кустарниками и полукустарниками агроландшафтов [1]. Мониторинг сукцессий растительного покрова в таких «потухших» очагах дефляции на Черных землях позволит выявить наиболее перспективные технологии восстановления деградированных пастбищ, провести классификацию восстановленных территорий по потребности в фитомелиоративных мероприятиях на лесопастбищах, где на протяжении длительного времени сохраняется целостность и многоярусная структура сформировавшихся фитоценозов, продуктивность которых, как правило, выше, чем на окружающих территориях (рисунок 1).

Мониторинг лесопастбищных и пастбищных угодий Черноземельского и Яшкульского районов, где более 30 лет назад выполнялись фитомелиоративные работы, проводился (2013–2017 гг.) на участках: лесопастбище «6 км» (очаги дефляции, закрепленные джужуном безлистным и тамариксом), лесопастбища «Аэросев», «Молодеж-

ный», «Сапог», «Приканальный» (закрепленные терескеном серым), «28 Армия», «Молодежный» и «Зеленая зона» (закрепленные джужгуном безлистным).



«Молодежный» (джужгун), 3-ярусное



«Молодежный» (терескен), 2-ярусное

Рисунок 1 – Лесопастбища на Черных землях через 31 год после создания, июнь 2015 г. (фото Л. П. Радочинской)

Работы на открытых песках осуществлялись с применением одновременного ввода на площадь ценных кормовых растений (прутняка, житняка гребенчатого, пырея ползучего и др.), полукустарников (терескена) и кустарников (джужгуна, тамарикса, лоха), а также овса песчаного для создания противодефляционных барьеров. На лесопастбищах «Аэросев», «28 Армия» и частично «Зеленая зона» создавался также и древесный ярус (вяз приземистый, акация белая, тополь белый и черный, ясень ланцетный и др.) [2–4].

Мониторинг биоразнообразия закрепленных и контрольных территорий проводился в соответствии с методиками геоботанического обследования [5, 6].

На всех обследованных лесопастбищных и пастбищных участках Черных земель зафиксировано 140 видов растений из 34 семейств. На пяти участках (лесопастбищных и пастбищных), обследованных в т. ч. и в 2017 г., зафиксировано 115 видов растений, из которых 95, относящихся к 26 семействам, произрастали в фитоценозах. По количеству видов доминируют четыре семейства – астровые, злаковые, маревые и капустные (таблица 1). Представителей семейства астровых на лесопастбищах выявлено от 8 до 15 видов («28 Армия» и «Аэросев»), злаковых – от 8 до 13 («28 Армия» и «Молодежный» (терескен), маревых – по 4–5 и капустных – по 3–4 вида на всех обследованных фитомелиорированных участках. Бурачниковые представлены в фитоценозах лесопастбищ 2–3 видами растений. На некоторых соседних пастбищных территориях видовое разнообразие представителей даже самых распространенных семейств уменьшается в 1,5–2,0 раза (астровых – 6–10, злаковых – 6–12, маревых – 1–5, капустных – 2–4 вида).

Таблица 1 – Количество видов и семейств растений на лесопастбищах (Л) и пастбищах (П) Черных земель, июнь-июль 2017 г.

Семейство	В шт./%									
	«Зеленая зона»	«Аэросев»		«28 Армия»		«Молодежный» (джужгун)		«Молодежный» (терескен)		На всех участках
	Л	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л + П
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Астровые	10/27	15/32	6/24	8/24	8/32	12/27	8/28	11/24	10/23	24/25
Бобовые	1/2	2/4	1/4			1/2	1/3	1/2		3/3
Бурачниковые	3/8	1/2	1/4	2/6	1/3	2/5	1/3	3/7	3/7	5/5
Вьюнковые		1/2		1/3			1/3			1/1
Гвоздичные		1/2	1/4			2/5	1/3	1/2	1/2	2/2

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Гречишные	2/5	1/2		2/6		2/5	1/3	1/2	1/2	3/3
Губоцветные						1/2	1/3	1/2	1/2	2/2
Злаковые	6/16	12/26	8/32	8/24	6/24	12/27	8/28	13/28	12/28	17/18
Зонтичные						2/5		2/4	2/5	2/2
Капустные	4/11	4/9	3/12	3/9	4/16	2/5	2/7	2/5	3/7	7/7
Лютиковые	1/2		1/3			1/2		1/2	1/2	3/3
Маревые	5/13	3/7	1/3	5/15	4/16	4/9	3/10	5/11	5/12	9/9
Мареновые	2/5			1/3			1/3		1/2	2/2
Могильниковые			1/3	1/3	1/3					1/1
Молочайные	1/2				1/3				1/2	1/1
Осоковые	1/2	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	1/3	1/2	1/2	1/1
Первоцветные		1/2				1/2	1/3	1/2	1/2	1/1
Щирицевые	1/2			1/2				1/2	1/2	2/2
Другие (8 семейств)	2/5	4/8	2/8			1/2		2/5		9/10
Количество видов	39	47	26	34	26	44	30	46	44	95
Количество семейств	14	16	11	12	8	14	13	16	15	26

Всего на пяти обследованных в 2017 г. лесопастбищных участках произрастало 87 видов растений из 25 семейств, на пастбищных участках – 61 вид из 19 семейств, т. е. биоразнообразие на лесопастбищах в среднем в 1,5 раза выше, чем на соседних нефитомелиорированных территориях. Семейство астровых представлено 21 и 14 видами растений, маревых – 8 и 6, капустных – 7 и 4, бурачниковых – 5 и 3 видами соответственно – на лесопастбищах в 1,5–2,0 раза больше. Злаковых на лесопастбищных и пастбищных территориях – 16 и 14 видов.

Семейства, представленные даже 1–2 видами, особенно древесными и кустарниковыми растениями (вяз, акация, лох, джужгун), имеют большое значение для стабилизации сложившихся фитоценозов на восстановленных территориях. Важнейшими из маревых и гречишных являются фитомелиоранты терескен и джужгун, хорошо адаптированные к природно-климатическим условиям, сравнительно быстро отрастающие после стратификации и пожаров, определяющие повышение продуцирующих функций созданных лесопастбищ. Установлено, что злаково-терескеновые ассоциации и через 25–30 лет накапливают 16–20 ц/га (в благоприятные годы 20–30 ц/га) общей фитомассы, разнотравно-злаковые – до 11–17 ц/га.

По общему количеству видов биоразнообразие лесопастбищных ассоциаций в среднем также в 1,5 раза выше, чем пастбищных. Лесопастбища представлены 34–47 видами растений из 12–16 семейств, пастбища (контроль), особенно сбитые, – 20–36 видами из 8–13 семейств.

Территория лесопастбища «Аэросев», отличавшаяся высоким биоразнообразием, хорошим проективным покрытием и травостоем, в 2017 г. на момент обследования утратила 20 % биоразнообразия (12 видов), так как активно посещалась сайгаками и зайцами, а также пострадала от саранчи, следы выхода которой имелись в понижениях аккумулятивной области лесопастбища. На юго-восточных окраинах лесопастбища и части прилегающих пастбищ отмечались участки массового скопления саранчи, которая в последние годы уничтожает растительность на пастбищах и сенокосах юго-восточной части республики, а несвоевременные и недостаточные меры борьбы с этим вредителем могут нанести большой урон биоразнообразию восстановленных фитоценозов лесопастбищ и дестабилизировать экологическую ситуацию в хрупких аридных фитоценозах.

Анализ видового и популяционного биоразнообразия кормовых угодий лесопастбищ показал, что растительные ассоциации сформированы различными экологически-

ми группами растений: кормовыми, лекарственными, рудеральными, ядовитыми и другими (таблица 2). Соотношение выделенных групп является своеобразным индикатором, определяющим направление (прогрессивное, регрессивное или смешанное) и время сукцессии. Для устойчивой эксплуатации экосистемы на пастбищах Северо-Западного Прикаспия рекомендовано присутствие 70 % кормовых, 15 % лекарственных, 7 % рудеральных, 5 % ядовитых и 1 % других видов растений [7].

Таблица 2 – Состав экологических групп и жизненных форм лесопастбищ (Л) и пастбищ (П) Черных земель, июнь 2016 г.

В шт./%

Группа растений	«Аэросев»		«28 Армия»		«Молодежный» (джузгун)		«Молодежный» (терескен)	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
Состав экологических групп								
Кормовые	37	21	21	11	24	17	26	20
	63	58	60	55	62	63	53	59
Лекарственные	6	2	2	0	4	1	4	2
	10	6	6	0	10	4	9	6
Рудеральные	9	6	5	5	4	3	4	5
	15	17	14	25	10	11	8	14
Ядовитые	2	3	3	3	1	3	4	3
	3	8	8	15	3	11	8	9
Другие	5	4	4	1	6	3	11	4
	9	11	12	5	15	11	22	12
Состав жизненных форм								
Деревья	4	0	1	0	0	0	0	0
	7	0	3	0	0	0	0	0
Кустарники	2	0	1	0	1	0	0	0
	4	0	3	0	3	0	0	0
Полукустарники	6	2	4	6	3	2	5	5
	10	6	11	30	8	8	10	15
Травы	47	34	29	14	35	25	44	29
	79	94	83	70	89	92	90	85
Всего	59	36	35	20	39	27	49	34
	100	100	100	100	100	100	100	100

Установлено, что в составе фитоценозов лесопастбищ преобладают кормовые виды (53–63 %, 21–37 шт.), лекарственных видов выявлено 6–10 % (2–6), что в 1,5–2,0 раза ниже рекомендованного количества для устойчивой эксплуатации пастбищ. Рудеральных и ядовитых выявлено соответственно 8–15 % (4–9) и 3–8 % (1–4), т. е. от нормы до 2 раз выше. Высока доля других видов – 9–22 % (4–11).

На не защищенных древесно-кустарниковой растительностью пастбищах доля кормовых (55–59 %) видов практически такая же, но видов – 11–21, что в 2–3 раза меньше, чем на лесопастбищах, как и доля лекарственных (0–6 %, видов – 0–2). Доля рудеральных и ядовитых видов на пастбищах выше.

Выявленное соотношение экологических групп свидетельствует о высокой пастбищной нагрузке, неблагоприятных гидротермических условиях (особенно в отдельные годы) и последствиях участвовавших пожаров, что может привести к повторной деградации и ветровой эрозии восстановленных территорий.

Анализ состава экологических групп лесопастбищ показывает, что после восстановления пастбищ происходит неполная адаптация флоры, так как сохраняется высокая доля рудеральных видов, но на участках, где практикуется щадящий выпас или

запрет на выпас (более 2–3 лет), возрастает доля лекарственных видов («Аэросев» – 10 %), как и под защитой джужгуновых насаждений («Молодежный» – 10 %).

Наиболее чувствительны к выпасу лекарственные виды, они не выдерживают «копытной» нагрузки и при несоблюдении выпасного режима выпадают из травостоя. Освободившуюся экологическую нишу занимают рудеральные растения. Количество ядовитых видов уменьшается при бессистемном выпасе в результате косвенного воздействия на местообитание – разрушение почвенного покрова. Однако биомасса оставшихся ядовитых видов может существенно возрасти, особенно многолетников (гармалы) и при благоприятном вегетационном периоде – однолетников (гелиотропа).

Сейчас в составе фитоценозов лесопастбищ встречается 1–4 вида ядовитых растений, и половина из них относится к однолетникам. Наиболее высокая доля ядовитых растений формируется в составе рудеральных пастбищных и лесопастбищных ассоциаций. Они так же, как и рудеральные виды, способствуют накоплению фитомассы и пополнению органики в деградированных почвах.

Таким образом, долевое участие кормовых растений в структуре экологических групп на лесопастбищах и пастбищных угодьях отличается незначительно, но по биоразнообразию (видам, семействам, жизненным формам), их кормовой, стабилизирующей значимости восстановленные территории в 2–3 раза превосходят окружающие выпаса. Долевое участие остальных групп (лекарственных, рудеральных, ядовитых) в растительных сообществах лесопастбищ в 1,5–3,0 раза оптимальнее, чем на не защищенных древесно-кустарниковой растительностью выпасах.

По видовому составу жизненных форм (многолетники, однолетники, деревья, кустарники, полукустарники и травы) лесопастбищные ассоциации в 1,5–2,0 раза превосходят пастбищные. Так, количество многолетних видов на лесопастбищах варьирует от 15–17 (43–44 %) на лесопастбищах «28 Армия» и «Молодежный» (джужгун) до 25–31 (51–53 %) на лесопастбищах «Молодежный» (терескен) и «Аэросев». На контрольных пастбищных территориях многолетников от 10–11 (41–50 %) видов на лесопастбищах «Молодежный» (джужгун) и «28 Армия» до 15–16 (42–47 %) на лесопастбищах «Аэросев» и «Молодежный» (терескен). Наличие разных жизненных форм растений позволяет растительному сообществу лесопастбищ более полно использовать материально-энергетические ресурсы в аридных условиях обитания.

Установлено, что всего на восстановленных пастбищах Черных земель в летний период зафиксировано 140 видов растений из 30 семейств. На лесопастбищных участках произрастало 87 видов из 25 семейств, на пастбищных участках – 61 вид из 19 семейств, т. е. биоразнообразие в среднем по всем обследованным лесопастбищам в 1,5 раза выше, чем на нефитомелиорированных территориях. На отдельных участках биоразнообразие выше в 2–3 раза. Хотя на восстановленных лесопастбищных угодьях происходит неполная адаптация флоры, для них характерны в основном сукцессии прогрессивного типа. Они отличаются повышенной продуктивностью и высоким биоразнообразием по сравнению с окружающими, порой сбитыми, выпасами, требуют повышенного внимания и бережного отношения, так как становятся источниками биоразнообразия и фактором экологической стабильности хрупких аридных экосистем в регионе.

Необходимо не только закреплять открытые пески, но и сохранять щадящий режим использования существующих уникальных восстановленных территорий, а по итогам мониторинга их современного состояния будут разработаны рекомендации и приемы повышения их продуктивного долголетия, способствующие предотвращению образования повторных и новых очагов дефляции.

Список использованных источников

1 Вдовенко, А. В. Динамика состояния опустыненных земель сельскохозяйственного назначения на Юге России / А. В. Вдовенко, А. С. Манаенков, Л. П. Радочинская // Российская сельскохозяйственная наука. – 2015. – № 5. – С. 49–53.

2 Манаенков, А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны / А. С. Манаенков. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2014. – 420 с.

3 Петров, В. И. Рекомендации по формированию лесопастбищ в аридной зоне / В. И. Петров. – М.: РАСХН, ВНИАЛМИ, 2000. – 42 с.

4 Петров, В. И. Лесомелиоративная адаптация агроэкосистемы Российского Прикаспия (на примере Калмыкии) / В. И. Петров. – Элиста: Джангар, 2002. – 128 с.

5 Методические рекомендации по геоботаническому и культуртехническому обследованию природных кормовых угодий / ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – М., 1974. – 160 с.

6 Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического обследования природных кормовых угодий и составлению крупномасштабных геоботанических карт / М-во сел. хоз-ва СССР, Гл. упр. землепользования и землеустройства, Гл. упр. кормов, лугов и пастбищ. – М.: Колос, 1984. – 105 с.

7 Воронина, В. П. Агроэкологический потенциал пастбищных экосистем Северо-Западного Прикаспия в условиях меняющегося климата: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.04 / Воронина Валентина Павловна. – Волгоград, 2009. – 49 с.

УДК 631.6

В. В. Лепеско

Богдинская научно-исследовательская агролесомелиоративная опытная станция – филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Харабали, Российская Федерация

ОПЫТ БОГДИНСКОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ ПО КОМПЛЕКСНОЙ МЕЛИОРАЦИИ АРИДНЫХ ЛАНДШАФТОВ ПРИКАСПИЯ

В данной статье представлены результаты исследований по лесомелиорации пастбищ в Астраханской области. Разработаны и созданы в натуре основные виды лесонасаждений для целей животноводства – пастбищезащитные лесные полосы, мелиоративно-кормовые, зеленые зонты. Научные исследования, проведенные в 1971–2007 гг. на орошаемом участке Богдинской опытной станции, показали, что защитные лесные насаждения на орошаемых землях обладают высокой энергией роста и способностью накапливать древесину. При рубке обновления поросль к 10 годам переходит в насаждение высотой 20 м и полностью восстанавливает мелиоративно-защитные функции. Установлено, что мелиоративно-кормовые полосы способствуют повышению урожайности пастбищной растительности на 2,5–3,0 ц/га (сухой поедаемой массы) и улучшают ее качества. Доказана эффективность защитных лесополос в лесомелиоративном обустройстве сельхозугодий Астраханской области.

Ключевые слова: лесомелиорация, травосеяние, пастбище, опустынивание, лесонасаждение, микроклимат.

V. V. Lepesko

Bogdinskaya research agroforestry experimental station – a branch of the Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Science, Kharabali, Russian Federation

EXPERIENCE OF THE BOGDIN RESEARCH AGRFORESTRY EXPERIMENTAL STATION ON INTEGRATED LAND RECLAMATION OF PRECASPIAN ARID LANDSCAPES

This article presents the results of research on forest reclamation of pastures in Astrakhan region. The main types of afforestation for livestock are developed and created – pasture-protective forest belts, pasture safeguarding foresting, shade clumps (green umbrellas). Scientific research conducted on the irrigated area Bogdino experimental station in 1971–2007, showed that the protective forest plantations on irrigated lands possess high energy of growth and the ability to accumulate wood. At regeneration cut the shoots pass into a plantation with a height of 20 m and completely restore the reclamative-protective functions. It has been found that pasture safeguarding foresting contributes to an increase in the yield of pasture vegetation by 2.5–3.0 c per ha (dry eaten mass) and improve its quality. The efficiency of protective forest belts in forest reclamation of farmland in Astrakhan region is proved.

Key words: forest reclamation, grass-growing, pasture, desertification, forestation, microclimate.

Сегодня, по оценке ученых и специалистов, экологическая обстановка в Астраханской области характеризуется как сложная и даже критическая. Она складывается так, что практически все показатели, характеризующие состояние окружающей среды (воздух, вода, земля), имеют прогрессивную динамику к ухудшению. Наибольшую опасность для сельского хозяйства и проживающего населения представляет зона аридизации, занимающая южную часть Астраханской области (коэффициент аридности 0,79–0,82). В области пустынная природная зона занимает 3,42 из 4,41 млн га [1].

Ветровой эрозии подвержено более 2,2 млн га данной зоны. В связи с аридностью климата емкость сухостепных пастбищ снизилась до 2,5–1,2 ц/га поедаемой массы, что отрицательно повлияло на развитие животноводства.

Единственными экологически безопасными способами борьбы с опустыниванием и повышения продуктивности деградированных земель остаются лесомелиорация и травосеяние, самые дешевые и доступные приемы. В засушливых областях Прикаспия лесомелиорация является действенным средством укрепления и стабилизации кормовой базы. Кроме того, защитные лесные насаждения на пастбищах оказывают благоприятное воздействие на крупные ландшафты, смягчают климатическую дискомфортность.

Пески после их закрепления подсевом ценных кормовых кустарников и трав: прутняка, житняка, джужгуна и др. – превращаются в продуктивные пастбища [2]. На закрепленных песках получают не менее 10 ц/га сухой поедаемой массы трав и кустарников – такие пастбища при умеренном выпасе не податливы ветровой эрозии [3].

Специалистами Богдинской опытной станции разработаны и созданы в натуре основные виды лесонасаждений для целей животноводства – пастбищезащитные лесные полосы, мелиоративно-кормовые, зеленые зонты. В Астраханской области осуществлялась лесомелиорация пастбищ, а также угодий с деградированным травостоем путем посадки мелиоративно-кормовых и пастбищезащитных полос из джужгуна, тамарикса, терескена, саксаула, вяза приземистого и др. с подсевом трав.

Практическое значение полосных насаждений из саксаула черного, тамарикса, терескена в условиях Прикаспия многогранно. Снижая скорость ветра, задерживая снег, уменьшая потери влаги на физическое испарение и изменяя в благоприятную сторону микроклимат в межполосном пространстве, системы мелиоративно-кормовых полос способствуют повышению урожайности пастбищной растительности на 2,5–3,0 ц/га (сухой поедаемой массы) и улучшению ее качества [4]. Использование зеленых зонтов повысило привесы овец на 8–12 %, настриг шерсти – на 10–15 %, сохранность деловых ягнят – на 12–14 % [5]. Вес ягнят к отбивке (живой вес) увеличился на 24 % по сравнению с контрольной отарой, содержавшейся в открытой степи без зеленой защиты [6].

Прифермские и прикошарные насаждения для защиты ферм и кошар, выгульных дворов и откормочных площадок, самих животных от заноса песком, снегом способствуют улучшению микроклимата внутри производственных секторов во время сильных пронизывающих ветров в летний и зимний периоды [7, 8].

Выращивание древесно-кустарниковых пород посадкой аборигенных деревьев и кустарников на техногенных песках Астраханского газового комплекса показало высокие результаты по приживаемости и сохранности. Так, к 7–10-му году роста в среднем объект имеет сохранность 70 %. В условиях обширного загрязнения территории создание зеленой зоны имеет большое природоохранное и хозяйственное значение [9].

Для малолесных районов защитные насаждения (ЗЛН) играют неопределимую экологическую и социальную роль. Исследования, проведенные в 1971–2007 гг. на орошаемом участке Богдинской опытной станции, показали хороший рост и продуктивность тополевых полос из евро-американских и других гибридных тополей на незасоленных землях. В 30 лет высота полос доходила до 35 м, запас стволовой древесины составлял в среднем 1300 м³/га, на средnezасоленных песках – до 350 м³/га. Как видим, защитные лесные насаждения на орошаемых землях из евро-американских и других гибридных тополей [10] обладают высокой энергией роста и способностью накапливать древесину. При рубке обновления поросль к 10 годам переходит в насаждение высотой 20 м и полностью восстанавливает мелиоративно-защитные функции. При этом лесные полосы в возрасте 22 лет на орошаемых землях только Харабалинского района могут иметь стволовой древесины не менее 420 тыс. м³, в т. ч. деловой древесины 14,7 тыс. м³, что немаловажно в условиях острого дефицита леса.

Крона у гибридного тополя пирамидально узкая, в диаметре не более 1,5 м и не мешает работать технике у лесополос. 1 км лесополосы потребляет воды на транспирацию за вегетационный сезон до 26–27 тыс. м³, или 0,18 м³/(сут·пог. м). Инженерный дренаж в этих условиях может максимально отвести 0,2 м³/сут, если он исправен. Стоимость 1 км инженерного дренажа 5573 тыс. руб., а биодренажа – 45,5 тыс. руб. (цена на 2017 г.). За счет влияния на ветровой режим микроклимат лесополосы сокращает в защитной зоне расход воды на физическое испарение из почвы до 23–70 мм в сезон, или 230–700 м³/га. Водопотребление культур под защитой лесополос на 1 т сухой массы ниже: у озимой пшеницы – на 134 м³, у ячменя и люцерны – соответственно на 807 и 640 м³. Эффективность полива ДМ «Фрегат», «Волжанка» и др. при скорости ветра 2 м/с – 60 %, при 5 м/с – не более 24 %. Под защитой лесополос снижается скорость ветра на 30–60 %. Это улучшает технические условия полива сельхозкультур. Испарение воды из водной струи при поливе дождеванием уменьшается в 2–3 раза. Под защитой лесополос вынос солей в пахотный горизонт уменьшается на 60–85 кг/га.

Предшествовавший опыт степного лесоразведения указывал на гибель ряда насаждений, созданных даже в более благоприятных условиях. Начиная с 1990-х гг. на опытной станции впервые в жестких условиях полупустыни (уч. «Богдо») и в пойме (уч. «Церковный») на сбитых песчаных землях были произведены посадки хвойной породы – сосны крымской (по опыту Элистинского мехлесхоза). Приживаемость в первый год составила 85 %.

Одновременно с сосной на участках в полупустыне и Волго-Ахтубинской пойме была высажена облепиха, привезенная из Алтайского края. Приживаемость в первый год составила 90 %. В 5–10-летнем возрасте сохранность была не ниже 80 % при высоте соответственно: сосны – 1–6 м, облепихи – 1,0–2,5 м. С 6-летнего возраста часть посадок сосны крымской срезалась на нижнюю мутовку, и через три года получалась «новогодняя елка» 2-го поколения.

Без орошения облепиха в 10-летнем возрасте достигала 2,0–2,5 м, хорошо плодоносила. В 25-летнем возрасте сохранность облепихи составляет 40–50 %, она плодоносит.

В настоящее время из-за незавершенности лесомелиоративного обустройства сельхозугодий в Астраханской области сохраняется сложная агроэкологическая ситуация. Вследствие нерегламентированного аграрного природопользования эти угодья продолжают деградировать. Необходимо использовать положительный опыт Богдинской научно-исследовательской агролесомелиоративной опытной станции.

Федеральный научный центр агроэкологии РАН предлагает инжиниринговые услуги по оценке состояния земель Астраханской области на основе аэрокосмического мониторинга в сочетании с наземными исследованиями на ключевых объектах. В результате будет получена детальная объективная информация, позволяющая составить космофотокарты региона с выделением уровней деградации, границ очагов опустынивания (тематические карты современного состояния), а также форм использования земель с оценкой прогнозной продуктивности пастбищных и других угодий при рекомендуемых Федеральным научным центром агроэкологии РАН технологиях адаптивного лесоаграрного природопользования.

Основное внимание нашей опытной станции в настоящее время сосредоточено на разработке новых технологий лесомелиорации песков и сбитых пастбищ, выведенных из оборота засоленных орошаемых земель, семеноводстве и интродукции новых ценных древесных пород, кустарников и кормовых трав.

Список использованных источников

1 Рекомендации по обогащению лесопастбищ растениями многоцелевого назначения / В. И. Петров [и др.]. – Волгоград, 2002. – 74 с.

2 Манаенков, А. С. Закрепление и облесение песков засушливой зоны / А. С. Манаенков, А. К. Кулик. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2016. – 55 с.

3 Лепеско, В. В. Создание пастбищ на закрепленных песках в условиях Астраханского Заволжья / В. В. Лепеско // Бюллетень ВНИАЛМИ. – Волгоград, 1979. – Вып. 2(30). – С. 58–60.

4 Состояние и перспективы развития защитного лесоразведения в Астраханской области / А. П. Асмачкин [и др.]. – Волгоград, 1990. – 45 с.

5 Касьянов, Ф. М. Защитные насаждения на пастбищах и в местах отдыха животных / Ф. М. Касьянов // Лесные защитные полосы и сельскохозяйственное освоение Астраханской полупустыни: сб. – Волгоград: Нижне-Волж. кн. изд-во, 1966. – С. 147–152.

6 Касьянов, Ф. М. Защитное лесоразведение на пастбищных землях / Ф. М. Касьянов. – М.: Лес. пром-сть, 1972. – 49 с.

7 Касьянов, Ф. М. Рекомендации по улучшению пастбищ в Астраханской области / Ф. М. Касьянов, И. В. Тарахтун. – Астрахань, 1974.

8 Рекомендации по формированию лесопастбищ в аридной зоне / В. И. Петров [и др.]. – Волгоград, 2000. – 42 с.

9 Опыт закрепления разбитых песков в степной зоне / С. М. Кулигин [и др.]. – Астрахань: Астрах. ЦНТИ, 1993. – 65 с.

10 Степанов, А. М. Инструктивные указания по проектированию и выращиванию защитных лесных насаждений на орошаемых и затопляемых землях Астраханской области / А. М. Степанов, Е. М. Сморгин, А. Г. Ломакин. – Астрахань, 1977.

УДК 633.2.03

М. В. Власенко

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

ПРИЕМЫ УЛУЧШЕНИЯ ПАСТБИЩНЫХ УГОДИЙ НА ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ

Кустарники и полукустарники, введенные в культуру, формируют устойчивые искусственные фитоценозы, флористически более насыщенные и отличающиеся более высокой продуктивностью по сравнению с природными фитоценозами. Целью исследования являлось изучение эколого-биологических особенностей кустарников и полукустарников, вводимых в культуру на деградированных землях аридной зоны. Работа основана на со-

временных методах ботанико-географических и эколого-фитоценологических исследований с использованием научно-практических методов восстановления и продления продуктивного долголетия пастбищ. Приведены показатели интенсивности транспирации ракитника днепровского и терескена серого в летний период. Исследованиями выявлено, что у терескена и ракитника происходят суточные изменения интенсивности транспирации с максимальным значением в полуденное время: максимальная интенсивность транспирации терескена серого составила 0,52–0,77 г/(дм²·ч), ракитника днепровского – 0,38–0,39 г/(дм²·ч). В работе представлены результаты исследований по выявлению условий, оказывающих влияние на формирование современного флористического состава и структуру растительного покрова кормовых угодий. Указаны причины угнетения растений, и исследовано влияние выпаса на продуктивность аридных пастбищ. Даны рекомендации по рациональной эксплуатации введенных в культуру насаждений с учетом интересов животноводческой и лесоводческой отраслей.

Ключевые слова: пастбищные угодья, кустарники и полукустарники, продуктивность, видовое разнообразие, интенсивность транспирации.

M. V. Vlasenko

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

METHODS ON IMPROVING RANGELANDS ON DEGRADED LANDS OF ARID AREA

Shrubs and halfshrubs put into cultivation form stable artificial phytocenoses, floristically more saturated and characterized by higher productivity in comparison with natural phytocenoses. The aim of research was to study the ecological and biological features of shrubs and halfshrubs introduced into cultivation on degraded lands of the arid zone. The work is based on modern methods of botanical-geographical and ecological-phytocenological research using scientific and practical methods of restoration and prolongation of pasture productive longevity. The indicators of transpiration intensity of Dnieper broom and Eurotia (Teresken gray) during the summer period are given. Studies have revealed that daily changes in transpiration intensity occur at Dnieper broom and with a maximum value at midday: the maximum transpiration intensity of Eurotia was 0.52–0.77 g/(dm² · h), the Dnieper broom 0.38–0.39 g/(dm² · h). The results of studies on identification of conditions that affect the modern floristic composition formation and the structure of the vegetation cover of forage lands are presented in the article. The causes of plants suppression are indicated, and the influence of grazing on arid pastures productivity is investigated. The recommendations on rational exploitation of plantations introduced into cultivation, taking into account the interests of cattle-breeding and forestry industries are given.

Key words: pasture lands, shrubs and halfshrubs, productivity, species diversity, transpiration intensity.

Введение. За последние полвека видовой состав пастбищной растительности качественно и количественно изменился. Многие ценные кормовые виды вследствие естественно-исторических и антропогенных факторов утратили доминирующее положение или были вытеснены из ценозов, увеличилась доля плохо поедаемых, сорных, ядовитых растений, что снизило качество пастбищного корма и его питательность. Несмотря на снижение в конце прошлого века активности хозяйственной деятельности и уменьшение выпасаемого на пастбищах поголовья, темпы деградиционных процессов мало изменились. Низкая продуктивность кормовых угодий, резкие колебания урожая и питательности пастбищных кормов по сезонам и по годам диктуют необходимость совершенствования технологии повышения продуктивности и устойчивости пастбищ-

ных экосистем. Принципиальным решением проблем восстановления продуктивности пастбищ и залежных земель является введение в культуру экотипически специализированных растений природной флоры, эволюционно приспособленных к существованию в аридных условиях, обладающих развитой средообразующей функцией и пригодных для создания пастбищных агрофитоценозов по схеме зональных типов естественных фитоценологических структур. При этом эффективность лесопастбищезащитных и фитомелиоративных насаждений определяется комплексным подходом не только к подбору ассортимента древесных и кустарниковых пород с высоким экологическим эффектом, к разработке технологий создания насаждений, но и к разработке способов продления их жизнеспособности [1, 2].

Материалы и методы. Целью исследования являлось изучение эколого-биологических особенностей некоторых кустарников и полукустарников, вводимых в культуру на деградированных землях аридной зоны России. Работа основана на современных методах ботанико-географических и эколого-фитоценологических исследований с использованием научно-практических методов восстановления и продления продуктивного долголетия пастбищ [3, 4]. Интенсивность транспирации терескена серого и раkitника днепровского, выращиваемых на опытных делянках лизиметрического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН, определялась в июне 2017 г. методом быстрого взвешивания Л. А. Иванова [5].

Результаты и обсуждение. Кустарники и полукустарники в культуре на деградированных аридных территориях способствуют освоению и использованию новых экологических ниш воздушной и почвенной среды, могут служить радикальным средством и перспективным приемом улучшения пастбищных угодий, так как характеризуются быстрым ростом и развитием, ранним вступлением в репродуктивную фазу и обильным плодоношением. Благодаря глубоко проникающей корневой системе они используют не только влагу атмосферных осадков, но и конденсационную, капиллярную почвенную влагу и грунтовые воды. Их высокая продуктивность в аридных условиях объясняется также и тем, что они экономно расходуют запасы почвенной влаги на транспирацию. Средние за день показатели интенсивности транспирации существенно отличаются у разных видов (рисунок 1). Особенно заметны эти различия в период наиболее благоприятного гидротермического режима, т. е. в начале вегетации (середина апреля – конец мая).

Проведенными исследованиями выявлено, что у терескена и раkitника происходят суточные изменения интенсивности транспирации с максимальным значением в полуденное время. Максимальная интенсивность транспирации терескена серого составила 0,52–0,77 г/(дм²·ч), раkitника днепровского – 0,38–0,39 г/(дм²·ч). Минимальная интенсивность транспирации листьев нижнего яруса терескена установлена в 20 ч (0,21 г/(дм²·ч), листьев верхнего яруса – в 8 ч (0,17 г/(дм²·ч). Минимальная интенсивность транспирации как нижнего, так и верхнего яруса раkitника днепровского выявлена в 20 ч (0,16 г/(дм²·ч).

Исчезновение кустарников и полукустарников из состава фитоценозов обусловлено экологическими взаимоотношениями растений, климатогенным, антропогенным, пирогенным и биогенным факторами [6–8].

Многочисленные ботанико-географические и эколого-фитоценологические исследования, проведенные в аридной зоне, свидетельствуют о том, что на формирование современного флористического состава и структуру растительного покрова влияют почвенно-климатические условия и конкурентные взаимоотношения между растениями, которые складываются в процессе совместного их произрастания и освоения ресурсов среды. Из числа факторов, влияющих на сукцессионные процессы растительности, особо следует выделить вырубку древесно-кустарниковых и полукустарниковых растений, распашку и выпас животных. Большую роль в исчезновении древесно-кустарниковой

растительности играет выпас домашних животных, которые объедают листья, молодые веточки и особенно охотно плоды. Тем самым сокращается возможность семенного возобновления. Однако не все виды растений одинаково реагируют на выпас. Пастьба скота оказывает сравнительно малое влияние на полыни подрода *Seriphidium* [8, 9]. Отрицательное влияние на возобновление и продолжительность жизни фитоценозов оказывают также насекомые и грызуны, которые, поедая бутоны, цветы, плоды, поражают растения. Еще одной причиной гибели и исчезновения древесно-кустарниковой и полукустарниковой растительности являются пожары. Пирогенный фактор вызывает значительные изменения в составе фитоценозов, уничтожая растительный ярус и ограничивая возможность семенного возобновления [8].

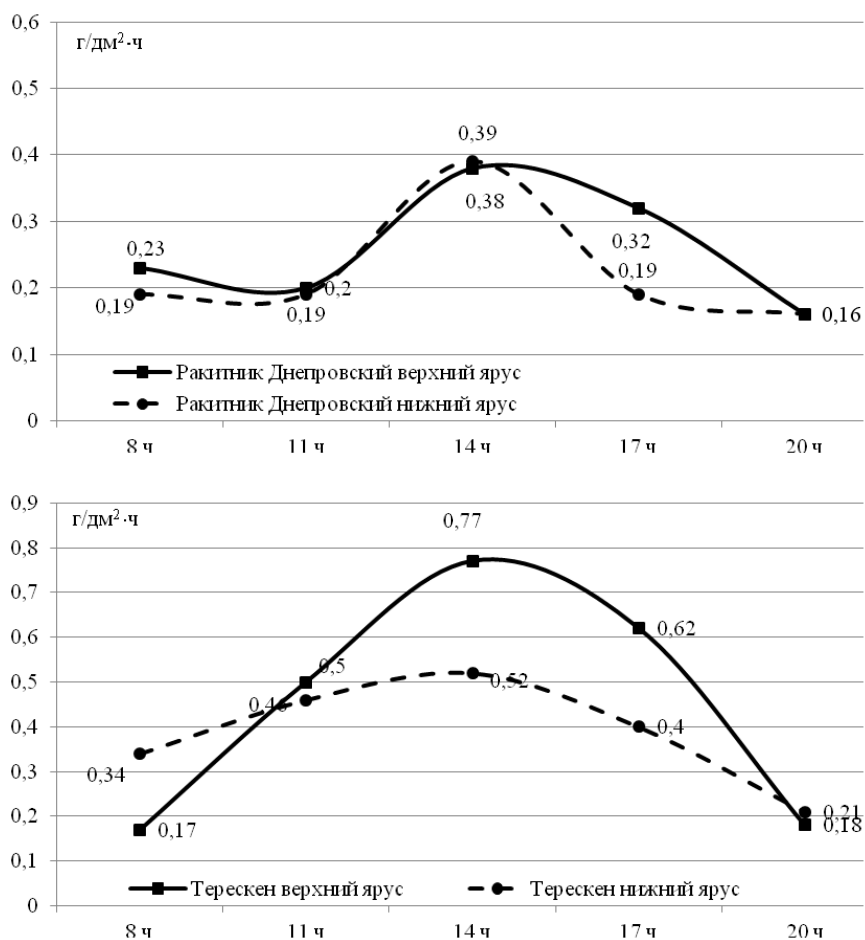


Рисунок 1 – Изменение интенсивности транспирации полукустарников

Ранее не произраставшие в составе естественных фитоценозов, введенные в культуру кустарники и полукустарники дают хорошие всходы, развитие и приживаемость в первый же год жизни. Они формируют относительно устойчивые и флористически более насыщенные искусственные фитоценозы, отличающиеся более высокой продуктивностью по сравнению с природными.

При выборе участка для создания искусственных фитоценозов необходимо учитывать почвенно-климатические и пастбищно-кормовые условия региона, а также биологические условия кустарников и полукустарников, используемых для улучшения кормовых угодий [10].

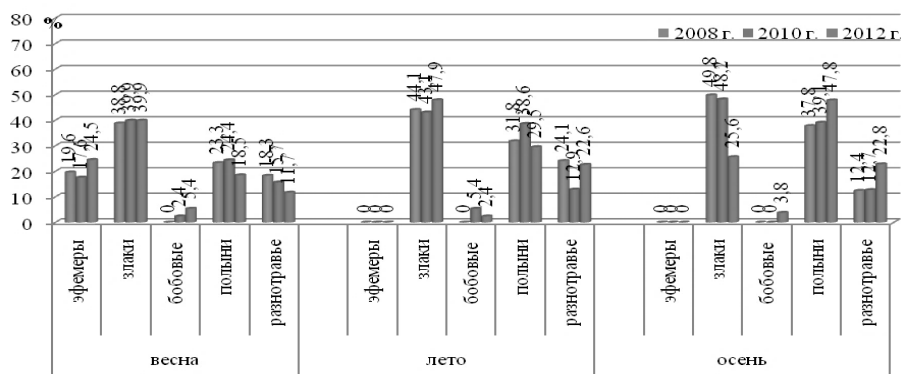
Терескен серый (*Ceratoides papposa* Botsch.) является ценной породой для создания мелиоративно-кормовых насаждений, так как он зимостоек и способен естественно возобновляться. В фазу плодоношения терескеновый корм содержит 18,4 % протеина, 3,7 % жира, в листьях – до 78 мг/% витамина С. Терескен способен выживать

в условиях чрезвычайной сухости и почвенного засоления. Его использование позволяет увеличить кормовую емкость до 2000 к. е./га, а нагрузку довести до 6 голов/га. При этом экологическая обстановка пастбищ как среды обитания животных и аборигенной растительности значительно стабилизируется, сезонность стравливания продлевается. Насаждения позитивно влияют на задержание снега и уменьшение потери влаги на физическое испарение в межполосном пространстве, что приводит к повышению урожайности (рисунок 2). Наибольшая продуктивность в мелиоративно-кормовых полосах отмечается в середине лета, наименее продуктивны насаждения в мае.

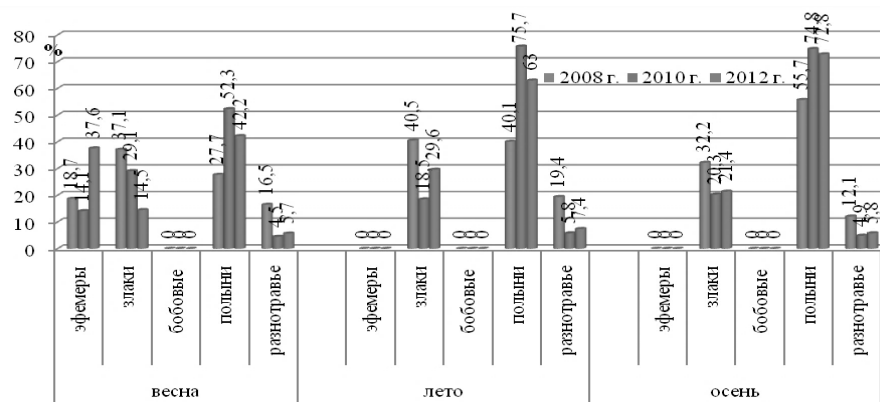


Рисунок 2 – Снегонакопление в мелиоративно-кормовых насаждениях терескена [11]

Оценивая структурный состав фитомассы, можно констатировать, что на немелиорированных пастбищах более ксеротермические условия развития растений приводят к меньшей урожайности и большей доли малоценных видов по сравнению с фитоценозами на мелиорированных участках (рисунок 3) [11].



пастбище под влиянием мелиоративно-кормовых насаждений из терескена серого



естественное пастбище

Рисунок 3 – Влияние терескена на хозяйственно-ботанический состав фитоценозов, расположенных на светло-каштановых почвах в комплексе с солонцами [11]

Белый саксаул (*Haloxylon persicum*) – одно из самых распространенных растений среднезакрепленных бугристых песков. Урожай сухой кормовой массы, поедаемой овцами (ассимиляционных и ростовых веточек), составляет в среднем 1,0–1,5 ц/га высокопитательного пастбищного корма. Верблюды поедают саксаул белый в течение года. Овцы весной и летом его не поедают, осенью и зимой хорошо поедают плоды и опавшие веточки. Верблюды объедают кормовую массу до высоты 2,0–2,5 м, овцы ощипывают кусты до 1,0–1,2 м.

Черный саксаул (*Haloxylon aphyllum*) очень экономно расходует воду на транспирацию. Выделяют следующие возрастные группы у саксаула черного: всходы, молодняк, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные. К молодняку относят растения 3–9 лет. Внешне они отличаются тем, что их высота больше ширины кроны. В этом возрасте саксаул переходит в репродуктивную фазу развития. К средневозрастным относятся саксаулы 10–17 лет, еще не достигшие технической спелости, т. е. возраста, когда их рубят. К группе спелых принадлежит саксаул, достигший наибольшего развития и находящийся в состоянии технической спелости (возраст 20–25 лет). К перестойным относится саксаул, возраст которого превышает 25–30 лет. Кроны их сильно усыхают, разваливаются вследствие разламывания стволов и крупных ветвей. Один из путей получения молодой поросли – омолаживание кустов.

При эксплуатации саксауловых насаждений всегда надо учитывать интересы как животноводства, так и лесоводства. Требуется систематическое прореживание старовозрастных саксаульников с оставлением не более 1200 шт./га при их равномерном распределении и обеспечении естественного возобновления. При прореживании следует оставлять до 20–30 % плодоносящих экземпляров для обеспечения семенного возобновления. При этом часть из них выкорчевывают, а часть срубают на высоте 35–40 см, чтобы получить ветвистую поросль. При рациональной эксплуатации насаждение со временем станет многоярусным и будет иметь высокоствольные и подрастающие деревья, кустарниковую поросль, семенной подрост и хороший травянистый покров. В таком состоянии их и следует поддерживать [7].

Полынь развесистая (*Artemisia diffusa* Krasch. ex Poljak) значительно повышает кормоемкость осенне-зимних пастбищ. В условиях культуры рост и развитие полыни протекает значительно быстрее, чем на целинном пастбище. В природных условиях в первый год жизни, как правило, растения остаются в фазе розетки с хорошо развитой корневой системой. Появившиеся в апреле – середине мая всходы достигают высоты 1,5–2,0 см, к концу первого года жизни высота кустов составляет в среднем 26 см. В конце третьего года надземная часть растений представляет собой сформировавшийся куст высотой 30–35 см. В последующие годы высота растений сильно не меняется, в то же время формируются новые боковые многолетние ветви. После окончания вегетации генеративные побеги усыхают на две трети по длине.

Стравливание всего годового прироста полыни по окончании вегетации увеличивает в следующие годы ее кормовую массу, а 100%-е стравливание однолетних побегов до цветения сильно снижает кормовые запасы. Особенно хорошо на полынь действует умеренный выпас осенью, что способствует увеличению кормовой массы [6].

Заключение. При конструировании пастбищных фитоценозов вместе с определением жизненных форм большое значение имеет знание биолого-фитоценологической совместимости видов в конкретных экологических условиях среды, так как взаимодействие между этими видами обуславливает устойчивость экосистем. Для повышения продуктивности деградированных пастбищ желательно вводить в культуру длительно вегетирующие кустарники и полукустарники с целью создания долголетних высокопродуктивных искусственных фитоценозов. Их высокая продуктивность объясняется эколого-биологическими свойствами: они быстро растут и развиваются, обильно плодоносят, быстро формируют надземную часть, быстро вступают в генеративную фазу,

экономно расходуют запасы почвенной влаги, что во многом определяет возможности введения их в культуру в жестких агроклиматических условиях.

Список использованных источников

1 Турко, С. Ю. Математическое моделирование роста и развития кормовых трав на аридных пастбищах / С. Ю. Турко, М. В. Власенко, А. К. Кулик // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 1(41). – С. 219–228.

2 Власенко, М. В. Продуктивность и сезонная динамика накопления фитомассы на естественных и мелиорированных пастбищах Сарпинской низменности / М. В. Власенко, А. К. Кулик, В. П. Воронина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2(34). – С. 83–88.

3 Методика опытов на сенокосах и пастбищах. В 2 ч. Ч. 1 / под ред. В. Г. Игловикова [и др.]. – М., 1971. – 132 с.

4 Методика опытов на сенокосах и пастбищах. В 2 ч. Ч. 2 / под ред. В. Г. Игловикова [и др.]. – М., 1971. – 176 с.

5 Кулик, А. К. Стационарные исследования на гидрологическом комплексе ФНЦ / А. К. Кулик, М. В. Власенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 6–12.

6 Гаевская, Л. С. Влияние выпаса на пастбища предгорной полупустыни / Л. С. Гаевская, Е. Г. Краснополин. – М., 1957. – 140 с.

7 Бабенко, Д. К. Методические указания по изучению рубок ухода, реконструкции и лесовозобновления в полезачитных лесных полосах степной и полупустынной зон СССР / Д. К. Бабенко. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1978. – 38 с.

8 Нечаева, Н. Т. Искусственные зимние пастбища в предгорных пустынях Средней Азии / Н. Т. Нечаева, С. Я. Приходько; под ред. М. С. Шалыта; АН Туркм. ССР. Ин-т пустынь. Ин-т ботаники. – Ашхабад: Туркменистан, 1966. – 227 с.

9 Коровин, Е. П. Растительность Средней Азии и Южного Казахстана / Е. П. Коровин. – Ташкент: Изд-во АН УзбССР, 1962. – 548 с.

10 Методические указания по мобилизации растительных ресурсов и интродукции аридных кормовых растений / З. Ш. Шамсутдинов [и др.]. – М., 2000. – 82 с.

11 Власенко, М. В. Продуктивность и флористическое разнообразие пастбищ Сарпинской низменности под влиянием фитомелиорации: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Власенко Марина Владимировна. – Волгоград, 2014. – 22 с.