ISSN 2313-2248

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научно-практический журнал

Выпуск № 3(71)/2018

Новочеркасск

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

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

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

Выпуск № 3(71)/2018

Июль – сентябрь 2018 г.

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

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

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

Подписано в печать 28.09.2018. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 27,68. Тираж 500 экз. Заказ № 43

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 26.10.2018
Свободная цена

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

V Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации»

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

НАУКА – ПРАКТИКЕ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

V Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации»

УДК 631.58:631.674

В. Иг. Ольгаренко, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ПРЕЦИЗИОННОГО ОРОШЕНИЯ

Целью работы является анализ современной научно-технической информации по применению элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения. Концепция прецизионного земледелия при реализации приемов орошения обязывает принимать во внимание локальные почвенно-климатические, гидрологические и организационно-хозяйственные условия не только рассматриваемого в общем агроландшафта, но и каждого его сегмента в частности. В статье рассмотрены принципы применения элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения, совокупно обеспечивающих рациональное использование водных, энергетических и других видов ресурсов вместе со снижением интенсивности процессов деградации почв и увеличением урожайности сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: прецизионное орошение, системы точного земледелия, глобальная система позиционирования, программное обеспечение, обзор.

****

V. Ig. Olgarenko, A. N. Babichev, V. A. Monastyrskiy
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

GLOBAL POSITIONING SYSTEM AS AN ELEMENT OF PRECISION FARMING AND PRECISION IRRIGATION

The aim of the work is to analyze the modern scientific and technical information on application of elements of precision farming and precision irrigation technology. The concept of precision farming in application of irrigation methods makes to take into account the local soil-climatic, hydrological and organizational-economic conditions not only of the agrolandscape under consideration, but of each of its segments in particular. The principles of applying the elements of the precision farming and precision irrigation technology, providing in common the rational use of water, energy and other types of resources together with a decrease in the intensity of soil degradation processes and an increase in the yield of agricultural crops are considered.

Keywords: precision irrigation, precision farming systems, global positioning system, software, overview.

Целью работы является анализ современной научно-технической информации по применению элементов технологии точного земледелия и прецизионного орошения. Развитию теории и практики точного земледелия послужила потребность в увеличении эффективности сельскохозяйственного производства путем учета пространственно-временной изменчивости характеристик почвы и растений в пределах каждого сегмента возделываемого поля [1].

На данный момент в ряде иностранных государств, таких как Израиль, страны ЕС, США и др., ведутся работы по созданию и внедрению технических средств и технологий для дифференцированного и локального внесения минеральных и органических удобрений, пестицидов на фоне орошения в соответствии с нормативными режимами их использования. Изучаются возможности новейшей технологии, которая предусматривает применение средств автоматического контроля и нормирования уровня минеральных веществ, необходимого состава пестицидов и норм орошения для сельскохозяйственных угодий в условиях всего агроландшафта [2, 3].

Технология дифференцированного внесения удобрений и пестицидов на фоне орошения предусматривает широкое применение программных средств – геоинформационных систем (ГСП) и данных дистанционного зондирования. Такие геоинформационные системы рассматриваются как инструмент, необходимый для нормативного применения удобрений и других ресурсов непосредственно для каждого сегмента орошаемого поля [4, 5].

Преимущество новой технологии состоит в том, что она позволяет землепользователям вести сельскохозяйственное производство на принципах экологического баланса, ориентированное на экономию природных и хозяйственных ресурсов, получать запрограммированную урожайность вместе с обеспечением защиты окружающей среды от лишних антропогенных нагрузок и загрязнений [6, 7].

Для системы использования удобрений и пестицидов на фоне орошения, базирующейся на учете характеристик каждого микросегмента возделываемого поля, необходимы актуальные показатели динамики урожайности, состава питательных элементов, типа и влажности почвы вместе с информацией о популяции вредителей и точная их привязка к конкретному агроландшафту [8–10].

Фактическая карта поля с учетом показателей плодородия почвы составляется на основе системы эмпирического отбора данных в настоящем масштабе и во времени, контролируемой глобальной системой позиционирования. Карта динамики урожайности и состояния поля оформляется с учетом характеристики динамики урожайности на каждом микросегменте поля в период уборки, а также операционной фитодиагностики состояния растении [11].

Стоит отметить, что дифференцированное внесение удобрений и пестицидов, нормирование режимов орошения с учетом их доз на каждом микросегменте поля, выбор эффективных сортов возделываемых культур, нормирование дозы высева и сроков посева способствуют лучшей приспособляемости семян к состоянию орошаемого поля [12].

В условиях интенсивного и постоянно развивающегося сельского хозяйства с конца 1980-х гг. тестируются и внедряются системы спутникового мониторинга посевов. Основополагающей базой для этих систем наблюдения является спутниковая навигация, оснащенная сотовой и (или) радиосвязью, а также специальной вычислительной техникой, приборами и цифровыми картами. Ставится задача управления дифференциацией используемых ресурсов в пределах поля по каждому микросегменту, его неоднородности должны быть четко идентифицированы. Проводимые мероприятия и их характеристики – нормы высева, поливов, дозы внесения удобрений и пестицидов – должны изменяться с учетом выявленной неоднородности [13–17].

При этом значимым технологическим элементом точного земледелия является установление координатного месторасположения объекта путем использования глобальной системы позиционирования и ввода конкретной информации в бортовую систему. Глобальная система позиционирования дает возможность неограниченному количеству объектов в режиме реального времени и с высокой точностью определять в различных местах планеты свое расположение, скорость движения, состав и характеристики. С помощью глобальной системы позиционирования возможно устанавливать конкретное местоположение объекта на сельскохозяйственном поле, определять параметры, характеризующие неоднородность почвенных и других условий, а на основе полученной информации реализовывать дифференцированные агротехнические мероприятия для всего рассматриваемого агроландшафта [18, 19].

Одной из самых распространенных систем глобального позиционирования является североамериканская система NAVSTAR. Этот комплекс был разработан в 70-е гг. XX в. Министерством обороны США в рамках военной программы с финансовыми затратами в размере 10 млрд долл. США, а начиная с 1992 г. система NAVSTAR применяется для гражданских служб.

Система NAVSTAR базируется на применении комплекса 24 геостационарных космических аппаратов, которые находятся на шести различных орбитах на высоте 20182 км и совершают полный оборот вокруг Земли за 12 ч. Расположение орбит спутников дает возможность в любом месте и любое время гарантированно принимать сигнал как минимум от четырех спутников. Сигналами спутников считаются, с одной стороны, так называемые эфемериды (альманахи), с другой стороны – точная привязка ко времени, в которое они были отправлены. Эфемериды содержат данные о навигации спутника на орбите Земли, а точные атомные часы на спутниках замеряют время, когда он занимал конкретное местоположение. С помощью этих данных ГСП-приемник вычисляет, где находится спутник. Для гражданских целей сигналы спутников возможно использовать бесплатно для любого места земного шара, точно определяя собственное местоположение на двух полосах частот в диапазоне 1,56 ГГц.

В Российской Федерации разработали военную систему ГЛОНАСС (Глобальная навигационная система Советского Союза), которую сегодня можно также применять для гражданских целей. В настоящее время в рамках глобальной системы ГЛОНАСС возрастает количество спутников, используемых на орбите Земли, и реализуется поэтапная техническая модернизация. На сегодняшний день отраслевые фирмы и организации предлагают техническое обеспечение, которое может принимать сигналы как от системы NAVSTAR, так и от системы ГЛОНАСС.

На территории Европы разработана и используется дифференциальная система позиционирования. Для территорий, подлежащих контролю, кроме мобильного аппарата выдается стационарная база с координатами, измеряемыми с сантиметровой точностью, на которой устанавливается ГСП-приемник – аналогичный тому, которым оснащается движущийся аппарат, однако с требованием более высокого класса аппаратуры на базе мощного компьютера. Так, на координаты мобильного аппарата поступает и фиксируется информация от спутника с достаточно высокими ошибками (до 100 м), что означает необходимость корректировки, проводимой с помощью координат стационарной базы. Путем математического сопоставления определяемых координат контрольных точек с их объективными значениями определяется систематическая погрешность, которая может использоваться и по отношению к подвижной сельскохозяйственной технике. Совокупность устройств, располагающихся в контрольных точках, формирует так называемую дифференциальную систему (станцию), которая дает возможность обеспечивать получение корректирующих данных для установления местоположения множественного количества подвижных объектов со среднеквадратической погрешностью до 3,0 м, в радиусе до 50,0 км.

Известен ряд коммерческих систем ГСП, различных по числу учитываемых каналов, точности определения координатных данных и стоимости оборудования.

Страны Европейского сообщества развивают в настоящее время новую навигационную систему – Galileo, которая работает с 2013 г. Планировалось, что система Galileo будет сформирована как минимум из 27 спутников с потенциалом добавления еще трех, чтобы использоваться по всему миру. Данная система обеспечит определение местонахождения объекта с точностью до 1 м, а со вспомогательными радиостанциями – до 10 см.

Суммируя, отмечаем, что глобальная система позиционирования состоит из трех ключевых элементов:

- космических летательных аппаратов, которые в режиме онлайн одновременно рассылают сигналы о времени, собственные данные о своем местоположении и другую дополнительную информацию для пользователей;

- ГСП-приемников с неограниченным возможным числом в системе. Эти ГСП-приемники функционируют пассивно, т. е. принимают информационные сигналы космических летательных аппаратов, сопоставляя время получения сигнала со временем, когда он был послан. ГСП-приемники оборудованы высококачественными кварцевыми часами. После установления ГСП-приемником конкретного времени он может определить, сколько прошло с момента получения сигналов от спутников. Эту функцию условно именуют «измерением продолжительности». Сигналы ГСП перемещаются со скоростью света. Если установлено, сколько времени требовалось сигналу для преодолевания дистанции от спутника до ГСП-приемника, то можно конкретно установить расстояние от спутника до ГСП-приемника соответственно. Если сигналы приходят одновременно как минимум от трех спутников, приемник может установить свое местоположение с помощью метода трилатерации.

На практике для трехмерной геолокации требуется получение сигнала от четырех спутников. Четвертый спутник необходим для калибровки бортовых часов ГСП-приемника. Для гарантии точности трехмерной геолокации объектов до ±10 м требуется, чтобы часы космических аппаратов не отличались по времени более чем на 30 нс. Это необходимо даже при суточной корректировке, что обеспечивается наличием на борту космических аппаратов сверхточных атомных часов. Использование четвертого спутника обеспечивает применение в приемниках более простых часов при сохранении высокой точности геолокации объектов, что значительно удешевляет конструкцию и делает ее более доступной для фактического внедрения;

- контрольных станций, обеспечивающих функционирование общей системы. С их помощью устанавливают местоположение космических аппаратов и сообщают им эти данные. Кроме того, на космические аппараты передается дополнительная информация об орбите, функционировании бортовых часов, корректировке передачи информационных сигналов и другая сопутствующая информация [20].

Следует также отметить, что в глобальной системе позиционирования отдельно исходящие сигналы могут трактоваться неточно или ошибочно. Под ошибкой ГСП-сигнала имеют в виду несоответствие фактически требуемого времени передвижения расчетному времени ГСП-сигнала на пути от космического спутника к ГСП-приемнику. Отклонение и точность системы устанавливаются также и по отклонению часов космических аппаратов и изменениям их орбит. Кроме того, отмечается геометрическое снижение точности, которое находится в зависимости от местоположения спутников. Так, если два космических аппарата находятся на значительном расстоянии друг от друга, то точка пересечения их сигналов является более узкой, чем при их сближении, что уменьшает точность системы.

Большее влияние на точность системы геопозиционирования оказывают метеорологические условия, преимущественно в ионосфере, которая фильтрует исходящее электромагнитное излучение и может значительно деформировать сигналы аналогично преломлению световой волны при движении из воздушной среды в водную. Амплитуда смещения сигналов спутников зависит силы электромагнитного излучения, с которой они проникают в ионосферу. Отклонения сигналов определяет время их движения от спутника к приемнику, что приводит к неточностям при определении геопозиционирования. В свою очередь атмосферные явления в тропосфере, например изменение погодной обстановки, почти не влияют на точность геопозиционирования [21].

В некоторой степени причиной ошибок и уменьшения точности могут также являться и отклонения из-за затенения сигналов одного или нескольких космических аппаратов высокими деревьями или высотными сооружениями и зданиями, а также возвышенностями элементов рельефа [22].

Существует ряд программ для визуализации и обработки полученных данных. Программный комплекс ENVI [23] поддерживает набор инструментария для осуществления полного цикла математической обработки данных от ортотрансформирования и пространственной связи получаемого изображения до приема требуемой информации и ее интеграции с данными геоинформационных систем (ГИС). ERDAS Imagine [24] предназначен для работы с растровыми базами данных. Он позволяет анализировать, обрабатывать и выводить на экран монитора с последующей подготовкой для дальнейшей обработки в программных комплексах ГИС и системах автоматизированного проектирования (САПР) картографические изображения различной сложности. Программный комплекс также может функционировать в режиме инструментального средства, позволяющего определять множественные преобразования растровых картографических изображений и в то же время имеющего возможность обеспечивать их географической информацией. Пакет прикладных программ математического моделирования Matrix Laboratory [25] предназначен для решения технических задач, в т. ч. и ДЗЗ. Имеет возможность формировать базы данных, выполнять статистическую обработку и анализ, выводить графические изображения и редактировать их.

Российский рынок в области приборов и программ для систем прецизионного земледелия представлен следующими образцами.

Комплекс программ PHOTOMOD [26] применяется для фотограмметрической обработки данных ДЗЗ, не уступает зарубежным аналогам. Выходными продуктами PHOTOMOD являются пространственная фототриангуляция, цифровые модели рельефа и местности, двумерные и трехмерные векторы, ортофотопланы, 3D-модели, цифровые карты. Фотограмметрические продукты используются в таких прикладных областях, как картография, геодезия, археология, строительство, кадастр, в лесном хозяйстве, изучении небесных тел, биологических исследованиях. Манипулируя значениями растровых данных и их географической позицией, можно обнаружить особенности местности, которые в нормальных условиях никогда не просматриваются, определять географические координаты этих объектов, которые при других условиях представляли бы из себя исключительно объекты графики.

В заключение стоит отметить наличие широкой межотраслевой динамики в разработке и внедрении как систем точного земледелия и прецизионного орошения, так и их отдельных элементов, что обеспечивает интенсивное и устойчивое совершенствование данного подхода в сельском хозяйстве.

Список использованных источников

1 Рунов, Б. А. Основы технологии точного земледелия. Зарубежный и отечественный опыт / Б. А. Рунов, Н. В. Пильникова. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: АФИ, 2012. – 120 с.

2 Ольгаренко, В. И. Методология организации экологического мониторинга мелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. Иг. Ольгаренко // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2015. – Т. 1. – С. 8–14.

3 Ольгаренко, И. В. Методология функционирования экологически сбалансированных оросительных систем / И. В. Ольгаренко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6(27). – С. 181–187.

4 Ольгаренко, В. И. К вопросу о модели определения эвапотранспирации с учетом изменчивости гидрометеорологических факторов / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольга-

ренко, В. Иг. Ольгаренко // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2017. – № 4. – С. 9–14.

5 Ольгаренко, В. Иг. Нормирование режимов орошения картофеля в условиях поймы Нижнего Дона / В. Иг. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы междунар. науч. конф. – М.: Изд-во ВНИИА, 2016. – Т. 1. – С. 362–366.

6 Щедрин, В. Н. Влияние регулярного и циклического видов орошения на почвенное плодородие и продуктивность чернозема обыкновенного Азовской оросительной системы / В. Н. Щедрин // Почвоведение. – 2016. – № 2. – С. 249–256.

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

8 Бабичев, А. Н. Технологические подходы к нормированию орошения и аппарат прогнозирования водопотребления картофеля в условиях поймы Нижнего Дона / А. Н. Бабичев, В. И. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 2(22). – С. 148–165. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec416-field6.pdf.

9 Ольгаренко, В. И. Экосистемные подходы к функционированию оросительных систем / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, В. Иг. Ольгаренко // В мире научных открытий. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 115–130.

10 Ольгаренко, И. В. Оценка качества планирования и реализации водопользования на оросительных системах / И. В. Ольгаренко // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 4. – С. 35–37.

11 Электронная карта урожайности как информационная основа прецизионного внесения удобрений / В. П. Якушев, В. В. Якушев, Л. Н. Якушева, В. М. Буре // Земледелие. – 2009. – № 3. – С. 16–19.

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

13 Состояние и перспективы развития методов спутникового картографирования растительного покрова России / А. В. Кашницкий [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса [Электронный ресурс]. – 2015. – Т. 12, № 5. – С. 203–221. – Режим доступа: http:jr.rse.cosmos.ru/defa-ult.aspx?id=59.

14 Лупян, Е. А. Состояние и перспективы развития Российской системы спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель / Е. А. Лупян, С. А. Барталев, Н. Н. Мельник // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса [Электронный ресурс]: тез. докл. Третьей всерос. конф., 14–17 нояб. 2005 г. – 2005. – С. 9.

15 Савин, И. Ю. Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв в России / И. Ю. Савин, М. С. Симакова // Проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 5. – С. 104–115.

16 Кирвякова, А. В. Использование дистанционных съемок для изучения и оценки свойств почв / А. В. Кирвякова // Аграрная наука. – 2006. – № 6. – С. 15–17.

17 Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга / Е. А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса [Электронный ресурс]. – 2014. – Т. 11, № 3. – С. 215–232. – Режим доступа: http:jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=1332.

18 Васильев, С. М. Мониторинг орошаемого агроландшафта с учетом калибровки данных дистанционного зондирования в рамках геоинформационных технологий /

С. М. Васильев, Л. А. Митяева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2017. – № 131. – С. 216–231. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/23.pdf.

19 Щедрин, В. Н. Математические методы прогнозирования в мелиорации / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. М. Игнатьев // Современное состояние и приоритетные направления развития аграрной экономики в условиях импортозамещения: материалы междунар. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 17 февр. 2016 г. – Персиановский: Донской ГАУ, 2016. – С. 151–158.

20 Точное сельское хозяйство: учеб. пособие / Д. Шпар [и др.]; под ред. Д. Шпара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. – СПб.: Павел, 2009. – 397 с.

21 Савин, И. Ю. Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв в России / И. Ю. Савин, М. С. Симакова // Проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 5. – С. 104–115.

22 Буре, В. М. Методология и программно-математический инструментарий информационного обеспечения точного земледелия: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.13.18 / Буре Владимир Мансурович. – СПб., 2009. – 49 с.

23 HARRIS geospatial solutions [Electronic resource]. – Mode of access: http:harrisgeospatial.com/SoftwareTechnology/ENVISARscape.aspx, 2018.

24 HEXAGON. Geospatial [Electronic resource]. – Mode of access: https:hexagongeospatial.com, 2018.

25 MathWorks [Electronic resource]. – Mode of access: https:mathworks.com/products.html?s_tid=gn_ps, 2018.

26 Ракурс. Программные решения в области геоинформатики, цифровой фотограмметрии и дистанционного зондирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:racurs.ru/index.php, 2018.

УДК 626.81:631.6

А. С. Капустян, А. Н. Рыжаков
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ВОДНОГО РЕЕСТРА И МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Целью исследования является совершенствование технологии подготовки и представления сведений для внесения в государственный водный реестр и проведения мониторинга водных объектов. Анализ представленных эксплуатирующими организациями сведений показал необходимость оптимизации процесса сбора и представления сведений по водным объектам. Представляется перспективным использование при сборе сведений геоинформационных баз данных и создание на их основе геоинформационных систем или дополнений к уже существующим.

Ключевые слова: технология, представление сведений, государственный водный реестр, мониторинг водных объектов, база данных, геоинформационные системы, геоинформационные базы данных.

****

A. S. Kapustyan, A. N. Ryzhakov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE PROSPECTS OF GEOINFORMATIONAL TECHNOLOGIES APPLICATION IN MANAGEMENT OF THE STATE WATER REGISTER AND MONITORING OF WATER BODIES

The aim of the study is to improve the technology of data preparation and representation for entry into the state water register and monitoring of water bodies. The analysis of data provided by the operating organizations showed the need to optimize the process of data acquisition on water bodies and its presentation. It seems promising to use geoinformation databases for data acquisition and to create geoinformation systems or an addition to the existing ones on their basis.

Key words: technology, data representation, state water register, water bodies monitoring, database, geoinformation systems, geo-information databases.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 10 апреля 2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» и Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2007 г. № 253 «О порядке ведения государственного водного реестра» Министерство сельского хозяйства Российской Федерации ежегодно должно представлять в Федеральное агентство водных ресурсов сведения о результатах наблюдений за водными объектами, находящимися в ведении Минсельхоза России, и данные о государственных мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях на водных объектах для внесения их в государственный водный реестр (ГВР) и проведения государственного мониторинга водных объектов (ГМВО).

Формы и порядок представления сведений, полученных в результате наблюдения за водными объектами, определены приказами Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 30 ноября 2007 г. № 316 и от 6 февраля 2008 г. № 30 [1, 2].

С 2016 г. сбор и обработку отчетных данных по ГМВО и ГВР, полученных от эксплуатационных организаций департамента мелиорации Минсельхоза России, в рамках государственного задания выполняет ФГБНУ «РосНИИПМ».

Анализ представленных эксплуатационными организациями сведений показал, что при подготовке сведений нет единого подхода к заполнению форм и таблиц в связи с отсутствием нормативно-методического обеспечения данного вида работ, а также в связи с недостаточной квалификацией специалистов, работающих в эксплуатационных организациях. Сравнение данных в формах отчетности ГМВО за годы ведения этой работы показало наличие значительных расхождений у ряда эксплуатационных организаций по количеству ВХС и гидротехнических сооружений. Также возникает вопрос о целесообразности включения сведений по некоторым объектам в виде самостоятельных единиц учета в системе АИС ГМВО [3].

Одним из основных способов решения данной проблемы является более глубокое внедрение цифровых технологий, что в полной мере соответствует как минимум двум пунктам Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [4]:

- ускорение технологического развития Российской Федерации, увеличение количества организаций, осуществляющих технологические инновации, до 50 процентов от их общего числа;
- обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере.

Таким образом, поставленные в сфере цифровой экономики амбициозные задачи по созданию устойчивой и безопасной IT-инфраструктуры с высокоскоростной передачей, обработкой и хранением больших объемов информации могут найти применение и в мелиоративном секторе сельского хозяйства.

Из-за больших объемов данных ГМВО и ГВР и, как следствие, сложности их сбора и анализа возникают задачи, требующие первоочередного решения при работе с эксплуатирующими организациями департамента мелиорации. Перспективным направлением является совершенствование технологии сбора сведений о мелиоративных водных объектах для нужд сельского хозяйства, а также о государственных мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях на водных объектах на основе геоинформационных баз данных с созданием на их основе геоинформационных систем (ГИС) или дополнений к уже существующим.

Примером такой ГИС является «Геоинформационная система Ростовской области», разработанная по заказу областного министерства информационных технологий и связи. Обладателями информации, размещаемой в ГИС, являются органы исполнительной власти и местного самоуправления Ростовской области, которыми обеспечивается актуальность, достоверность и корректность информации. Состав информационных ресурсов определен Постановлением Министерства информационных технологий и связи Ростовской области от 21 сентября 2017 г. № 4, Приказом Министерства информационных технологий и связи Ростовской области от 10 мая 2017 г. № 69 [5] (рисунок 1).

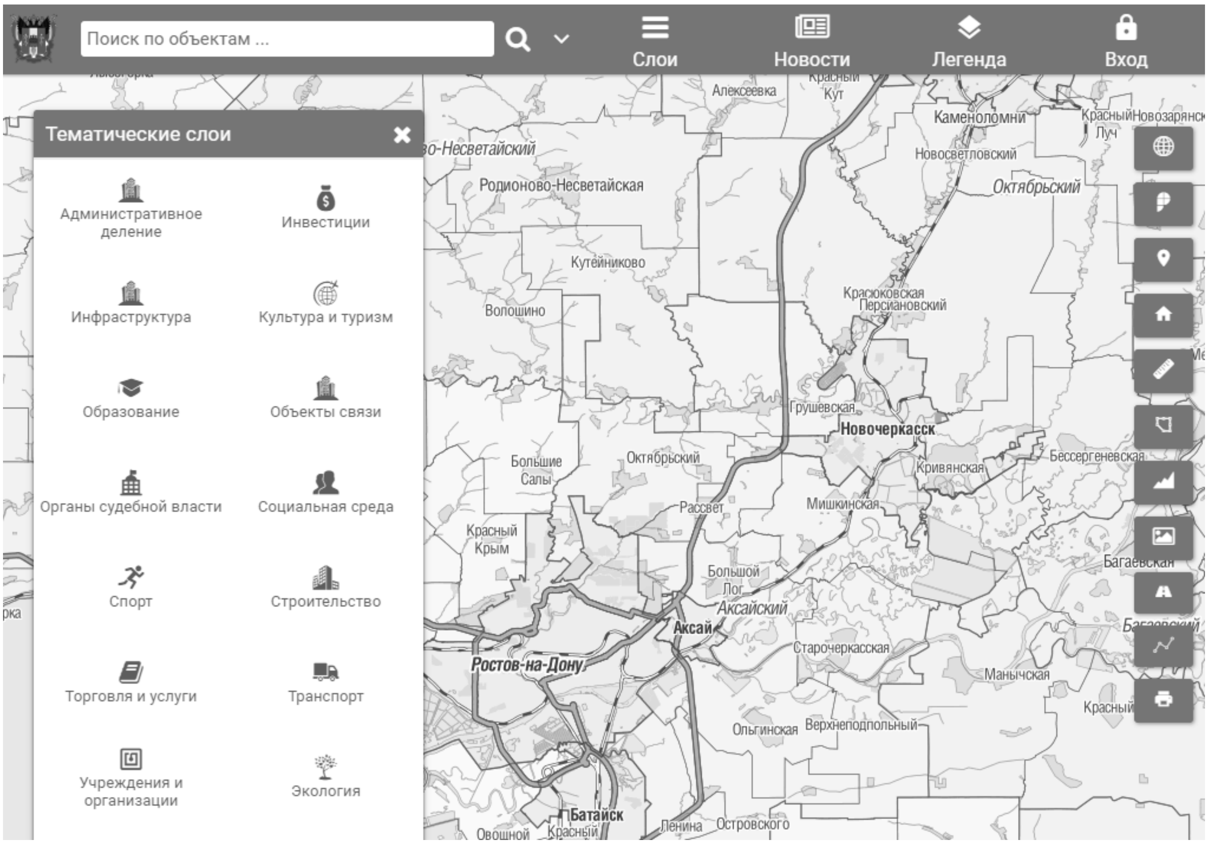


Рисунок 1 – Электронный ресурс «Геоинформационная система Ростовской области» (https:gisro.donland.ru (© Министерство информационных технологий и связи Ростовской области))

К характерным особенностям, которыми обладает ГИС, можно отнести в первую очередь развитую аналитику, работу с огромными массивами сведений, наличие специальных инструментов для обработки данных пространственного характера. Основным преимуществом геоинформационных технологий являются легкость для восприятия пользователя и возможность интегрировать информацию, накопленную различными источниками, т. е. создавать единый массив для коллективного использования в разных сферах деятельности: сельском хозяйстве, землеустройстве, экологии, муниципальном управлении, экономике и многих других, что практически невозможно осуществлять сейчас, при использовании баз данных на основе электронных таблиц.

Разработанная на основе геоинформационных технологий и баз данных автоматизированная система сможет обеспечить ведение государственного учета мелиоративных систем и отдельно расположенных сооружений в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации посредством формирования паспортов, ведомостей, реестров в формате, утвержденном как на федеральном уровне, так и на уровне того или иного субъекта РФ.

Система может быть реализована в формате с хранением данных в закрытой (локальной) и открытой (через сеть интернет) базах данных, в т. ч. с возможностью использования с доступом в виде географического сервиса (приложения).

Данная ГИС сможет обеспечить географическую привязку мелиоративных систем и их элементов (каналов, гидротехнических сооружений и пр.) на электронной карте, эффективный ввод и хранение соответствующей им атрибутивной информации (ввод, обеспечиваемый интуитивно понятным пользователю интерфейсом с автоматизированным введением информации, исключающим ввод некорректных данных).

Функциональность системы позволит осуществить картографический и содержательный анализ, статистические расчеты характеристик мелиоративных систем, ежегодный учет происходящих в них изменений с отображением их на картах для информационного обеспечения и принятия решений по планированию работ в области мелиорации.

Ускорить внедрение геоинформационных технологий сможет создание единой, базирующейся на общей методологической основе информационной системы мелиоративной отрасли, обеспечивающей ведение государственного учета, обследований, инвентаризации, кадастра мелиоративных систем, реализующей эффективное информационное обеспечение задач мелиорации на различном иерархическом уровне управления. Применение автоматизированной системы государственного учета обеспечит принятие более обоснованных решений на основе более полного и достоверного информационного обеспечения и, соответственно, увеличение экономической эффективности планируемых мелиоративных мероприятий за счет исключения повторного сбора сведений и их ручного ввода, возможности многократного повторного использования данных, обеспечения их сохранности, формирования графической документации с географической привязкой осуществляемых работ.

Необходимо отметить, что подобная технология, разработанная РУП «Институт мелиорации» (г. Минск), прошла производственные испытания и уже внедрена в Речицком ПМС Гомельской области в Республике Беларусь. Это позволило увеличить экономическую эффективность мелиоративных мероприятий на 15–25 % [6].

Однако, несмотря на рассмотренные перспективы внедрение ГИС в мелиоративном секторе сельского хозяйства, имеются и определенные сложности [7]:

- высокая стоимость оборудования и программного обеспечения при недостаточном финансировании отрасли;
- недостаток специалистов по геоинформационным технологиям в эксплуатационных организациях;
- пробелы в нормативно-правовой базе;
- зависимость конечного результата от точности и четкости данных, перенесенных в ГИС;
- большой объем данных, подлежащий оцифровке и географической привязке.

Несмотря на определенные организационно-технические сложности, ГИС в настоящее время – это современная интегрированная система, отвечающая требованиям информатизации общества, применяемая во всех отраслях экономики. Внедрение ГИС в сбор сведений, полученных в результате наблюдения за водными объектами, на порядок улучшит информационное обеспечение, повысит качество комплексного и целевого использования водных объектов и их охраны, планирования и в конечном итоге разработки мероприятий по предотвращению негативного воздействия вод.

Список использованных источников

1 Об утверждении порядка представления и состава сведений, представляемых Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, для внесения в государственный водный реестр: Приказ М-ва природ. ресурсов Рос. Федерации от 30 нояб. 2007 г. № 316 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

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

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

4 О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Рос. Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:kremlin.ru/acts/bank/43027, 2018.

5 Геоинформационная система Ростовской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:gisro.donland.ru, 2018.

6 Информационные технологии в мелиорации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:niimel.by/index.php/offers/monitoringamodelig/494-gisuchet-system, 2018.

7 Проблемы создания ГИС в ТЭК России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:minenergo.gov.ru, 2018.

УДК 626.81/.84.001.63:65.012.123

А. В. Шевченко, В. В. Слабунов, О. В. Воеводин
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СППР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Цель исследования – выбор способа и метода проектирования для реализации системы поддержки принятия решения (СППР) при проектировании мелиоративных объектов. Объекты исследования – системы поддержки принятия решений при проектировании мелиоративных объектов. Предмет исследования – способы и методы проектирования для реализации СППР при проектировании мелиоративных объектов. Результат исследования – рекомендации по выбору способов и методов проектирования для реализации СППР при проектировании мелиоративных объектов.

Ключевые слова: метод, способ, проектирование, система поддержки принятия решения, проект, документация.

****

A. V. Shevchenko, V. V. Slabunov, O. V. Voevodin
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

DESIGN APPROACHES AND METHODS FOR DECISION SUPPORT SYSTEM IMPLEMENTION IN LAND RECLAMATION OBJECTS DESIGN

The purpose of the research is to choose the method and design procedure for the implementation of a decision support system (DSS) in the design of land reclamation facilties. The *objects of the research are decision support systems for land reclamation objects design. The subject of the research is the design approaches and methods for DSS implementation in land reclamation objects design. The result of the research is recommendations on the choice of design approaches and methods for DSS implementation in land reclamation objects design.*

Key words: approach, method, design, decision support system, project, documentation.

На любых этапах создания мелиоративных объектов проектирование представляет собой непрерывную фиксацию информации в виде различных изображений. Наиболее распространенными являются следующие способы проектирования [1–3]:

- графический;
- модельно-макетный;
- макетно-графический;
- с применением ЭВМ (электронно-вычислительной техники).

Графический способ – это изображение пространства и предметов на плоскости по правилам начертательной геометрии. Аналитический процесс изучения задания на проектирование, поиск идей будущих объектов и подробная техническая разработка проекта для передачи на строительство сопровождаются графическим изложением информации, образов, технических решений и деталей с помощью эскизов, чертежей, графиков, таблиц, схем и т. д. [4].

Графический способ отвечает условиям проектирования всех частей сооружения, не требует высокотехнологичного материального обеспечения, доступен широкому кругу специалистов и может допускать изображения различных величин [5].

Вышеуказанные преимущества явились причиной того, что он стал интернациональным языком инженерии и науки [6, 7].

Сущность модельно-макетного способа проектирования состоит в компоновке объемов, объемных моделей и частей проектируемого объекта непосредственно в пространстве, по-другому – объемно-пространственное моделирование в трехмерном пространстве [8].

В настоящее время данный метод довольно часто и успешно применяется в проектной практике, имея ряд положительных особенностей. Активно применяется при проектировании технологической части объектов строительства, насыщенных сложным оборудованием и коммуникациями, и генеральных планов.

Модельно-макетный метод проектирования предоставляет возможность опробовать в кратчайшие сроки большое число всевозможных комбинаций проектных решений и выбрать наилучшее для поставленной задачи [9, 10].

Данный способ наиболее удобен при решении архитектурных задач проектирования промышленных сооружений.

Макетно-графический метод включает в себя художественно-графическое мастерство и творческое композиционное мышление с масштабным моделированием объемов и элементов зданий и сооружений в пространстве [11, 12].

Таким образом, макетно-графический метод, сочетающий в себе художественно-графические приемы и пространственное моделирование, является универсальным инструментом при архитектурном проектировании.

В данный момент мы являемся очевидцами уверенного становления и развития нового способа проектирования, базирующегося на законах математики, математической логики, средств электротехники, оргтехники, – способа с использованием ЭВМ [13].

В основном вопросы проектирования связаны с большим количеством информации, которая видоизменяется и адаптируется к техническим требованиям будущего проекта. Возникает острая необходимость увеличения скорости проектных работ, повышения качества проектных решений, соответствующих возможностям и ресурсам строительства и удовлетворяющих увеличивающиеся и меняющиеся нужды социума.

Основными задачами искомого способа являются формирование проектов на базе оптимального синтеза общественных, эстетических, технических, научных, строительных, натурных условий в их развитии и быстрое получение проектных решений, единственно целесообразных из многочисленных возможных вариантов. Из всех отмеченных нами ступеней творческого процесса проектирования наиболее трудной в отношении использования кибернетической техники и пока на данном этапе практически неосуществимой является вторая ступень – поиск идеи, период эмоционального, философского акта, основанного на художественно-эстетической и инженерно-научной интуиции. Следовательно, моделированию и автоматизации на современных электронных машинах бесспорно могут подлежать процессы накопления, систематизации и переработки информации, аналитического сравнения вариантов с запрограммированными параметрами и выбора оптимального решения, его графического и технического закрепления и размножения проектной документации [14, 15].

Порядок создания проекта идентичен существующей практике, но в отличие от других способов подразумевает частичное взаимодействие проектировщика и ЭВМ. Таким образом, использование электронно-вычислительной техники в проектировании мелиоративных объектов является ускоряющим инструментом, а сам процесс проектирования в этом случае будет состоять из специфически-творческих операций, соответствующих функциям (знаниям) человека принимать решения, и специфически-машинных операций, подлежащих программированию и являющихся подготовкой основ для принятия творческих решений с последующим их отображением [16].

Временные, технологические, организационные и технические ограничения имеют ключевое значение при принятии решения в процессе проектирования. Вследствие этого следует проводить соответствие между стоимостью принятия наилучших конструктивных и технологических решений и объемом затраченного времени и усилий для сравнения с подходящими решениями, которые будут адекватно соответствовать требованиям заказчика [17].

Одним из определяющих факторов системного подхода к проектированию, в частности мелиоративных объектов, является выявление значимости условий для принятия решения о выборе метода и способа проектирования, т. е. определение оптимального варианта из имеющихся. В данном случае решение достигается либо при применении эвристического подхода, основанного на использовании практического опыта в проектировании, либо при применении методов многокритериальной оптимизации. Вследствие этого для практической реализации системного подхода используют системы поддержки принятия решения (СППР), основанные на применении различных методов оптимизации задач проектирования. Из них основными являются следующие.

Метод анализа иерархий (МАИ) базируется на парных сравнениях альтернативных вариантов по различным критериям с использованием девятибалльной шкалы и последующем ранжировании набора альтернатив по всем критериям и целям [18]. Взаимоотношения между критериями учитываются путем построения иерархии критериев и применения парных сравнений для выявления важности критериев и подкритериев.

Метод прост, дает удовлетворительное соответствие интуитивным представлениям.

Способ хорошо подходит для решения динамических задач принятия решений на предпроектных стадиях, при этом возникают новые возможности для оценки последствий принимаемых конструктивных и технологических решений мелиоративных объектов.

Метод Парето позволяет производить многокритериальную оптимизацию для решения задач экономики. В случаях, когда не возникает необходимости учитывать «вес» критериев, а число параметров, по которым производится оценка, относительно невелико, этот метод может оказаться достаточно полезным. Он удобен в реализации и требует небольшого количества информации от эксперта или лица, принимающего решения (ЛПР). Использование скалярного критерия и методов свертки позволяет линейно упорядочивать сравниваемые объекты, т. е. ранжировать их [19].

Метод кусочно-линейной аппроксимации позволяет линейно упорядочить введенные (вводимые) данные для проектирования объекта, но при этом требует от ЛПР предоставления дополнительно большого объема информации. Однако при решении поставленных перед проектировщиком задач численными методами, а также при необходимости принимать решение в чрезвычайных ситуациях данный метод является эффективным. В свою очередь, данный метод позволяет группировать объекты по совокупности количественных и качественных характеристик [20].

Методы теории полезности (МТП). Основой теории полезности является научный труд ученых Р. Кинни и Х. Райфа «Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения» [21]. Так, основным выводом данных ученых является тот факт, что различные варианты решений могут оцениваться по многим критериям. Одним из недостатков данного метода служит то, что весовые коэффициенты устанавливаются непосредственно ЛПР, что не может исключить принятие ошибочного решения. Однако данный метод позволяет в короткое время найти оптимальное решение, так, в частности, может быть реализован в СППР для выбора из базы данных конструктивных элементов мелиоративной системы и тем самым сократить время проектирования.

Методы ELECTRE. В конце 1960-х гг. был предложен подход к попарному сравнению многокритериальных альтернатив, не основанный на теории полезности. В отличие от MAUT оценка каждой альтернативы является не абсолютной, а относительной. ELECTEK – конструктивный подход к выработке решений, в рамках которого методы, модели и концепции рассматриваются как вспомогательные средства практического анализа ситуации. Достоинством методов ELECTRE является этапность выявления предпочтений ЛПР в процессе назначения уровней согласия и несогласия и изучения ядер. Трудности при применении методов ELECTRE связаны с назначением ЛПР весов. В ряде случаев при выделении ядер могут возникать циклы [22].

Методы теории проспектов (ТП) учитывают три поведенческих эффекта [23]:

- эффект определенности – склонность придавать больший вес детерминированным исходам;
- эффект отражения – тенденция к измерению предпочтений при переходе от выигрышей к потерям;
- эффект изоляции – тенденция к упрощению выбора путем исключения общих компонент вариантов решения.

Недостатком методов ТП является то, что данный метод не снимает все проблемы, возникающие при изучении поведения людей в задачах выбора решения.

Эвристические методы – это методы взвешенной суммы оценок критериев [24].

Каждой альтернативе дается числовая оценка по каждому из критериев. Критериям приписываются количественные веса, характеризующие их сравнительную важность. Веса умножаются на критериальные оценки, полученные числа суммируются – так определяется ценность альтернативы. Далее выбирается альтернатива с наибольшим показателем ценности.

Преимуществом эвристических методов является простота и удобство, а недостатком – их научная необоснованность.

Вывод. Анализ существующих методов принятия решений показывает, что каждой группе методов присущи свои достоинства и недостатки и выбор конкретного метода зависит от поставленной задачи. В процессе разработки СППР при проектировании мелиоративных объектов необходимо выбрать методику для определения метода проектирования в каждом конкретном случае (для каждой модели), когда соприкасаются разные критерии и очень высока роль субъективных оценок. При этом определение важности критериев производится, как правило, одним человеком, который сам расставляет приоритеты и оперирует данными из своего опыта.

Список использованных источников

1 Денисова, А. П. Методы оптимального проектирования строительных конструкций: учеб. пособие / А. П. Денисова, С. А. Ращепкина. – М.: АСВ, 2012. – 216 с.

2 Компьютерные методы проектирования (КМП) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:studfiles.net/preview/1925839/, 2018.

3 Бадьин, Г. М. Современные технологии строительства и реконструкции зданий / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 288 с.

4 Колотилов, В. В. Техническое моделирование и конструирование: учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / В. В. Колотилов, В. А. Рузаков, Ю. И. Иванов; под общ. ред. В. В. Колотилова. – М.: Просвещение, 1983. – 255 с.

5 Коцюба, И. Ю. Основы проектирования информационных систем: учеб. пособие / И. Ю. Коцюба, А. В. Чунаев, А. Н. Шиков. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 206 с.

6 Гвоздева, Т. В. Проектирование информационных систем / Т. В. Гвоздева, Б. А. Баллод. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009. – 512 с.

7 Янчукович, С. Г. Строительное проектирование зданий и сооружений: учеб. пособие / С. Г. Янчукович. – СПб.: ГТУРП, 2013. – 114 с.

8 Белоконев, Е. Н. Основы архитектуры зданий и сооружений: учеб. пособие / Е. Н. Белоконев. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 256 с.

9 Мардасов, Н. Д. Макетный метод проектирования в гражданском строительстве / Н. Д. Мардасов, Е. И. Пугач. – М.: Стройиздат, 1980. – 256 с.

10 Калмыкова, Н. В. Макетирование / Н. В. Калмыкова, И. А. Максимова. – М.: Архитектура-С, 2004. – 94 с.

11 Стасюк, Н. Г. Макетирование: учеб. пособие / Н. Г. Стасюк, Т. Ю. Киселева, И. Г. Орлова. – М.: Архитектура-С, 2010. – 96 с.

12 Калинин, Ю. М. Архитектурное макетирование: учеб. пособие / Ю. М. Калинин, М. В. Перькова. – Белгород: БГТУ, 2010. – 117 с.

13 Музипов, Х. Н. Автоматизированное проектирование средств и систем управления / Х. Н. Музипов, О. Н. Кузяков. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 168 с.

14 Косяк, В. Л. Математическое моделирование и САПР технологических процессов: лекции в 2 ч. / В. Л. Косяк. – Новополоцк: ПГУ. – Ч. 1. – 249 с. – Ч. 2. – 129 с.

15 Системы автоматизированного проектирования технологических процессов: учеб. пособие / А. В. Петухов [и др.]; М-во образования Респ. Беларусь. – Гомель: ГГТУ, 2011. – 144 с.

16 Автоматизированное проектирование средств и систем управления: курс лекций / Е. Е. Носкова [и др.]. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 266 с.

17 Тильпе, Т. Л. Основы архитектуры / Т. Л. Тильпе. – М.: Высш. шк., 2002. – 159 с.

18 Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати: [пер. с англ.]. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

19 Мастаченко, В. Н. Методы выбора вариантных проектных решений зданий и сооружений: учеб. пособие / В. Н. Мастаченко. – М.: МИИТ, 1994. – 52 с.

20 Струченков, В. И. Методы оптимизации в прикладных задачах / В. И. Струченков. – М.: Солон-Пресс, 2009. – 320 с.

21 Мину, М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы / М. Мину. – М.: Наука, 1990. – 488 с.

22 Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях / В. А. Геловани [и др.]. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.

23 Измаилов, А. Ф. Численные методы оптимизации / А. Ф. Измаилов, М. В. Солодов. – М.: Физматлит, 2005. – 304 с.

24 Попов, А. Л. Системы поддержки принятия решений: учеб.-метод. пособие / А. Л. Попов. – Екатеринбург: Уральский гос. ун-т, 2008. – 80 с.

УДК 626.82:626.86

А. Л. Кожанов
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

Цель исследования – разработка методологии выбора конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия (осушительно-увлажнительной, осушительно-оросительной). Объект исследования – процесс выбора элементов и конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия. В процессе исследований на основе методологии функционального моделирования IDEF0 в зависимости от природно-климатических, гидрогеологических, почвенных, геоморфологических условий, а также качества и объема дренажного стока, структуры посевных площадей, наличия водоисточника либо использования для увлажнения осушаемого массива только вод дренажного стока, расположения водоисточника относительно осушаемого массива, использования насосной станции, способа увлажнения (орошения) и других различных факторов разработана модель выбора элементов и конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия.

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

****

A. L. Kozhanov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

METHODOLOGY OF STRUCTURAL CHOICE OF DOUBLE ACTING DRAINAGE SYSTEM

The purpose of the research is to develop a methodology for choosing a structural solution for a double-acting irrigation system (drainage-moistening, drainage-irrigation). The object of the research is the process of elements selection and structural choice of the complex irrigation system. The model of elements choice and structural solutions of the double-acting irrigation system was worked out in the process of research based on the methodology of functional modeling IDEF0 depending on natural and climatic, hydrogeological, soil, geomorphological conditions, as well as the quality and volume of drainage flow, the structure of cultivated areas, the availability of a water source or the use of only drainage water for irrigating the drained land, location of the water source relative to the drained land, use of the pumping station, the method of moistening (irrigation) and other various factors.

Key words: drainage, moistening, irrigation, drainage-moistening system, drainage-irrigation system, model, structural solution.

Введение. Значительная часть земель сельхозназначения России характеризуется превышением количества атмосферных осадков над испарением, что в свою очередь влияет на расстановку приоритетов при выборе водных мелиораций в сторону осушения. К тому же на данных территориях во время вегетации сельскохозяйственных культур наблюдаются засушливые периоды, что указывает на необходимость двустороннего регулирования водного режима [1–3].

Одним из перспективных направлений является применение осушительных систем двустороннего действия, обеспечивающих осушение корнеобитаемого слоя почвы во влажные и увлажнение в засушливые периоды [4]. Известные работы не компенсируют дефицита научной информации, касающейся процесса выбора конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия для различных условий. Необходимость устранения имеющего место дефицита и предопределяет актуальность данной темы.

Материалы и методы. Источниками научного исследования являлись известные разработки по составу элементов осушительной и оросительной систем, конструктивных решений осушительных систем двустороннего действия, методов осушения и увлажнения (орошения) В. Н. Щедрина, С. М. Васильева, Б. С. Маслова, В. С. Станкевича, В. Я. Черненка, А. И. Голованова, И. В. Минаева, В. Ф. Шебеко, В. И. Ольгаренко, П. И. Пыленка, В. В. Бородычева, В. Ф. Карловского, П. А. Волковского, Л. С. Шкабарова и др. В ходе разработки модели выбора конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия использовали методологию функционального моделирования IDEF0, которая применяется для создания функциональных моделей, отображающих структуру и функции системы, а также потоки информации и материальные объекты, связывающие эти функции.

Результаты и обсуждение. Выбор блоков конструктивных элементов, входящих в состав осушительных систем двустороннего действия, и их компоновка зависят от природно-климатических, гидрогеологических, почвенных, геоморфологических условий, качества и объема дренажного стока, структуры посевных площадей, наличия водоисточника либо использования для увлажнения осушаемого массива только вод дренажного стока, расположения водоисточника относительно осушаемого массива, использования насосной станции, способа увлажнения (орошения) и других различных факторов.

Методология выбора конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия заключается в определении расположения мелиорируемого объекта, оценке водно-земельных условий мелиорируемого объекта, а также оценке объема и качества дренажного и поверхностного стока с осушаемой части системы и оценке водоисточника. Далее при разработке и выборе конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия необходимо определиться с методами и способами осушения, руководствуясь действующими указаниями по проектированию осушительных систем с учетом минимального использования энергетических ресурсов (насосных станций и пр.). На основе анализа природных условий, с учетом принятых способов осушения и сельскохозяйственного использования мелиорируемых земель производят отбор площадей, пригодных для увлажнения различными способами (подпочвенным увлажнением, дождеванием, капельным орошением, внутрипочвенным и т. д.). При увлажнении дождеванием выбирают тип дождевальных машин или установок. Далее производят выбор вариантов конструктивных решений осушительной и увлажнительной частей системы для принятых способов осушения и увлажнения с учетом природных особенностей, производят расчеты для определения основных параметров (например, при увлажнении дождеванием производят расчеты параметров открытых осушительно-увлажнительных каналов в увязке с шириной захвата принятой дождевальной машины, определяют расстояние между дренами и их диаметры из условия обеспечения осушения и увлажнения почвогрунтов на участках, увлажняемых инфильтрацией из трубчатой сети, устанавливают расстояние между открытыми каналами систематической сети и их глубину, обеспечивающие осушение и увлажнение). При известных параметрах регулирующей сети и характеристике водоприемника и водоисточника проектируют сеть в плане (осушительно-увлажнительную, осушительную и оросительную) в увязке с проектируемым использованием земель, с границами севооборотных участков и полей севооборотов, с местоположением водоисточников, водоприемников или водоприемников-водоисточников, линий электропередач, дорог и др. На основании расчетов определяются поливные и оросительные нормы, и по полученным данным устанавливают общую потребность в воде и расходы воды на увлажнение, составляют графики водопотребления и сопоставляют их с расчетными гидрографами водоисточников. Составляют проект сети в вертикальной плоскости и подбирают поперечные сечения каналов и диаметры трубчатой сети на основе гидравлических расчетов и данных о физико-механических свойствах грунтов. Компонуют все элементы системы в соответствии с принятым вариантом конструктивного решения. При этом обеспечивается окончательная взаимная увязка параметров системы по конструктивным решениям отдельных элементов (блоков), оценивается экономическая и энергетическая эффективность организации и использования осушительной системы двустороннего действия.

Для удобства выбора основных блоков элементов осушительной системы двустороннего действия и ее конструктивного решения на основе методологии IDEF0 разработана модель выбора конструкции осушительной системы двустороннего действия (рисунок 1).

Процесс выбора состава элементов и конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия условно разделен на шесть этапов:

1 Выбор объекта мелиорирования.

2 Оценка объема и качества дренажного стока.

3 Определение наличия водных ресурсов.

4 Определение способа осушения.

5 Определение способа увлажнения (орошения).

6 Компоновка конструктивного решения системы.

На первом этапе «Выбор объекта мелиорирования» обосновывается необходимость устройства первоочередных объектов мелиорирования с двусторонним регулированием водного режима почв. Входными данными для начала этапа выбора являются наличие необходимых производственных ресурсов, уровень сельскохозяйственного производства и его специализация. Ограничительной информацией выступает биологическая продуктивность осушаемых земель при оптимальном водном режиме, принимается в зависимости от относительной прибавки урожая. Предписывающей информацией выступает гидрометеорологическая потребность в осушении и увлажнении (орошении) рассматриваемого массива мелиорирования, устанавливаемая по рассчитанному дефициту водного баланса. Вспомогательным материальным потоком для выполнения настоящего этапа служат материалы инженерных изысканий, а также специализированное программное обеспечение. Выходной описательной информацией и материальным объектом будут являться структура посевных площадей, характеристики мелиорируемого участка, место расположения объекта, используемые для дальнейших расчетов, а также здесь определяются с типом системы: осушительно-увлажнительная или осушительно-оросительная – в зависимости от природно-климатических, гидрогеологических, почвенных, геоморфологических условий.

На втором этапе «Оценка объема и качества дренажного стока» входными данными является описательная информация первого этапа, в частности расположение мелиорируемого массива, а также выходная информация первого этапа. Ограничительной информацией выступает тип водного питания. Предписывающей информацией выступают нормы и показатели качества воды, определяемые соответствующими нормативными документами, а также здесь осуществляется выбор типа использования данного стока: пригоден для дальнейшего использования на увлажнение или нет, в чистом виде или с применением очистки либо с необходимостью разбавления пресной водой. Выходом данного этапа надлежит считать объем стока и полноту его использования, возможную площадь орошаемого массива водами стока, степень замкнутости водооборота и способ аккумулирования дренажного стока.

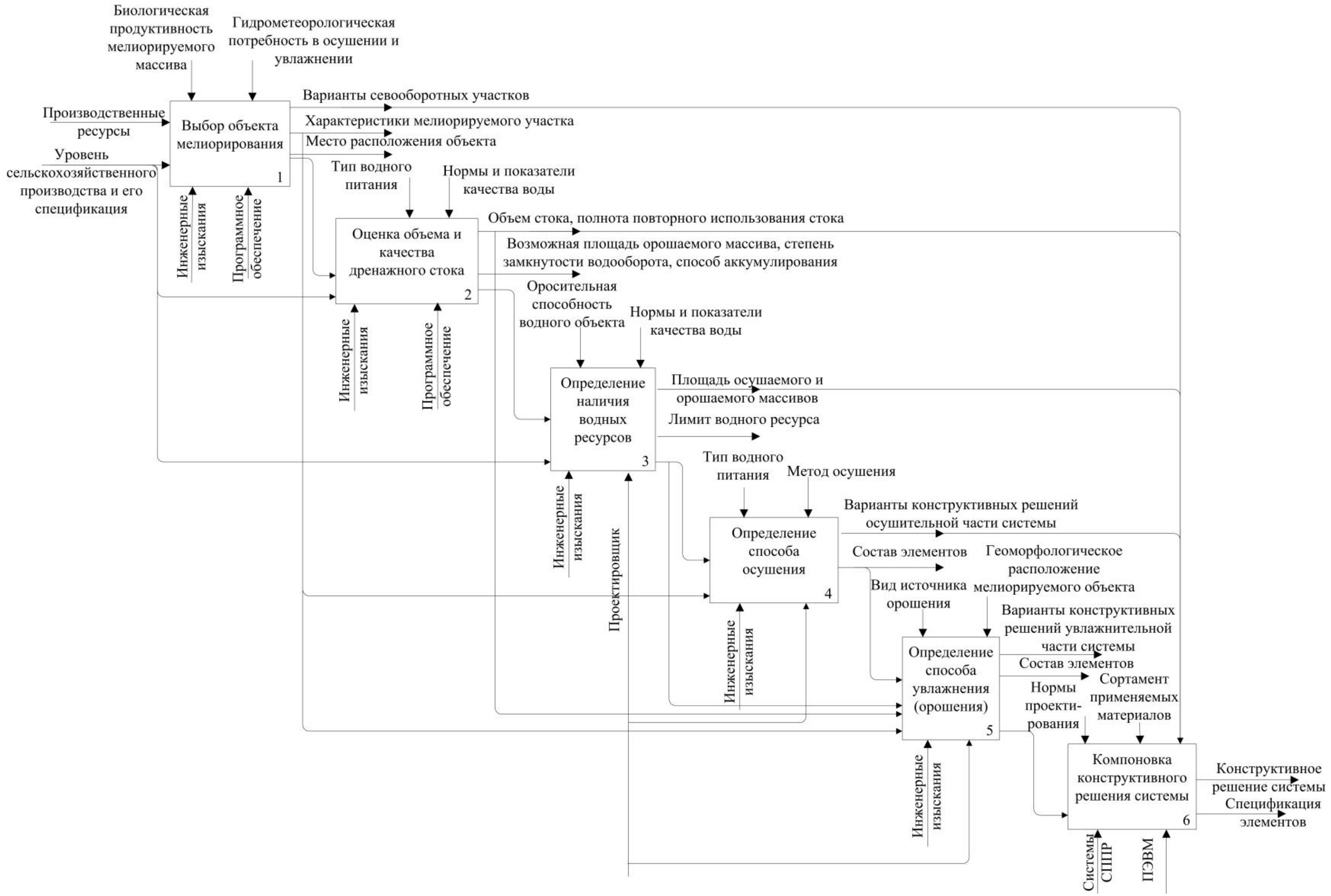


Рисунок 1 – Модель выбора элементов и конструктивного решения осушительной системы двустороннего действия

Третий этап «Определение наличия водных ресурсов» заключается в определении наличия водных ресурсов рек, озер, водохранилищ и др., пригодных для использования при увлажнении мелиорируемого объекта в полном объеме или для добавления к накопленному дренажному стоку на основе входящей информации первого этапа и описательной информации второго этапа. Ограничивающими факторами являются наличие и оросительная способность водного объекта (водоисточника), месторасположение водного объекта, а также нормы и показатели качества воды. Выходными материальными данными служат площадь осушаемого и орошаемого массивов, лимит водного ресурса.

Четвертый этап «Определение способа осушения» описываемой модели заключается в выборе способа осушения, определяемого на основе выходной информации первого этапа, ограничивающих факторов (тип водного питания) и предписывающей информации в виде применяемого метода осушения. Выходными материальными данными служат варианты конструктивных решений осушительной части системы (закрытая, открытая, комбинированная) и состав элементов: открытые собиратели (каналы), искусственные ложбины, закрытые собиратели (закрытые каналы или дрены), открытые осушители, дрены (закрытые осушители), ловчие каналы, нагорные каналы, дамбы и др. Для наименьшего энергопотребления предпочтение должно отдаваться конструктивным решениям с самотечными способами осушения либо с наименьшим количеством высокоэнергопотребляющих элементов, таких как насосные станции, применяемых для машинного водоотвода дренажного стока с осушаемой части системы.

Пятый этап «Определение способа увлажнения (орошения)» заключается в выборе способа увлажнения (орошения), определяемого на основе выходной информации первого, второго и третьего этапов. Ограничивающими факторами данного этапа является вид источника орошения (река, озеро, водохранилище, накопительные емкости, бассейн регулирования, подземные воды и др.) и способа водоподачи: самотечный, напорный, самотечно-напорный. Предписывающей информацией является геоморфологическое расположение мелиорируемого объекта. Выходными материальными данными служат варианты конструктивных решений увлажнительной части системы (открытая, закрытая, комбинированная) и состав элементов увлажнительной части системы для различных способов увлажнения (подпочвенное, внутрипочвенное, дождевание, капельное и т. д.). Здесь также необходимо отдавать предпочтение конструктивным решениям с самотечными способами водозабора и водоподачи, использующим потенциальную энергию водного потока, либо с наименьшим количеством высокоэнергопотребляющих элементов, таких как насосные станции, применяемых для перекачки и распределения воды для целей орошения (увлажнения) и создания необходимого напора в закрытой оросительной сети для работы дождевальных машин данного типа.

При выборе конструктивных решений осушительной и увлажнительной частей системы в зависимости от условий применения необходимо пользоваться классификацией, приведенной на рисунке 2.

Шестой этап «Компоновка конструктивного решения системы» непосредственно включает компоновку блоков конструктивных элементов системы в целом с учетом входящих информационных и материальных данных, полученных на этапах 1–5, ограничений, накладываемых действующими нормами и правилами проектирования, а также имеющимся сортаментом и номенклатурой применяемых материалов и оборудования. Выходом данного этапа приведенной модели является материальный объект, представленный в виде конструкции унифицированной осушительной системы двустороннего действия, а также спецификация элементов системы, которые могут использоваться для последующего проектирования.

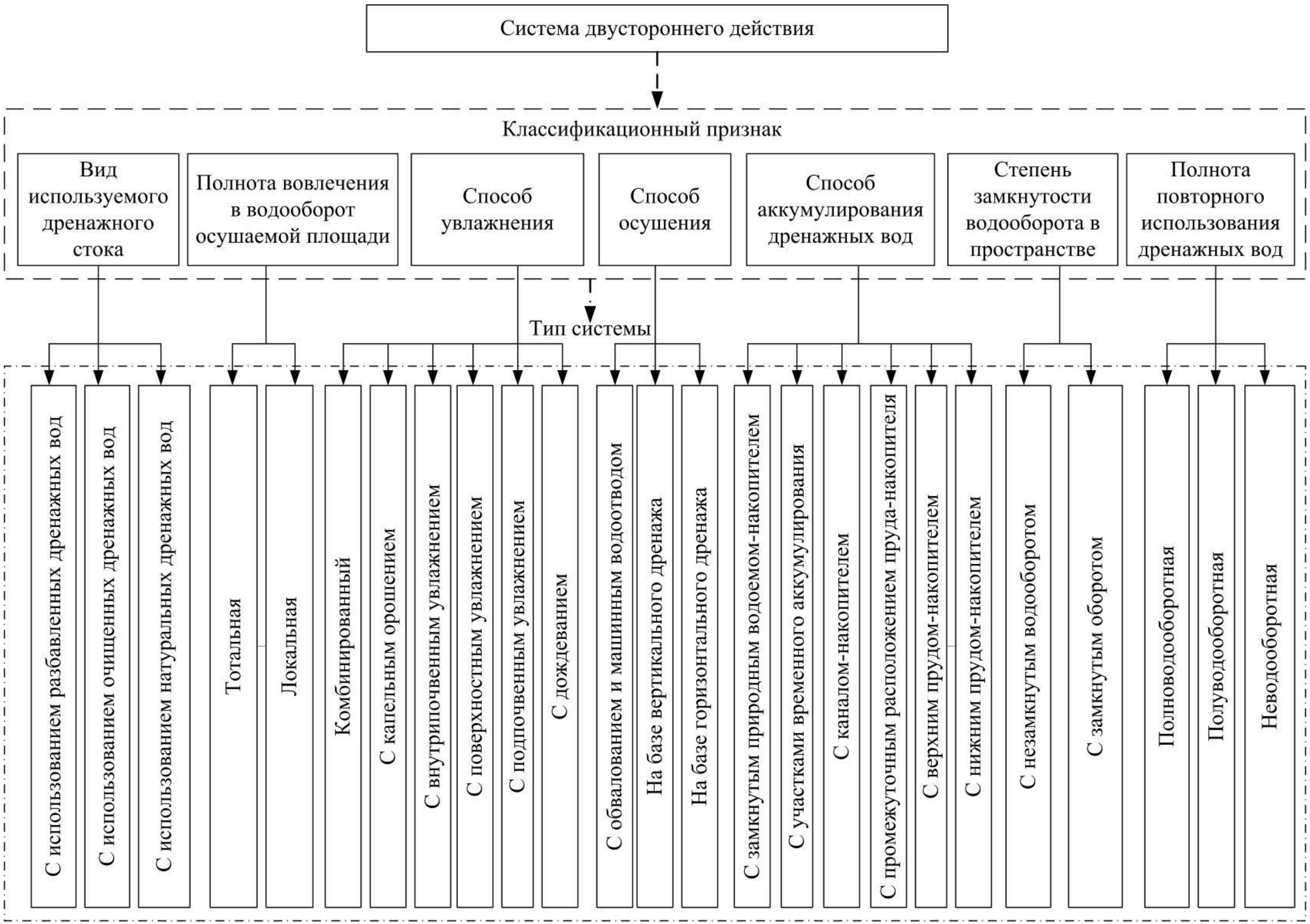


Рисунок 2 – Типы осушительных систем двустороннего действия по классификационным признакам

Выводы. Разработанная модель позволяет потребителю выбрать подходящее для конкретных условий конструктивное решение осушительной системы двустороннего действия, подобрать входящие в нее элементы и обеспечивает поэтапное проведение процесса организации выбора и построения конструктивного решения системы специалистами при проектировании. В целях более полного описания выбора конструктивного решения (прототипа) и компоновки всех функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия необходима дальнейшая декомпозиция данной модели для блока «Компоновка конструктивного решения системы».

Список использованных источников

1 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография: в 2 ч. / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.

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

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

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

УДК 631.674.6

С. М. Васильев, Ю. Ю. Глущенко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛАГОПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ КАПЕЛЬНОГО И ВНУТРИПОЧВЕННОГО ОРОШЕНИЯ

Целью исследования является обзор существующих теоретических подходов к изучению влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении. В данной работе рассматриваются процессы математического моделирования влагопереноса в почве при капельном и внутрипочвенном орошении в форме дифференциальных уравнений. Установлено, что из рассмотренных математических моделей более эффективна модель влагопереноса при капельном орошении, так как она наиболее точно описывает параметры распределения влаги в почве. Математическая модель распределения влаги в почве при внутрипочвенном орошении характеризуется коэффициентом диффузии влаги, что описывает процесс влагопереноса только в зоне полного насыщения.

Ключевые слова: капельное орошение, внутрипочвенное орошение, математическая модель влагопереноса, контуры увлажнения, коэффициент диффузии, коэффициенты влагопроводности.

****

S. M. Vasilyev, Yu. Yu. Glushchenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THEORETICAL APPROACHES IN THE STUDY OF MOISTURETRANSFER IN DRIP AND SUBSOIL IRRIGATION SYSTEMS

The aim of the research is to review the existing theoretical approaches to the study of moisture transfer during drip and subsoil irrigation. In this paper the processes of mathematical modeling of moisture transfer in soil during drip and subsoil irrigation in the form of differential equations are considered. It is found that the model of moisture transfer during drip irrigation is more effective among the considered mathematical models since it most accurately describes the moisture distribution parameters in soil. The mathematical model of moisture distribution in soil with subsoil irrigation is characterized by the moisture diffusion coefficient which describes the process of moisture transfer only in the zone of complete saturation.

Key words: drip irrigation, subsoil irrigation, mathematical model of moisture transfer, moisture contours, diffusion coefficient, moisture conductivity coefficients.

Введение. В настоящее время существует острая необходимость модернизации инженерно-мелиоративных систем на нижних иерархических уровнях с целью повышения эффективности использования орошаемых земель в условиях аридного климата. Наиболее прогрессивными способами орошения, позволяющими получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур, является капельное и внутрипочвенное орошение. Однако возможности внутрипочвенного орошения реализуются далеко не полностью из-за недостаточной изученности вопросов, связанных с технологией строительства, режимом работы систем внутрипочвенного орошения, долговечностью и надежностью конструкций увлажнителей, в отличие от капельного орошения [1–3].

Основой теоретических исследований систем капельного и внутрипочвенного орошения служит математическое моделирование процессов влагопереноса в почве. Для рассматриваемых способов полива применяются различные подходы к математическому моделированию, отражающие физические особенности процесса влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении. Математическое описание процессов влагопереноса позволит уточнить инженерную методику расчета поливных и оросительных норм с целью сбережения природных ресурсов, параметры контуров увлажнения и передвижение воды в почве при орошении [4, 5].

Результаты исследований процессов влагопереноса в почве при капельном и внутрипочвенном орошении приведены в работах И. И. Азарьевой, А. Д. Ахмедова, В. В. Бородычева, С. М. Васильева, Е. А. Ветренко, М. К. Гаджиева, Д. П. Гостищева, М. Г. Журбы, Д. О. Завадского, Д. Л. Обумахова, А. С. Овчинникова, А. М. Олейника, В. И. Торбовского, М. Ю. Храброва, В. Н. Шкуры, Б. Б. Шумакова, О. Е. Ясониди и др.

Целью исследования является анализ математических моделей процесса влагопереноса в почве при капельном и внутрипочвенном орошении и распределения влаги в почве с образованием контуров увлажнения.

Материалы и методы. Использовались распространенные математические модели влагопереноса в системах капельного и внутрипочвенного орошения в форме дифференциальных уравнений.

Результаты и обсуждение. Теоретические модели влагопереноса представляют собой различные зависимости, основанные на законах движения жидкости в капиллярно-пористых телах [6]. Для каждого способа орошения требуются различные подходы к математическому моделированию влагопереноса в почве. С помощью математических моделей влагопереноса можно определить параметры контура увлажнения, установить зависимости процесса увлажнения почвы от напора, продолжительности полива, конструктивных особенностей увлажнителей, расстояния между ними. В процессе полива вокруг увлажнителей образуется зона, в которой влажность соответствует полному насыщению почвы. От этой зоны вода перемещается главным образом за счет капиллярного передвижения, образуя контуры увлажнения [7].

Формирование контуров увлажнения в процессе влагопереноса в почве зависит от влагопроводности почвы и интенсивности водоподачи, также зависит от геометрии увлажнителей, их положения в пространстве и режимов водоподачи.

Существует несколько теорий перемещения влаги в почве. При рассмотрении влагопереноса при внутрипочвенном орошении делают ряд допущений. Считается, что во влаге отсутствуют растворенные соли, процесс движения влаги является изотермическим, скелет грунта недеформируем, давление почвенного воздуха равно атмосферному, почвенная влага несжимаема, влагоперенос происходит под действием капиллярных, гравитационных сил и всасывающей силы корней растений, грунт однородно-анизотропный. Уравнение, описывающее процесс влагопереноса, имеет вид [8]:

$$\frac{\partial W}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(D_x\frac{\partial W}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D_y\frac{\partial W}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_z\frac{\partial W}{\partial z}\right)\pm\frac{\partial K}{\partial z},$$

где W – объемная влажность почвы, %;

t – время, с;

$D_x(W),\ D_y(W),\ D_z(W)$ – коэффициенты диффузии почвенной влаги в направлении осей *x, y, z* соответственно.

Это уравнение зависит от коэффициента диффузии и позволяет описывать процесс влагопереноса в зоне полного насыщения, не учитывая дальнейшего перемещения влаги в почве. Для более полного описания распределения влаги в почве необходимо учитывать конструктивные особенности увлажнителей внутрипочвенного орошения, распределение расходов и напоров по элементам внутрипочвенного орошения, коэффициенты влагопроводности почвы и др.

При капельном орошении рассмотрим математическую модель влагопереноса С. Н. Новосельского, которая описывается следующим дифференциальным уравнением [5]:

$$\frac{\partial W}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x\frac{\partial H}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_y\frac{\partial H}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k_z\frac{\partial H}{\partial z}\right)+I_u-I_k,$$

где x, y, z – координатные оси;

k_x, k_y, k_z – коэффициенты влагопроводности вдоль осей *x*, *y*, *z*;

H – напор, м;

I_u, I_k – интенсивность источников влагопоступления и влагоотбора корнями растения.

Функция I_u определяется геометрией увлажнителей, их положением в пространстве и режимом водоподачи. Если источники пористые и проницаемые, а сферы исчезающего малого радиуса, то:

$$I_u=\sum_{i=1}^{N_i}Q_i(t)\,\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)\,\delta(z-z_i),$$

где N_i – число точечных источников;

$Q_i(t)$ – расход *i*-го источника, л/с;

δ – дельта функция Дирака;

x_i, y_i, z_i – координаты *i*-го источника, м.

Вид зависимости интенсивности источников влагопоступления и влагоотбора корнями растения должен устанавливаться по экспериментальным данным:

$$I_k=I_k(W,x,y,z,t).$$

При создании модели были приняты следующие допущения:

- движение воды в системе капельного орошения установившееся;

- расход воды в каждой капельнице при соблюдении допустимого уровня перепадов рабочих напоров одинаковый, зависящий от конструкции капельных водовыпусков.

Данная математическая модель влагопереноса определяет зависимость образования контуров увлажнения от коэффициента влагопроводности, напора в оросительной сети, интенсивности подачи воды увлажнителями и впитывания влаги корнями растений, важности почвы.

Вывод. Процессы влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении схожи, но и имеют различия в формировании контуров увлажнения. Из рассмотренных математических моделей более эффективна модель влагопереноса при капельном орошении, так как она наиболее точно описывает параметры распределения влаги в почве. Математическая модель влагопереноса при внутрипочвенном орошении позволяет описывать процесс влагопереноса только в зоне полного насыщения, не учитывая дальнейшего перемещения влаги в почве.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Расчет диаметра контура капельного увлажнения по поверхностному его значению / С. М. Васильев, А. А. Куприянов // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: материалы науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), 7–24 нояб. 2017 г. / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2017. – Вып. 15, ч. 1. – 331 с.

2 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 200 с.

3 Гостищев, Д. П. Математическое моделирование влагопереноса при внутрипочвенном орошении / Д. П. Гостищев, Ю. С. Рогозина. – М.: ЦБНТИ Минводстроя, 1990. – 52 с. – (Мелиорация и водное хозяйство: обзор. информ.).

4 Ветренко, Е. А. Моделирование влагопереноса в ненасыщенных почвогрунтах при внутрипочвенном орошении яблоневого сада / Е. А. Ветренко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 4(36). – С. 219–222.

5 Мелихова, Е. В. Математическое моделирование процессов влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении / Е. В. Мелихова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 1(41). – С. 228–234.

6 Ахмедов, А. Д. Аналитический подход к определению некоторых водно-физических характеристик почвогрунтов / А. Д. Ахмедов // Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2008.

7 Изучение внутрипочвенного орошения природными сточными водами и животноводческими стоками: метод. рекомендации / подгот. Д. П. Гостищевым [и др.]; ВАСХНИЛ, Отд-ние гидротехники и мелиорации. – М.: ВАСХНИЛ, 1988. – 134 с.

8 Ветренко, Е. А. Обоснование выбора математической модели влагопереноса в ненасыщенных почвогрунтах / Е. А. Ветренко // Дальневосточный аграрный вестник. – 2014. – № 4(32). – С. 21–24.

УДК 626.823.6

М. В. Вайнберг, А. А. Чураев
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СОСТОЯНИЕ ПУНКТОВ ВОДОУЧЕТА НА ГОСУДАРСТВЕННЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Целью исследования являлся анализ текущего состояния пунктов водоучета, а также средств водоучета и водоизмерения, применяемых на мелиоративных системах государственных эксплуатационных организаций Минсельхоза России, в соответ-

ствии с проведенным сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» мониторингом. По результатам проведенного опроса можно сделать вывод о том, что с момента начала проведения мониторинга (1995 г.) количество пунктов водоучета сокращалось (с 13086 до 2555 единиц), а техническое состояние оставшихся пунктов водоучета только ухудшалось (53 % от общего количества пунктов водоучета находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют проведения реконструкции, капитального или текущего ремонта). Для восстановления системы водоучета на объектах государственных мелиоративных систем в данной статье сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ» даны рекомендации.

Ключевые слова: пункты водоучета, мелиоративная система, средства водоизмерения, открытый канал, трубопровод.

****

M. V. Vainberg, A. A. Churaev
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

WATER ACCOUNTING STATIONS CONDITION ON STATE RECLAMATION SYSTEMS

The purpose of the research was to analyze the current state of water accounting stations as well as water accounting and water measuring devices used in land reclamation systems of state operating organizations of the Ministry of Agriculture of Russia in accordance with the monitoring conducted by the employees of the federal state Budgetary Scientific Institution “Russian Research Institute of Land Improvement Problems”. According to the results of the survey it can be concluded that since the beginning of monitoring (1995), the number of water accounting stations has been reduced (from 1.306 to 2.555 units), and the technical condition of the remaining water accounting stations only worsened (53 % of the total number of water accounting stations are in unsatisfactory condition and require reconstruction, major or routine maintenance). The recommendations of the Federal state budget scientific establishment “RosNIIPM” are given to restore the water accounting systems at state reclamation systems.

Key words: water accounting stations, reclamation system, means of water measuring, open canal, pipeline.

Основным условием рационального использования водных ресурсов на мелиоративных системах является обеспечение точного и достоверного учета подачи, потребления и сброса воды (водоучета и водоизмерения). В настоящее время эксплуатационные организации, обслуживающие современные оросительные и осушительные системы, заинтересованы в применении средств водоизмерения и их метрологическом обеспечении [1].

На сегодняшний день уровень технического состояния мелиоративных систем и объектов, а также наличие приборного обеспечения водоучета продолжает снижаться. Большинство пунктов водоучета считаются таковыми лишь номинально, так как находятся в неудовлетворительном состоянии. Практически все они требуют проведения текущего, а многие и капитального ремонта, а также оснащения средствами измерений. Большая часть построенных ранее гидрометрических сооружений на открытой сети разрушена или деформирована и не оправдывает своего назначения как средство измерения расхода [2, 3].

С целью определения текущей потребности эксплуатационных водохозяйственных организаций в пунктах водоучета с 1995 по 2009 г. сотрудниками РосНИИПМ в соответствии с тематическим планом проводился мониторинг состояния средств водоучета и водоизмерения на гидромелиоративных объектах государственных эксплуатационных организаций Минсельхоза России [1]. С 2010 по 2017 г. мониторинг не осуществлялся, и лишь в 2018 г. был проведен циркулярный опрос подведомственных эксплуатационных организаций о текущем состоянии средств водоучета и водоизмерения, применяемых на гидромелиоративных объектах. Анализ полученной ранее информации и за текущий год показал, что наблюдается снижение количества пунктов водоучета. За период с 1995 по 2018 г. количество пунктов водоучета на осушительных и оросительных системах снизилось в 5 раз (с 13086 до 2555 единиц) (рисунок 1).

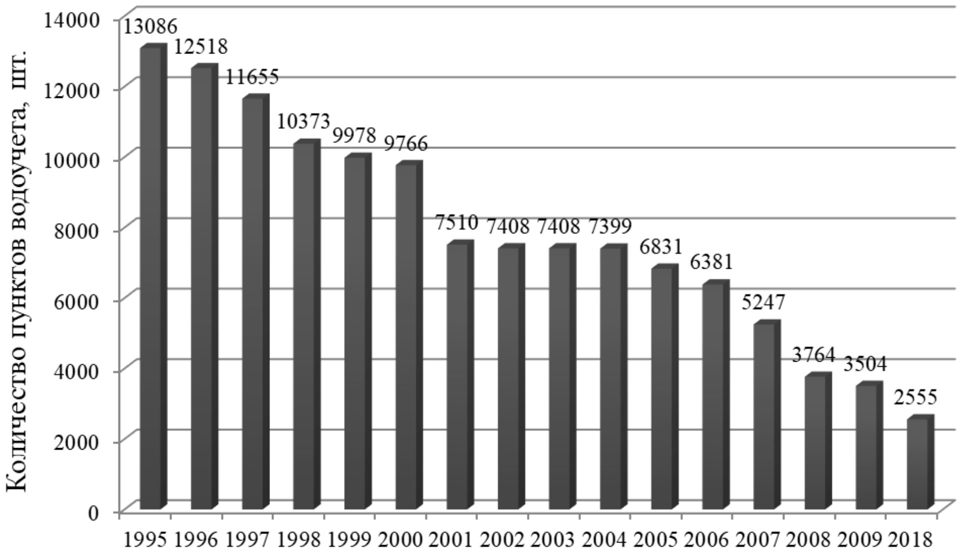
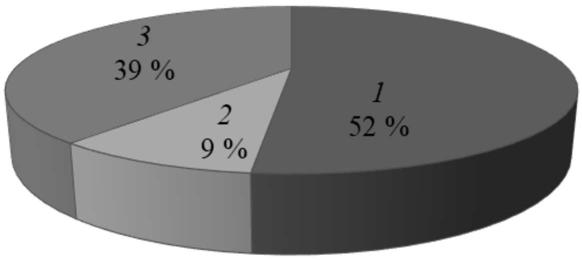


Рисунок 1 – Количество пунктов водоучета по России с 1995 по 2018 г.

Из общего количества пунктов водоучета 52 % оснащены лишь простейшими средствами измерений, такими как гидрометрическая рейка, 9 % – приборами, а остальные 39 % вообще не имеют каких-либо средств водоучета (рисунок 2). Например, Управление «Каббалкмелиоводхоз» пояснило это тем, что из 130753 га орошаемых земель по Кабардино-Балкарской Республике орошается лишь 64827 га. В связи с этим отпала необходимость в использовании части измерительных приборов по филиалам.



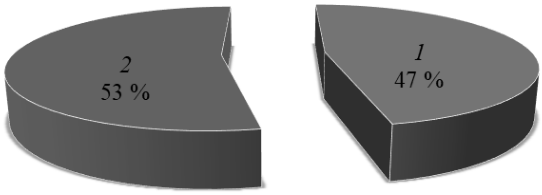
1 – оборудованные гидрометрическими рейками;
2 – оборудованные приборами; *3* – необорудованные

Рисунок 2 – Количество пунктов водоучета по состоянию на 2018 г.

Более половины (53 %) из общего количества пунктов водоучета находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют проведения реконструкции, капитального или текущего ремонта (рисунок 3).

Из пунктов водоучета, находящихся в неудовлетворительном состоянии, текущему ремонту подлежат 1049 единиц, капитальному ремонту или реконструкции – 625 единиц, списанию – 383 единицы.

Анализ типов гидрометрических сооружений на открытой сети показал, что наиболее распространенными являются сооружения типа «фиксированное русло», сужающие устройства различной конструкции, перегораживающие сооружения и некоторые другие.



1 – в удовлетворительном состоянии; *2* – в неудовлетворительном состоянии

Рисунок 3 – Техническое состояние пунктов водоучета по России на 2018 г.

В качестве первичных преобразователей расхода, как правило, применяются нестандартизованные средства измерений, такие как приставки и насадки различных профилей и конструкций. Пункты водоучета, оборудованные такими устройствами, должны проходить государственную метрологическую аттестацию, тем более в условиях платного водопользования.

В таблице 1 представлена информация о наличии средств водоучета на объектах государственных мелиоративных систем РФ. Данные представлены от 78 подведомственных организаций Минсельхоза России по состоянию на 2018 г.

Таблица 1 – Наличие средств водоучета на объектах мелиоративных систем РФ

В шт.

Характеристика пунктов водоучета		Общее количество пунктов водоучета	Количество пунктов водоучета, оборудованных средствами водоучета			
			Гидрометрическая рейка	Прибор		
				уровнемер	расходомер	счетчик стока
Открытый канал						
Пропускаемый расход, $м^3/с$	< 2	1016	457	–	15	–
	2–5	617	360	–	17	–
	5–10	242	217	10	6	–
	10–50	250	234	10	–	–
	50–100	45	38	18	–	–
	> 100	11	10	2	2	–
Итого		2181	1316	40	40	–
Пункты водоучета на трубопроводах закрытых мелиоративных систем						
Диаметр, мм	< 300	7	–	–	7	–
	300–500	71	1	9	24	3
	600–800	167	5	–	53	4
	800–1200	98	–	–	27	6
	> 1200	31	–	–	11	14
Итого		374	6	9	122	27

Из данных таблицы 1 видно, что наиболее сложной является ситуация, сложившаяся на открытых каналах мелиоративных систем. Среди всей номенклатуры средств водоучета, имеющихся на пунктах водоучета открытых каналов мелиоративных систем, преобладают гидрометрические рейки (1316 единиц), и лишь 80 единиц – это приборы, причем приборы устаревшего образца. Счетчики стока в водохозяйственных организациях отсутствуют.

Исходя из полученных данных, основная часть гидромелиоративных объектов государственных эксплуатационных организаций Минсельхоза России для измерения расхода воды в открытых каналах оснащена гидрометрическими рейками либо расчет расхода воды ведется по производительности насосной станции. Лишь в 11 из 78 опрошенных эксплуатационных организаций имеются приборы учета воды в открытых каналах оросительной сети, и то в минимальном количестве.

На закрытой оросительной сети из общего количества пунктов водоучета (374 единицы) лишь 44 % оснащены средствами водоучета. В этой номенклатуре преобладают приборы (131 единица), такие как расходомеры-счетчики ультразвуковые (УРСВ-510ц, «Взлет-МР», РУС-1, «Днепр-7», «Эталон-РМ», ПЭА-В-202, УЗР-В-М «Акустрон», UFM, US800, Stream-Lux SLS-700F), электромагнитные («Взлет-М», ВСЭ, ДУ-200), турбинные (ВВ-200) [4, 5].

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод о том, что с момента начала проведения мониторинга (с 1995 г.) количество пунктов водоучета сокращалось, а техническое состояние оставшихся пунктов водоучета только ухудшалось. Так, количество пунктов водоучета, находящихся в неудовлетворительном состоянии, достигло более половины (53 %) от общего количества. Такая ситуация является следствием длительного недофинансирования отрасли. Если ухудшение ситуации будет происходить теми же темпами, то в ближайшие годы на мелиоративных системах отрасли не останется гидропостов, которые бы соответствовали даже примитивному уровню водоучета.

Тем не менее существует заинтересованность водохозяйственных организаций в реконструкции, строительстве и приборном обеспечении пунктов водоучета.

Таким образом, для восстановления системы водоучета на объектах государственных мелиоративных систем необходимо следующее:

- финансирование в полном объеме для восстановления, реконструкции и строительства гидрометрических сооружений, предполагаемых к использованию как пункты водоучета, с учетом требований Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии;
- финансирование работ по электрификации пунктов водоучета;
- финансирование работ по оснащению гидрометрических сооружений и пунктов контроля на открытой и закрытой сети необходимыми измерительными приборами и оборудованием с обеспечением возможности дистанционной передачи информации, а также проведению метрологической аттестации пунктов водоучета;
- организация производства простейших средств измерений (гидрометрических реек, гидрометрических вертушек, датчиков положения затворов и др.) приборостроительными предприятиями;
- обеспечение повышения квалификации работников эксплуатирующих организаций, занимающихся вопросами гидрометрических измерений, с использованием соответствующей нормативно-технической и нормативно-методической документации [6];
- разработка типовых проектов гидрометрических сооружений и технологического оборудования (авторегуляторов расхода, стабилизаторов расхода и т. п.) в рамках создания системы водоизмерения [7];
- осуществление строительства на мелиоративных системах сети контрольных пунктов водоучета;
- решение вопросов оснащения энергонеобеспеченных пунктов водоучета измерительными приборами и оборудованием.

Список использованных источников

1 Информационно-аналитический доклад о текущем состоянии средств водоучета на мелиоративных системах и объектах, находящихся в ведении Минсельхоза России: отчет о НИР (промеж.): 2.2 / ФГНУ «РосНИИПМ»; рук.: Бочкарёв В. Я. – Новочеркасск, 2009. – 38 с. – Исполн.: Клишин И. В., Щедрина Т. В.

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

3 Щедрин, В. Н. Совершенствование способов определения расхода воды в открытых мелиоративных каналах / В. Н. Щедрин, М. В. Вайнберг, А. А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 1(21). – С. 1–20. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec389-field6.pdf.

4 Чураев, А. А. К проблеме оснащения мелиоративных систем средствами водоучета / А. А. Чураев, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2010. – Вып. 44. – С. 59–63.

5 Бочкарёв, В. Я. Современное приборное обеспечение водоучета на оросительных системах / В. Я. Бочкарёв, А. А. Чураев // Мелиорация и водное хозяйство: материалы науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2005. – С. 79–83.

6 Аспекты формирования нормативной базы мелиоративного комплекса России / В. Н. Щедрин, Г. А. Сенчуков, В. В. Слабунов, А. А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 3(7). – С. 1–27. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec114-field6.pdf.

7 Шепелев, А. Е. Требования к организации водоучета на оросительных системах, определяющие основные положения нормативного документа / А. Е. Шепелев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2013. – Вып. 51. – С. 123–128.

УДК 631.42:528.8

С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Л. А. Митяева
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ИЗУЧЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ИХ КАЛИБРОВКА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Статья отражает взаимосвязь между яркостями многоспектрального космического изображения, химическим составом почвы, а именно содержанием гумуса, и различными фракциями гранулометрического состава почвенного покрова на орошаемом массиве ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области. Отмечено, что фракции более 0,01 мм связаны с содержанием гумуса обратно пропорционально, а более мелкие фракции (менее 0,01 мм) – прямо пропорционально. Выявлена зависимость между содержанием частиц размером менее 0,01 мм и отражательной способностью почв в диапазоне длин волн 630–680 нм.

Ключевые слова: космический снимок, гумус, гранулометрический состав, почвенный покров, полевые исследования.

****

S. M. Vasilyev, Yu. E. Domashenko, L. A. Mityaeva
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

STUDY OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF SOIL COVER BY THE RESULTS OF SPACE IMAGES INTERPRETATION AND THEIR CALIBRATION UNDER FIELD CONDITIONS

The relationship between the brightness of the multispectral space image, chemical composition of soil, namely, the humus content and various fractions of soil cover granulation *on the irrigated land of LLC Rassvet in Kuybyshevsky District, Rostov Region is concerned. It is noted that fractions more than 0.01 mm are associated with humus content inversely proportional, and smaller fractions (less than 0.01 mm) are directly proportional. Dependence between the particles content smaller than 0.01 mm and the reflectivity of soils in the wavelength range 630–680 nm was revealed.*

Key words: space image, humus, granulometric composition, soil cover, field studies.

Введение. Одним из условий эффективной оценки разрабатываемых комплексов мероприятий по восстановлению почвенного плодородия на современном этапе является наличие источников объективной и регулярно обновляемой информации о состоянии и динамике свойств почвенного покрова. При решении подобных вопросов особый интерес представляет применение данных дистанционного зондирования и их калибровка в полевых условиях. Информация о состоянии почвенного покрова необходима для планирования агропромышленного производства и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур, в т. ч. на основе использования многозональных космических снимков.

При изучении гранулометрического состава почв чаще всего применяется подход, основанный на разработке регрессионных уравнений [1–3]. Эти уравнения позволяют рассчитать на основе яркости каналов снимка содержание в почве физической глины и физического песка (в зарубежных публикациях применяются показатели содержания песка (sand), глины (clay) и ила (silt)). В зарубежных источниках при дешифрировании дефляции нередко определяется и гранулометрический состав почв. При этом ему дается не количественная, а качественная оценка [4].

Выделяются работы, в которых гранулометрический состав определяется наряду с другими показателями, чаще всего с содержанием гумуса [5, 6]. Комбинированный подход к сочетанию материалов дистанционного зондирования и наземных наблюдений подробно рассмотрен в работах К. О. Прокопьевой, В. Н. Щедрина и др. [7, 8].

Цель исследования – изучение зависимостей между яркостями многоспектрального космического изображения, химическим составом почвенного покрова, а именно содержанием гумуса, и различными фракциями гранулометрического состава.

Материалы и методы. Методика исследований включала несколько этапов выполнения работ: дистанционные исследования – сбор данных об объекте исследований; подбор космических снимков; обработку и анализ космических снимков; определение маршрутов для полевых исследований и мест заложения точек отбора проб для характеристики почвенного покрова; полевые исследования – отбор точечных проб почвы; выполнение анализов в эколого-аналитической лаборатории; анализ и оценку полученных корреляционных зависимостей между содержанием гумуса и фракциями гранулометрического состава. Заключительный камеральный этап включал статистический анализ наземной и дистанционной информации для выявления зависимостей между отражением и содержанием гумуса с различными гранулометрическими фракциями, анализировались и сравнивались результаты исследования.

Для изучения гранулометрического состава использовался космический снимок со спутника Landsat-8 OLI, спектральные характеристики каналов которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Спектральные каналы спутника Landsat-8 OLI [9]

Спектральный канал	Длина волны, нм	Пространственное разрешение, м
1	2	3
Канал 1 – Фиолетовый. Побережья и аэрозоли (Coastal/Aerosol, New Deep Blue)	433–453	30
Канал 2 – Синий (Blue)	450–515	30

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Канал 3 – Зеленый (Green)	525–600	30
Канал 4 – Красный (Red)	630–680	30
Канал 6 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1,560–1,660	30
Канал 7 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2100–2300	30
Канал 8 – Панхроматический (Panchromatic, PAN)	500–680	15
Канал 9 – Перистые облака (Cirrus, SWIR)	1360–1390	30

Для определения количественных значений содержания гумуса был выбран мультиспектральный космический снимок Landsat-8 OLI, выполненный 11 апреля 2018 г. (пространственное разрешение 30 м/пикс). Данные о спектральной отражательной способности каждого из каналов получены с каждого пикселя космического снимка. Рассчитанные значения коэффициента отражения поверхности оценивались в 5 каналах в видимой, средней и ближней инфракрасной части спектра.

Полевые опыты проведены в ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области. Отобраны точечные пробы из 22 скважин слоя 0–20 см. Скважины, отобранные в результате полевых исследований, были привязаны при помощи GPS-навигатора и наложены поверх космического снимка.

Гранулометрический состав почвенного покрова определяли в эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ» по Н. А. Качинскому [10]. Общее содержание гумуса определялось по И. В. Тюрину в модификации ЦИНАО[1]. При обработке и анализе полевых исследований использовались стандартные пакеты лицензионных прикладных программ Statistica и MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Результаты дистанционных исследований были сопоставлены с данными, полученными в полевых условиях. С целью выявления связи коэффициента отражения и химического состава почвы, а именно содержания гумуса, с частицами различных гранулометрических фракций произведено построение точечных диаграмм с определением коэффициента детерминации (R^2) (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициенты детерминации зависимостей содержания фракций гранулометрического состава от отражения поверхности почвы для полиномиальных моделей аппроксимации второго порядка

Фракция гранулометрического состава, мм	Канал сенсора Landsat-8 OLI				
	2	3	4	6	7
> 0,1	0,86	0,85	0,76	0,84	0,91
0,1–0,05	0,48	0,58	0,52	0,41	0,52
0,05–0,01	0,38	0,38	0,42	0,48	0,64
0,01–0,005	0,45	0,52	0,61	0,58	0,71
0,005–0,001	0,74	0,65	0,78	0,74	0,78
< 0,001	0,84	0,68	0,86	0,80	0,68
Сумма > 0,01	0,79	0,74	0,87	0,72	0,88
Сумма < 0,01	0,68	0,75	0,77	0,74	0,73

[1] ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. – Введ. 1993-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 15 с.

Как видно из данных таблицы 2, коэффициент отражения во всех каналах снимка имеет тесную связь с содержанием частиц более 0,1 мм. Фракции 0,01–0,05 мм связаны с содержанием гумуса обратно пропорционально, а более мелкие (менее 0,01 мм) – прямо пропорционально. Установлено, что содержание гумуса наиболее тесно связано с суммой частиц менее 0,01 мм. Коэффициенты детерминации, принимающие наибольшие значения, были получены при использовании полиномиальных зависимостей второго порядка. Выделение границ различного гранулометрического состава (по Н. А. Качинскому) проводилось с учетом процентного содержания физической глины (с диаметром менее 0,01 мм). Содержание частиц диаметром менее 0,01 мм лучше всего коррелирует с коэффициентом отражения поверхности почвы по данным четвертого канала сенсора Landsat-8 OLI (рисунок 1).

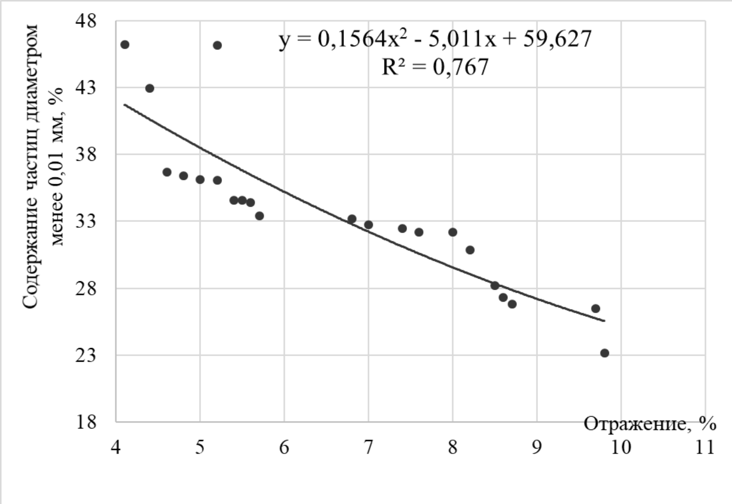


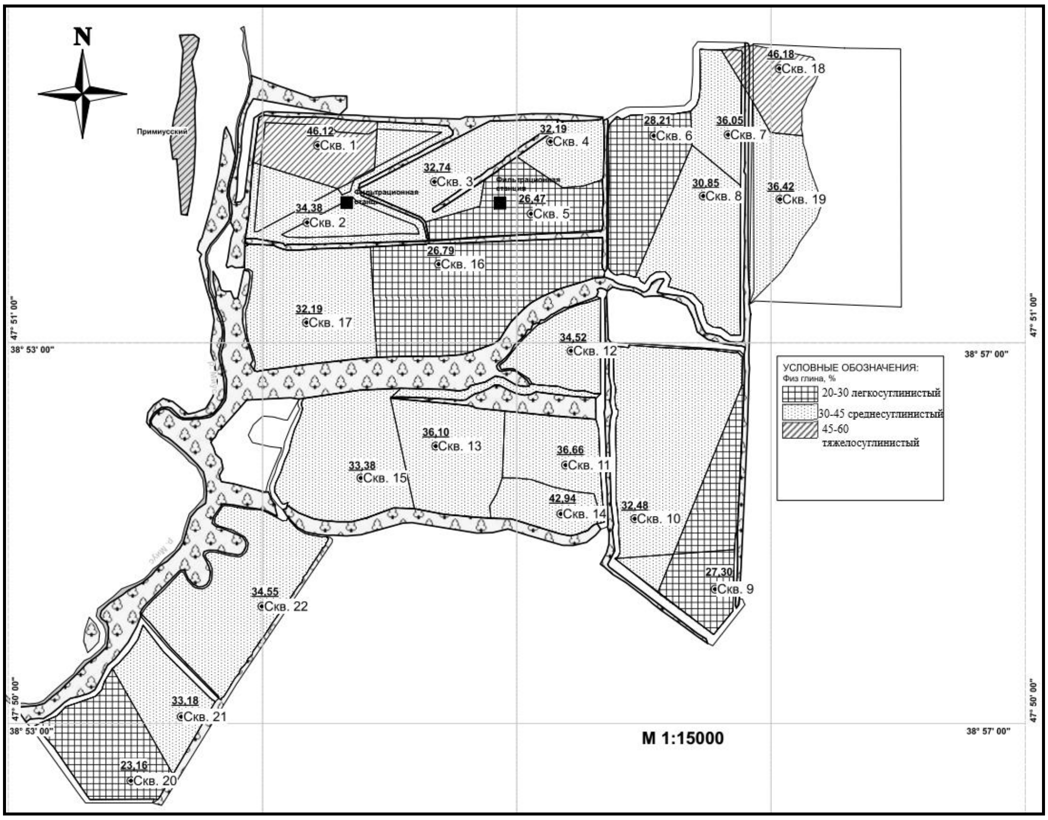
Рисунок 1 – График взаимосвязи между содержанием фракций (диаметр менее 0,01 мм) в поверхностном слое почвы 0–20 см и коэффициентом отражения поверхности в четвертом (630–680 нм) канале сенсора Landsat-8 OLI

Определено, что изменение гранулометрического состава почв исследуемого участка по результатам исследования космического снимка и данным полевых исследований совпадает. Однако результаты дешифрирования космического снимка дают большую детальность при составлении картограммы гранулометрического состава (рисунок 2).

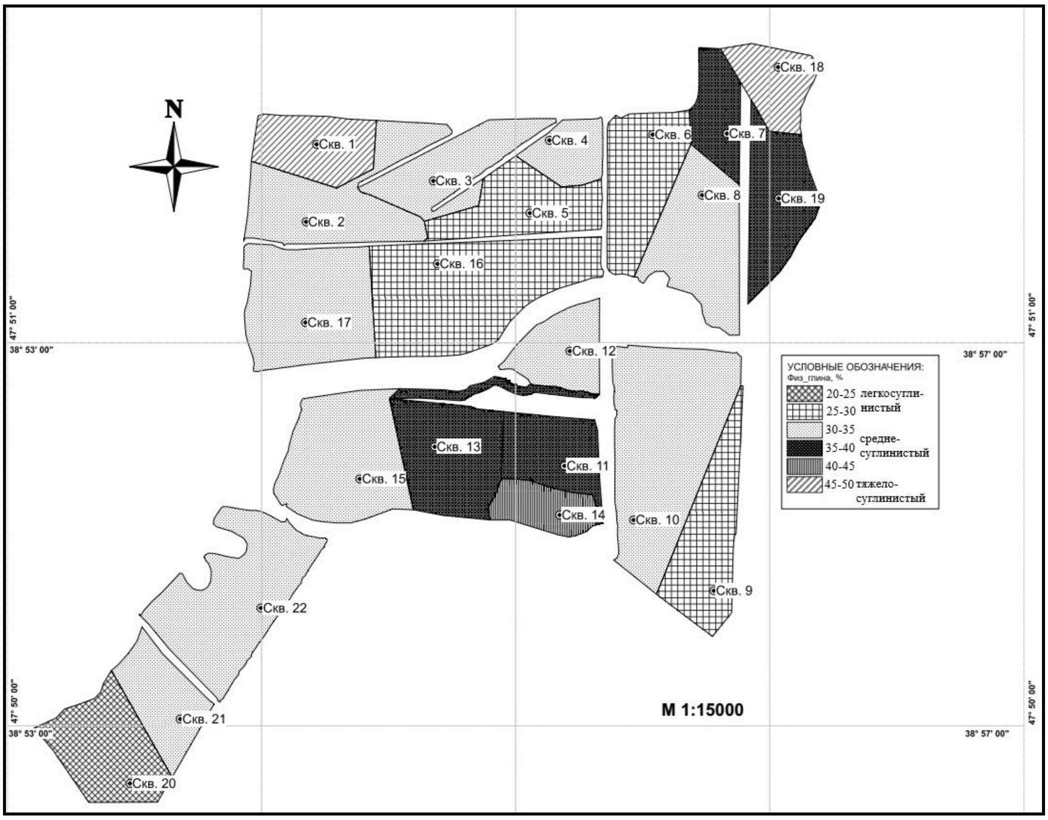
При анализе данных рисунка 2 можно отметить, что дешифрирование позволило обнаружить участки с 20–25 % содержанием физической глины (частиц менее 0,01 мм) (23,35 га), 25–30 % – 113,87 га, 30–35 % – 274,23 га, 35–40 % – 78,41 га, 40–45 % – 10,3 га, 45–50 % – 29,42 га.

Высокая степень генерализации при почвенных исследованиях определяется закладкой минимально возможного количества почвенных разрезов. В результате полевых исследований определено, что легкосуглинистые почвы занимают площадь 137,22 га, среднесуглинистые – 362,94 га, тяжелосуглинистые – 29,42 га. Космические снимки позволяют извлечь данные о почвенном покрове из каждого пикселя изображения. В результате достигается меньшая степень генерализации.

На данном этапе проведения исследований определена взаимосвязь только между отражательной способностью космического снимка содержания гумуса и гранулометрическими фракциями почвенного покрова. К другим характеристикам, которые влияют на спектральную отражательную способность почв и распределяются согласно границам орошаемых участков, можно отнести влажность, содержание питательных элементов и др. Отражательная способность почвы формируется при совместном воздействии нескольких показателей на ее оптические свойства, которые в той или иной степени коррелируют друг с другом [11].



а



б

а – результаты полевых исследований; *б* – результаты дешифрирования космического снимка

Рисунок 2 – Картограмма определения гранулометрического состава орошаемых участков ООО «Рассвет»

Выводы. Применение космических снимков для исследования только гранулометрического состава используется крайне редко. Распространены работы, в которых гранулометрический состав коррелирует с содержанием гумуса. Составленная картограмма с выделенными градациями гранулометрического состава, полученная в ходе дешифрирования космического снимка, согласуется с данными полевой калибровки и отличается большей детализацией. Тяжелосуглинистые почвы (содержание физической глины (частиц менее 0,01 %)) занимают небольшие площади (29,42 га) возле скважин 1 и 18. Среднесуглинистые почвы занимают наибольшую площадь орошаемых полей (362,94 га). Взаимосвязь между содержанием частиц диаметром менее 0,01 мм и отражением в четвертом канале описывается полиномиальным уравнением с коэффициентом детерминации 0,77.

Список использованных источников

1 Украинский, П. А. Изучение гранулометрического состава почв Поосколья по данным дешифрирования космических снимков / П. А. Украинский, О. А. Чепелев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 1–5. – С. 1225–1229.

2 Sullivan, D. G. IKONOS Imagery to Estimate Surface Soil Property Variability in Two Alabama Physiographies / D. G. Sullivan, J. N. Shaw, D. Rickman // Soil Science Society of America Journal. – 2005. – Vol. 69, № 6. – P. 1789–1798.

3 Nanni, M. R. Spectral Reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis / M. R. Nanni, J. A. M. Dematte // Soil Science Society of America Journal. – 2006. – Vol. 70. – P. 393–407.

4 Carter, D. J. Remote sensing of wind erosion in croplands / D. J Carter, H. J. Houngton // Proceedings of Landsat-81 Conference. – Canberra, 1981. – P. 275–282.

5 Шатохин, А. В. Использование современных технологий при картографировании почвенного покрова Северной Донецкой степи / А. В. Шатохин, А. Б. Ачасов // Почвоведение. – 2005. – № 7. – С. 790–798.

6 Jensen, J. R. Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective / J. R. Jensen. – Prentice Hall, 1996. – 318 p.

7 Прокопьева, К. О. Картографирование орошаемых почв Светлоярской оросительной системы с использованием данных дистанционного зондирования Земли / К. О. Прокопьева, И. Н. Горохова // Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов, студентов и преподавателей VII Молодежного экологического конгресса «Северная Пальмира». – СПб.: НИЦЭБ РАН, 2016. – С. 33–36.

8 Наземная гиперспектральная аппаратура для измерения вегетативных индексов в задачах прецизионного орошения сельскохозяйственных культур / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, А. Н. Бабичев, Р. В. Скиданов, В. В. Подлипнов, Ю. Н. Журавель // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 1–14. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=527.

9 USGS Geological Survey [Electronic resource]. – Mode of access: http:earthexplorer.usgs.gov, 2018.

10 Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – М.: Высш. шк., 1965. – 215 с.

11 Кондратьев, К. Я. Аэрокосмические исследования почв и растительности / К. Я. Кондратьев, В. В. Козодеров, П. П. Федченко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 229 с.

УДК 628.31:631.67.03

Н. Е. Волкова
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация
Р. Ю. Захаров
Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)
Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

РЕКОНСТРУКЦИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ – ШАГ К ПОВЫШЕНИЮ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Одной из основных экологических проблем Крымского региона является недостаточная канализованность территории. Это ведет к загрязнению водных объектов, земельных ресурсов, ухудшению санитарно-эпидемиологических условий проживания населения. Первым шагом к улучшению текущей обстановки является реконструкция имеющихся канализационных очистных сооружений с целью улучшения качества очистки и повышения их производственных мощностей. Это довольно дорогостоящее мероприятие. Однако реконструкция канализационных очистных сооружений может позволить снизить сразу две составляющие антропогенного воздействия на водные объекты. С одной стороны, уменьшится объем поступающих со сточными водами загрязняющих веществ, с другой стороны, очищенные стоки можно использовать для целей орошения, т. е. будет оказываться воздействие на качественную и количественную составляющие формирующегося водоресурсного потенциала. Так, например, реконструкция Гвардейских канализационных сооружений позволила повысить их производительность более чем в 3 раза. При этом получаемая после очистки вода по качественным характеристикам может быть использована для целей орошения.

Ключевые слова: канализованность территории, антропогенное воздействие, реконструкция канализационных сооружений, очищенная сточная вода, орошение.

****

N. E. Volkova
Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation
R. Yu. Zakharov
Academy of Construction and Architecture V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

IMPROVEMENT OF SEWAGE TREATMENT PLANTS – A STEP TO INCREASE AVAILABLE WATER SUPPLY OF AGRICULTURE

One of the main environmental problems of the Crimean region is the inadequate sewage of the territory. This leads to pollution of water bodies, land resources, deterioration of sanitary and epidemiological conditions of population living. The first step to improve the current situation is the reconstruction of existing sewage treatment facilities in order to improve the quality of treatment and increase their production capacity. This is quite an expensive event. However, the improvement of sewage treatment plants can reduce two components of anthropogenic impact on water bodies at once. On the one hand, the amount of contaminants coming with wastewater will decrease, on the other hand, treated wastewater can be used for irrigation purposes, i. e., the qualitative and quantitative components of the emerging water resource potential will be affected. So, for example, the improvement of the Gvardeyskiy sewage treatment facilities allowed to increase their capacity more than by 3 times. In this case, the treated water after purification can be used by its qualitative characteristics for irrigation purposes.

Key words: sewage of the territory, anthropogenic impact, improvement of sewerage facilities, sewage effluent, irrigation.

После перекрытия внешнего водоисточника водные проблемы в Крымском регионе вышли на первый план. При этом особое внимание уделяется не только количественной, но и качественной составляющей формирующегося стока. Одной из основных причин ухудшения экологического состояния водных объектов является недостаточная канализованность территории. Это нашло отражение в работах многих крымских ученых. Например, Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова в статье 2018 г. [1] описывают неблагоприятную экологическую обстановку, которая сложилась на р. Славянке. В ходе проведенного исследования было изучено изменение показателей химического состава речного стока по всей длине реки (зафиксировано превышение ПДК по сульфатам, магнию). Результаты биотестирования с использованием в качестве тест-объекта семян кресс-салата показали наличие токсических веществ на всем протяжении реки. Среди причин такого плачевного состояния водотока авторы указывают отсутствие систем централизованного водоотведения (выявлено более 10 незаконных точек сброса нечистот в реку) [1]. Ниже в таблице 1 приведена информация о количестве населенных пунктов Крыма, жители которых пользуются услугами централизованного водоотведения.

Таблица 1 – Наличие населенных пунктов Республики Крым, жители которых пользуются услугами централизованного водоотведения [2]

Наименование административно-территориального подразделения	Количество населенных пунктов, шт.	Населенные пункты, жители которых пользуются услугами централизованного водоотведения	
		шт.	%
Городской округ Алушта	26	10	38
Городской округ Армянск	4	2	50
Городской округ Джанкой	1	1	100
Городской округ Евпатория	4	4	100
Городской округ Керчь	1	1	100
Городской округ Красноперекопск	1	1	100
Городской округ Саки	1	1	100
Городской округ Симферополь	6	6	100
Городской округ Судак	16	5	31
Городской округ Феодосия	18	7	39
Городской округ Ялта	32	20	63
Бахчисарайский район	85	8	9
Белогорский район	80	7	9
Джанкойский район	113	4	4
Кировский район	40	6	15
Красногвардейский район	84	7	8
Красноперекопский район	38	3	8
Ленинский район	68	8	12
Нижнегорский район	58	3	5
Первомайский район	42	1	2
Раздольненский район	41	2	5
Сакский район	79	12	15
Симферопольский район	109	35	32
Советский район	38	1	3
Черноморский район	34	2	6
Итого	1019	157	15

Из анализа данных таблицы 1 наглядно видно, что жители только 157 населенных пунктов пользуются услугами централизованного водоотведения. В основном это города и поселки городского типа.

Первым шагом в решении этой проблемы является реконструкция уже существующих канализационных очистных сооружений (КОС) с целью улучшения качества очистки (так как в большинстве случаев КОС имеют уже существенный эксплуатационный срок службы и требуют ремонта и модернизации) и увеличения производственной мощности. Ярким примером реализации этого подхода в Республике Крым является реконструкция Гвардейских КОС.

Эти КОС производительностью 470 м^3/сут были построены еще в 1940-х гг. После очистки вода сбрасывалась в пруд-накопитель и р. Салгир. Данной мощности уже давно не хватает для обеспечения централизованного водоотведения жителям Гвардейского сельского поселения Симферопольского района Республики Крым. В результате было принято решение об их реконструкции. В итоге проведения первой очереди работ производительность КОС увеличилась более чем в 3 раза и составила 1500 м^3/сут. До этого, согласно осредненным статистическим данным (2-ТП (водхоз)) за период 2013–2016 гг., с данного объекта производился фактический сброс очищенной сточной воды в объеме около 450 м^3/сут. Внешний вид Гвардейских КОС после реконструкции приведен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Гвардейские канализационные очистные сооружения после реконструкции [3]

В связи с усилением в последние годы вододефицитной обстановки в рассматриваемом регионе крымские ученые и специалисты, работающие в водной сфере, в своих работах очищенные городские сточные воды называют перспективным альтернативным источником воды для целей орошения [3–6]. С целью оценки качества очистки стоков, сбрасываемых с Гвардейских КОС, в 2017 г. на выходе из очистных сооружений были отобраны пробы воды и проведен химический анализ в лаборатории ФГБУН «НИИСХ Крыма» для определения их пригодности для целей орошения. Результаты химических анализов приведены в таблице 2.

Из анализа данных таблицы 2 наглядно видно, что качественные показатели очищенной сточной воды не являются постоянной величиной и имеют довольно значительные колебания. Так, например, если сравнивать результаты химических анализов отобранных проб, видно, что наибольшая разница была зафиксирована по показателю содержания сульфат-иона, увеличение произошло почти в 2 раза. То есть, если использовать в дальнейшем данную воду для целей орошения, необходимо вести регулярные наблюдения за ее солевым составом.

Оценим пригодность воды в отобранных пробах для целей орошения. Для этого используем широко применяемые в РФ методики – расчет ирригационного коэффициента, коэффициента ионного обмена, натриевого адсорбционного отношения, а также почвенно-мелиоративную классификацию.

Таблица 2 – Результаты химических анализов очищенной сточной воды Гвардейских КОС

Показатель		Дата отбора пробы	
		16.10.2017	12.12.2017
Растворенные элементы, мг/л	HCO_3^-	388	342
	Cl^-	153	160
	SO_4^{2-}	192	380
	Ca^{2+}	140	204
	Mg^{2+}	34	62
	Na^+	80	134
	K^+	26	26
	NO_3^-	37	70
Минерализация, г/л		1,018	1,492
pH		8,46	8,1

Исходя из солевого состава воды, ирригационный коэффициент ($K_н$) будет определяться по формулам [7]:

- для первой пробы:

$$K_н = \frac{288}{5r\mathrm{Cl}},$$

где $r\mathrm{Cl}$ – эквивалентное содержание химического элемента в воде;

- для второй пробы:

$$K_н = \frac{288}{(r\mathrm{Na} + 4r\mathrm{Cl})},$$

где $r\mathrm{Na}$ – эквивалентное содержание химического элемента в воде.

Для расчета коэффициента ионного обмена (K) будет использована следующая формула [7]:

$$K = \frac{(r\mathrm{Ca} + r\mathrm{Mg})}{(r\mathrm{Na} + 0{,}238S)},$$

где $r\mathrm{Ca}$, $r\mathrm{Mg}$ – эквивалентное содержание химического элемента в воде;

S – минерализация, г/л.

Натриевое адсорбционное отношение (SAR) определяется по формуле [7]:

$$SAR = \frac{r\mathrm{Na}}{\sqrt{0{,}5(r\mathrm{Ca} + r\mathrm{Mg})}}.$$

Результаты расчета перечисленных выше коэффициентов сведены в таблицу 3, а оценки по почвенно-мелиоративной классификации – в таблицу 4.

Таблица 3 – Оценка пригодности воды для целей орошения по методикам, широко используемым в РФ

Дата отбора пробы	Ирригационный коэффициент	Коэффициент ионного обмена	SAR
16.10.2017	13,33	2,63	1,57
12.12.2017	12,07	2,47	2,11

Таблица 4 – Итоги оценки пригодности воды для целей мелиорации по почвенно-мелиоративной классификации [8]

Дата отбора пробы	Степень опасности развития процесса					Класс воды
	общего засоления	хлоридного засоления	натриевого осолонцевания	магниевого осолонцевания	содообразования	
16.10.2017	III	III	I	I	I	III
12.12.2017	III	III	II	I	I	III

Из анализа данных таблицы 3 видно, что данная вода:

- по ирригационному коэффициенту имеет удовлетворительное качество, т. е. необходимы специальные меры для предупреждения накопления щелочей;
- по коэффициенту ионного обмена пригодна для орошения;
- по SAR считается безопасной, т. е. опасность осолонцевания почв низкая.

Согласно анализу данных таблицы 4, очищенные стоки Гвардейских КОС в целом можно использовать для целей орошения. Однако необходимо организовать обязательные наблюдения за солевым составом водной вытяжки, так как при использовании воды данного качества возможно развитие процессов общего и хлоридного засоления.

Таким образом, по результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- одной из основных причин ухудшения экологического состояния водных объектов является недостаточная канализованность территории. Это ведет к загрязнению водных объектов, земельных ресурсов, ухудшению санитарно-эпидемиологических условий проживания населения;
- первым шагом к улучшению текущей обстановки является реконструкция имеющихся канализационных очистных сооружений с целью улучшения качества очистки и повышения их производственных мощностей;
- качественные показатели очищенной сточной воды не являются постоянной величиной и имеют довольно значительные колебания, поэтому необходимо вести регулярные наблюдения за ее солевым составом;
- согласно методикам, широко используемым в РФ для оценки пригодности качества воды для целей орошения, очищенные стоки Гвардейских КОС в целом можно использовать для целей орошения. Однако необходимо организовать обязательные наблюдения за солевым составом водной вытяжки, так как при использовании воды данного качества возможно развитие процессов общего и хлоридного засоления.

Список использованных источников

1 Иванютин, Н. М. Результаты комплексного экологического мониторинга реки Славянки / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 34–42.

2 Тарифы в сфере водоснабжения и водоотведения для населения на 2018 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:sovmo.rk.gov.ru/rus/file/1(2445).pdf, 2018.

3 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.

4 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.

5 Кременской, В. И. Сточные воды как перспективный ресурс повышения водообеспеченности Республики Крым / В. И. Кременской, М. В. Вердыш // Природообустройство. – 2016. – № 5. – С. 72–77.

6 Волкова, Н. Е. Использование очищенных сточных вод в Крыму: опыт прошлого, реалии настоящего / Н. Е. Волкова, Р. Ю. Захаров // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 144–159. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec502-field6.pdf.

7 Шуравилин, А. В. Практикум по мелиорации сельскохозяйственных земель: учеб. пособие / А. В. Шуравилин, Ю. А. Можайский. – Рязань: Изд-во РГАТУ, 2011. – 214 с.

8 Мелиорация и водное хозяйство. Т. 6. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 415 с.

УДК 631.51.021:631.8:631.582:631.67

Н. П. Малярчук, Г. М. Исакова, А. С. Малярчук, Л. С. Мишукова
Институт орошаемого земледелия Национальной академии аграрных наук Украины, Херсон, Украина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТА ПРИ ОРОШЕНИИ НА ЮГЕ УКРАИНЫ

Цель – установление направлений формирования гумусного состояния и питательного режима темно-каштановой почвы при использовании в качестве удобрения послеуборочных остатков на фоне различных систем основной обработки и доз внесения минеральных удобрений в 4-польном пропашном севообороте при орошении. Применены полевой, количественно-весовой, лабораторный, расчетно-сравнительный и математически-статистический методы с использованием общепризнанных на Украине методик и методических рекомендаций. Результаты исследования свидетельствуют о том, что в зависимости от систем основной обработки почвы на неудобренном фоне в почву поступало от 4,0 до 4,8 т/га листостебельной массы сельскохозяйственных культур. Внесение в расчете на 1 га севооборотной площади минеральных удобрений дозой $N_{82,5}P_{60}$ обеспечило увеличение урожайности, а соответственно, повысилась масса послеуборочных остатков (до 7,4–8,3 т/га). Сделан вывод, что замена отвальной и безотвальной разноглубинной основной обработки почвы систематическим мелким дисковым рыхлением вызывает снижение продуктивности севооборота на неудобренном фоне до 2,91 т з. е./га, в варианте с внесением $N_{82,5}P_{60}$ – до 5,81 т з. е./га, в варианте с внесением $N_{120}P_{60}$ – до 6,75 т з. е./га, или на 35 и 44 % соответственно.

Ключевые слова: доза минеральных удобрений, послеуборочные остатки, гумус, система основной обработки почвы, вспашка.

****

N. P. Malyarchuk, G. M. Isakova, A. S. Malyarchuk, L. S. Mishukova
Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kherson, Ukraine

UTILIZATION EFFICIENCY OF AGRICULTURAL CROPS RESIDUES OF CROP ROTATION AS FERTILIZATION AT IRRIGATION IN THE SOUTH OF UKRAINE

The aim of the research is to establish the directions of formation of humus and nutrient regime of dark chestnut soil while using post-harvest residues as a fertilizer in addition to various basic tillage systems and doses of mineral fertilizations in 4-year tilled row-crop rotation under irrigation. The field, quantitative-weighting, laboratory, calculation-comparative and mathematical-statistical methods with the use of universally recognized methods and methodological recommendations were applied in Ukraine. The results of the study indicate that depending on the main tillage systems on the nonfertilized ground 4.0 to 4.8 t per ha of

frondiferous mass of crops entered the soil. The entry of mineral fertilizers with the dose of $N_{82.5}P_{60}$ per 1 hectare resulted in an increase in yields and accordingly the weight of crop residues increased (up to 7.4–8.3 t per ha). The conclusion was made that the replacement of moldboard and non moldboard main soil tillage at different depth with systematic small disc loosening causes a decrease in crop rotation productivity on an unfertilized background to 2.91 tons grain unit/ha, in the variant with $N_{82.5}P_{60}$ application – up to 5.81 tons grain unit/ha, in the variant with $N_{120}P_{60}$ application – up to 6.75 tons grain unit/ha, or 35 and 44 %, respectively.
Key words: dose of mineral fertilizers, post-harvest residues, humus, basic tillage system, plowing.

Введение. Современные условия в аграрном секторе побуждают к поиску технологий, построенных на самообеспечении энергетическими ресурсами, для экологически восстановительного функционирования агросистем.

К сожалению, трудно выразить в экономических показателях влияние удобрений на плодородие почв. Одним из путей решения проблемы компенсации отрицательного баланса гумуса и питательных веществ может быть более полное использование местных сырьевых ресурсов, нетрадиционных органических удобрений, широкое использование бобовых культур, подбор научно обоснованных структур посевных площадей, в т. ч. и в направлении увеличения удельного веса многолетних бобовых трав.

Гумусное состояние почв является основным показателем их потенциального плодородия, поэтому его сохранение и возобновление – одна из наиболее важных задач аграрной науки Украины.

В сравнении с другими агротехническими приемами, как свидетельствует анализ научных литературных источников, недостаточно изучено влияние способов и глубины обработки в севооборотах на динамику накопления органического вещества, которое является важнейшей составной частью почвы и роль которого в процессах формирования плодородия очень важна и многогранна [1, 2].

Обработка почвы оказывает влияние на почвенную среду, изменяя интенсивность превращения свежего органического вещества растительных остатков и гумуса [3, 4]. А. Коваленко считает, что если нижняя часть пахотного слоя остается долгое время без обработки, а почва бессменно обрабатывается без оборота пласта и на глубину до 14 см, то резко снижается биологическая активность слоя 15–30 см и, соответственно, содержание основных элементов питания [5].

В связи с этим большое значение приобретает углубление исследований, посвященных изучению процессов превращения и перераспределения свежего органического вещества растительных остатков сельскохозяйственных культур при разных системах и глубине основной обработки почвы, а также дозах внесения минеральных удобрений.

Цель статьи – установление направлений формирования гумусного состояния и питательного режима темно-каштановой почвы при условии использования в качестве удобрения послеуборочных остатков на фоне применения разных систем основной обработки и доз внесения минеральных удобрений в севообороте при орошении.

Материалы и методы. Стационарный опыт заложен в 2008 г. на центральной экспериментальной базе Института орошаемого земледелия НААН Украины в 4-польном пропашном севообороте в зоне действия Ингулецкой оросительной системы. В полевом опыте изучалось пять систем основной обработки почвы (фактор А), которые отличались между собой способами и глубиной рыхления, на фоне трех систем удобрения с внесением разных доз азотно-фосфорных удобрений с использованием в качестве удобрения всей листостебельной массы культур севооборота (фактор В).

Фактор А (системы основной обработки почвы):

- система разноглубинной (от 20–22 до 28–30 см) отвальной обработки почвы;
- система разноглубинной (от 20–22 до 28–30 см) безотвальной обработки;
- система мелкой одноглубинной (12–14 см) безотвальной обработки;

- система 1 дифференцированной обработки почвы с одним щелеванием за ротацию на глубину 38–40 см;
- система 2 дифференцированной обработки почвы с одной вспашкой за ротацию севооборота.

Фактор В (система удобрения):

- система удобрения № 1. Без внесения минеральных удобрений на фоне использования в качестве удобрения всей побочной продукции сельскохозяйственных культур севооборота;
- система удобрения № 2. Внесение минеральных удобрений дозой $N_{82,5}P_{60}$ плюс побочная продукция сельскохозяйственных культур севооборота;
- система удобрения № 3. Внесение минеральных удобрений дозой $N_{120}P_{60}$ плюс побочная продукция сельскохозяйственных культур севооборота.

Почва опытного участка темно-каштановая среднесуглинистая с низким содержанием нитратов и средним – подвижного фосфора и обменного калия, содержание гумуса в слое 0–30 см – 2,15 %.

Во время эксперимента применяли полевой, количественно-весовой, лабораторный, расчетно-сравнительный, математически-статистический методы с использованием общепризнанных на Украине методик и методических рекомендаций [6, 7].

Технологии выращивания сельскохозяйственных культур в севообороте общеприняты кроме факторов, которые исследовались. Режим орошения обеспечивал поддержание предполивного порога увлажнения под посевами всех культур на уровне 70 % НВ в слое почвы 0–50 см.

Результаты и обсуждение. В результате исследований 2016–2017 гг. установлено, что в среднем за два года на фоне без удобрений в варианте разноглубинной системы отвальной основной обработки в почву поступило в расчете на 1 га площади севооборота 4,8 т послеуборочных остатков, при разноглубинной безотвальной обработке – 4,5 т, при безотвальной мелкой одноглубинной – 4,0 т, при дифференцированной 1 и дифференцированной 2 – соответственно 4,8 и 4,4 т.

Внесение минеральных удобрений дозой $N_{82,5}P_{60}$ в расчете на 1 га севооборотной площади обеспечило рост урожайности сельскохозяйственных культур в севообороте. Соответственно увеличивается масса послеуборочных остатков, которая использовалась в качестве удобрения, и по вариантам основной обработки она соответственно составляла 8,3; 7,9; 7,4; 8,3 и 7,4 т.

При дальнейшем повышении доз внесения минеральных удобрений в расчете на 1 га севооборотной площади до $N_{120}P_{60}$ масса послеуборочных остатков, использованных в качестве удобрения, возрастала на 1,1; 1,0; 0,1; 1,4 и 0,5 т/га.

Проведение расчета образования гумуса из заделанных в почву послеуборочных остатков свидетельствует о том, что на неудобренном фоне отмечается отрицательный баланс гумуса во всех вариантах систем основной обработки почвы и наивысшим он был при одноглубинной мелкой безотвальной и дифференцированной 2 с показателями 0,34 и 0,25 т/га соответственно.

На удобренных фонах с внесением $N_{82,5}P_{60}$ и $N_{120}P_{60}$ отмечается прирост гумуса. В вариантах разноглубинной отвальной и дифференцированной 1 систем основной обработки почвы прирост гумуса составил +0,77 т/га, в то время как при разноглубинной безотвальной он был ниже на 14,3 % (+0,66 т/га). При системе одноглубинной мелкой безотвальной и дифференцированной 2 обработок прирост гумуса также был позитивным. В то же время по сравнению с контролем (разноглубинной вспашкой) он был ниже соответственно на 52,6 и 39,7 % и составлял +0,37 и +0,47 т/га (таблица 1).

Для компенсации выноса элементов минерального питания с урожаем сельскохозяйственных культур мы рассчитали, сколько общего азота (N), подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) поступило в почву с корневыми и листостебельными остатками.

Таблица 1 – Поступление гумуса из растительных остатков при разных системах основной обработки почвы и удобрения в севообороте при орошении, в среднем за 2016–2017 гг.

В т/га

Показатель	Система основной обработки почвы				
	отвальная разноглубинная	безотвальная разноглубинная	безотвальная мелкая	дифференцированная 1	дифференцированная 2
Без удобрений					
Масса остатков	4,8	4,5	4,0	4,8	4,4
Прирост гумуса	0,98	0,94	0,84	1,01	0,93
Минерализация гумуса	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Баланс гумуса	–0,20	–0,24	–0,34	–0,17	–0,25
$N_{82,5}P_{60}$					
Масса остатков	8,3	7,9	7,4	8,3	7,4
Прирост гумуса	1,73	1,65	1,53	1,72	1,54
Минерализация гумуса	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Баланс гумуса	+0,55	+0,47	+0,35	+0,54	+0,36
$N_{120}P_{60}$					
Масса остатков	9,4	8,9	7,5	9,7	7,9
Прирост гумуса	1,98	1,84	1,55	1,95	1,65
Минерализация гумуса	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Баланс гумуса	+0,78	+0,66	+0,37	+0,77	+0,4

На неудобренном фоне при разноглубинной основной обработке с оборотом пласта (контроль) в почву поступило: N – 21,8; P_2O_5 – 10,9 и K_2O – 26,7 кг, а в варианте дифференцированной 1 с одним щелеванием на 38–40 см за ротацию четырехпольного севооборота: N – 22,0; P_2O_5 – 11,0; K_2O – 26,4 кг в расчете на 1 га площади севооборота.

Подобная закономерность отмечалась и на удобренных фонах, в то же время показатели поступления элементов минерального питания были существенно выше.

При внесении дозы $N_{82,5}P_{60}$ с растительными остатками в почву поступило азота, фосфора и калия на 70–80 % больше, чем на неудобренном фоне.

Поступление азота, фосфора и калия в почву при отвальной разноглубинной обработке и дозе внесения $N_{120}P_{60}$ составило: N – 42,6; P_2O_5 – 21,3 и K_2O – 51,1 кг/га, что больше на 91,4–95,4 % сравнительно с неудобренным фоном (контролем).

При разноглубинной безотвальной и дифференцированной 1 системах основной обработки уменьшение поступления NPK по сравнению с контролем было несущественным и составляло 1,8; 1,5 и 1,7 % (таблица 2).

Лишь при системе мелкой безотвальной обработки на одинаковую глубину в севообороте и на всех фонах удобрения отмечалось существенное снижение поступления всех элементов минерального питания по сравнению с системой разноглубинной отвальной обработки.

В целом внесение минеральных удобрений и использование в качестве удобрения послеуборочных (листостебельных и корневых) остатков способствовали созданию разных уровней содержания элементов минерального питания в начале весенней вегетации озимых и появления всходов яровых зерновых и технических культур.

На фоне без внесения минеральных удобрений с использованием только послеуборочных остатков в начале вегетации сельскохозяйственных культур севооборота содержание подвижных соединений минерального питания наивысшим было в варианте разноглубинной системы основной отвальной обработки и составляло (мг/кг почвы): нитратов – 25,5; подвижного фосфора – 30,8 и обменного калия – 270.

Таблица 2 – Поступление в почву NPK с послеуборочными остатками при разных системах основной обработки и удобрения в севообороте при орошении, в среднем за 2016–2017 гг.

Система обработки почвы	Послеуборочных остатков, т/га					Питательных веществ, кг/га		
	пшеницы озимой	сои	сорго зерного	кукурузы на зерно	среднее	N	P_2O_5	K_2O
Без удобрений (контроль)								
Отвальная разноглубинная	5,4	3,0	4,9	5,7	4,8	21,8	10,9	26,7
Безотвальная разноглубинная	5,2	2,8	4,8	5,1	4,5	20,5	10,2	24,5
Безотвальная мелкая	5,0	2,7	4,2	4,2	4,0	18,2	9,2	22,0
Дифференцированная 1	5,3	3,0	5,1	5,8	4,8	22,0	11,0	26,4
Дифференцированная 2	5,2	2,9	4,8	4,8	4,4	20,3	10,1	24,3
Фон $N_{82,5}P_{60}$								
Отвальная разноглубинная	8,1	3,5	8,2	13,4	8,3	37,6	18,8	45,1
Безотвальная разноглубинная	7,8	3,3	8,0	12,5	7,9	35,8	18,0	43,0
Безотвальная мелкая	7,6	3,1	6,8	11,9	7,4	33,2	16,6	39,8
Дифференцированная 1	8,1	3,5	8,7	12,7	8,3	37,5	18,8	45,0
Дифференцированная 2	7,8	3,1	7,8	10,7	7,4	33,4	16,7	40,1
Фон $N_{120}P_{60}$								
Отвальная разноглубинная	9,0	3,9	8,5	16,2	9,4	42,6	21,3	51,1
Безотвальная разноглубинная	8,6	3,7	8,3	14,9	8,9	40,1	20,1	47,4
Безотвальная мелкая	8,1	3,3	6,9	11,6	7,5	33,9	16,9	40,6
Дифференцированная 1	8,8	3,7	9,6	16,7	9,7	43,2	21,6	51,8
Дифференцированная 2	8,5	3,4	8,1	12,3	7,9	36,6	18,3	43,9

Внесение минеральных удобрений дозой $N_{82,5}P_{60}$ обеспечило рост содержания всех элементов минерального питания. В то же время преимущество осталось за системой разноглубинной обработки с оборотом пласта.

Наибольшее содержание нитратов (66,1 мг/кг), подвижного фосфора (40,9 мг/кг) и обменного калия (286 мг/кг почвы) формировалось при внесении минеральных удобрений дозой $N_{120}P_{60}$ на 1 га севооборотной площади и разноглубинной отвальной системе обработки. Разноглубинная безотвальная и дифференцированные системы основной обработки обеспечили в начале вегетации близкие к системе разноглубинной вспашки показатели, и только система одноглубинного мелкого безотвального рыхления привела к существенному снижению содержания доступных форм минерального питания в слое почвы 0–40 см в начале весенней вегетации культур севооборота (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание питательных веществ в слое почвы 0–40 см при разных системах обработки почвы и удобрения в севообороте при орошении (в среднем за 2016–2017 гг., начало вегетации)

В мг/кг почвы

Система обработки почвы	Без удобрений, фон (контроль)			Доза удобрений $N_{82,5}P_{60}$			Доза удобрений $N_{120}P_{60}$		
	NO_3	P_2O_5	K_2O	NO_3	P_2O_5	K_2O	NO_3	P_2O_5	K_2O
Отвальная разноглубинная	25,5	30,8	270	51,9	39,5	286	66,1	40,9	303
Безотвальная разноглубинная	21,9	26,9	252	44,2	36,7	276	54,7	37,0	286
Безотвальная мелкая	16,6	26,1	232	32,5	33,5	242	45,9	34,8	258
Дифференцированная 1	21,1	28,7	254	45,7	37,5	273	55,1	39,5	286
Дифференцированная 2	20,0	27,5	245	44,2	35,3	265	51,8	36,8	253

Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что под воздействием систем основной обработки почвы и удобрения произошли изменения гумусного состояния и питательного режима, что обусловило создание разных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур и формирования урожая. Вследствие этого урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность севооборота были разными.

Результаты учета урожайности сельскохозяйственных культур и расчета продуктивности севооборота на неудобренном фоне (контроле) свидетельствуют о том, что наивысший выход зерновых единиц в расчете на 1 га севооборотной площади получен при дифференцированной 1 системе основной обработки почвы с одним щелеванием на глубину 38–40 см за ротацию севооборота и отвальной разноглубинной обработке (в этих вариантах он соответственно составил 4,12 и 4,02 т/га при $НСР_{0,5}$ 0,18 т/га).

Применение разноглубинной безотвальной и дифференцированной 2 систем основной обработки вызвало снижение продуктивности севооборота до 3,62 и 3,56 т/га, что ниже на 10,0 и 11,5 % по сравнению с контролем. Существенное снижение продуктивности отмечено и в варианте длительного применения одноглубинной безотвальной мелкой (12–14 см) обработки почвы с показателями 2,91 т з. е./га, что ниже, чем на контроле, на 38,5 %.

Продуктивность севооборота на фоне внесения $N_{82,5}P_{60}$ под пшеницу озимую, $N_{90}P_{60}$ под сорго, $N_{30}P_{60}$ под сою и $N_{120}P_{60}$ под кукурузу на зерно выросла сравнительно с неудобренным фоном на 98,0–107,5 % в соответствии с системами основной обработки.

Повышение дозы внесения минеральных удобрений до $N_{120}P_{60}$ способствовало росту продуктивности севооборота, выражающейся в выходе зерновых единиц, по сравнению с дозой внесения $N_{82,5}P_{60}$ на 12,3–14,2 %.

Выводы. Использование листостебельной и корневой массы сельскохозяйственных культур в качестве удобрения положительно повлияло на содержание гумуса и элементов минерального питания в почве.

Комплексное применение послеуборочных остатков с минеральными удобрениями способствовало накоплению подвижных форм азота, фосфора и калия в почве.

Замена отвальной и безотвальной разноглубинной основной обработки почвы систематическим мелким дисковым рыхлением вызывает снижение продуктивности севооборота на неудобренном фоне до 2,91 т з. е./га, в варианте с внесением $N_{82,5}P_{60}$ до 5,81 т з. е./га, в варианте с внесением $N_{120}P_{60}$ до 6,75 т з. е./га, или на 35 и 44 % соответственно.

Список использованных источников

1 Научные основы производства органической продукции на Украине: монография / под ред. Я. М. Гадзало, В. Ф. Каминского. – Киев: Аграр. наука, 2016. – 596 с.

2 Балюк, С. А. Мелиорация почв (систематика, перспективы, инновации) / С. А. Балюк, М. И. Ромащенко, Р. С. Трускавецкий. – Херсон: Гринь Д. С., 2015. – 668 с.

3 Научные основы агропромышленного производства в зоне Степи Украины / редкол.: М. В. Зубец [и др.]. – Киев: Аграр. наука, 2010. – 840 с.

4 Debruck, I. Angewandte Wissenschaft / I. Debruck. – 1982.

5 Kovalenko, A. Increasing aridity climate of southern steppe of Ukraine, its effects and remedies / A. Kovalenko // 3rd UNCCD Scientific Conference, Cancun, 9–12 March 2015. – Mexico: Book of Abstracts, 2015. – P. 293–294.

6 Методика полевых и лабораторных исследований на орошаемых землях / Р. А. Вожегова [и др.]. – Херсон: Гринь Д. С., 2014. – 286 с.

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

УДК 631.6.674+633.15

М. С. Троицкая, И. В. Гурина
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

ВОДОСБЕРЕГАЮЩИЙ РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО ПРИ ПОЛИВАХ ЗАРУБЕЖНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ

Цель исследований заключалась в разработке и научном обосновании водосберегающих режимов орошения кукурузы на зерно, обеспечивающих получение устойчивой урожайности независимо от сложившихся погодных условий при снижении расхода оросительной воды на создание 1 т продукции, сохранении и восстановлении плодородия мелиорированных земель. В статье приведены результаты полевых исследований, выполненных в 2017 г. на опытно-производственном участке ООО «Исток-1» в Семикаракорском районе Ростовской области. В полевом опыте изучались варианты: на опытно-производственных участках поливные нормы снижались на 15 и 30 % в критические фазы вегетации кукурузы, в производственных посевах использовался оптимальный режим орошения. Основным критерием для установления сроков полива служил предполивной порог влажности в активном слое почвы. Режим орошения в оптимальном варианте складывался из девяти вегетационных поливов: поливная норма первого полива составила 300 м^3/га, второго и третьего – по 400 м^3/га, поливы с четвертого по девятый проводились нормами 500 м^3/га. Оросительная норма составила 4100 м^3/га. В варианте со снижением поливной нормы на 15 % также было дано девять вегетационных поливов. Поливные нормы первых трех поливов были такими же, как и в варианте с оптимальным режимом орошения. С четвертого по девятый полив величины поливных норм были снижены на 15 % и составили 425 м^3/га. Оросительная норма была равна 3650 м^3/га. В варианте со снижением поливных норм на 30 % было также проведено девять поливов. Поливные нормы первых трех поливов были такими же, как и в оптимальном варианте. Снижение поливных норм проводилось с четвертого по девятый полив. Нормы этих поливов составили 350 м^3/га. Оросительная норма – 3200 м^3/га. Установлено, что применение водосберегающих режимов орошения приводит к экономии оросительной воды от 11 % (при снижении поливных норм на 15 %) до 22 % (при их снижении на 30 %), однако оказывает влияние на продуктивность. В варианте опыта, в котором применялся режим орошения со снижением величин поливных норм на 15 %, уменьшение биологической урожайности зерна составило 10,4 %, в варианте со снижением на 30 % – 17,6 %.

Ключевые слова: орошение, водосберегающий режим орошения, кукуруза на зерно, поливная норма, оросительная норма, вегетационные поливы, дождевальная техника.

****

M. S. Troitskaya, I. V. Gurina
Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

WATER-SAVING IRRIGATION REGIME OF GRAIN MAIZE AT IRRIGATION BY FOREIGN SPRINKLING MACHINES

The purpose of the research was to develop and scientifically substantiate the water-saving irrigation regimes for grain maize that ensure a stable yield regardless of existing weather conditions while reducing the irrigation water discharge to create 1 ton of products, to preserve and to restore the fertility of reclaimed lands. The results of field research carried *out in 2017 at the pilot site of Istok-1 LLC in Semikarakorskiy District of Rostov Region are described in the article. The options were studied in the field experiment: at experimental production sites the watering rates were reduced by 15 and 30% during the critical phases of maize vegetation and optimal irrigation regime was used in production seeding. The main criterion for setting irrigation dates was the pre-moisture threshold in the active soil layer. Irrigation regime in the optimal version consisted of nine vegetative irrigation: the watering rate of the first irrigation was 300 m^3/ha, the second and third – 400 m^3/ha, irrigations from the fourth to the ninth were carried out with the rates of 500 m^3/ha. The irrigation rate was 4100 m^3/ha. In the variant with a decrease in watering rate by 15 %, there were also nine vegetative irrigations. The watering rates of the first three irrigation systems were the same as in the variant with the optimal irrigation regime. From the fourth to the ninth watering rates were reduced by 15 % and were 425 m^3/ha. The irrigation rate was 3650 m^3/ha. In the variant with a decrease in irrigation rates nine irrigations were also carried out by 30 %. The watering rates of the first three irrigation systems were the same as in the optimal version. Reduction of irrigation standards was carried out from the fourth to the ninth watering. The rates of these irrigation were 350 m^3/ha. The irrigation rate is 3200 m^3/ha. It has been found that the use of water-saving irrigation regimes leads to the irrigation water saving from 11 % (with a 15 % drop in watering rates) to 22 % (with a decrease of 30 %), but has an impact on productivity. In the variant of the experiment in which the irrigation regime was applied with a decrease in the values of watering rates by 15 %, the decrease in the biological yield of grain was 10.4 %, in the variant with a decrease by 30 % – it was 17.6 %.*

Key words: irrigation, water-saving irrigation regime, maize for grain, watering rate, irrigation rate, vegetative irrigation, sprinkling machines.

Введение. Одной из важнейших сельскохозяйственных культур является кукуруза, которая обладает высокой потенциальной урожайностью и имеет универсальное использование. Почти во всех кукурузосеющих странах кукурузу выращивают на зерно, которое используется в продовольственных, кормовых и технических целях. Кукуруза имеет большое агрономическое и экологическое значение. Она хороший предшественник для многих культур, в частности для озимой пшеницы. Раннеспелую кукурузу можно выращивать на зерно в поукосных и пожнивных посевах, а также использовать как страховую культуру в случае гибели озимых и яровых культур. Кукуруза является культурой, очень отзывчивой на орошение. В районах недостаточного или неустойчивого увлажнения орошение является фактором стабилизации ее урожаев [1].

Известно, что основным условием эффективного применения орошения является рационализация использования водных ресурсов. В настоящее время наблюдается острый дефицит оросительной воды, что связано как со сложившимися климатическими условиями, так и с состоянием имеющихся мелиоративных систем, многие из которых нуждаются в проведении комплексной реконструкции [2]. Решение проблемы повышения эффективности использования орошаемых земель возможно при внедрении новых подходов к возделыванию сельскохозяйственных культур с использованием инновационных ресурсосберегающих технологий. В связи с этим актуальны исследования, которые направлены на разработку и научное обоснование водосберегающих режимов орошения кукурузы на зерно, обеспечивающих получение устойчивой урожайности независимо от сложившихся погодных условий при снижении расхода оросительной воды на создание 1 т продукции, сохранении и восстановлении плодородия мелиорированных земель.

Материалы и методы. Исследования, посвященные разработке водосберегающих режимов орошения кукурузы на зерно, проводились в 2017 г. в ООО «Исток-1», расположенном в центральной орошаемой зоне Ростовской области. Изучались варианты: на опытно-производственных участках выполнялось снижение поливной нормы на 15 и 30 % в критические фазы вегетации кукурузы на зерно, в производственных посевах использовался разработанный ранее оптимальный режим орошения [3]. Посевы кукурузы на зерно размещались на площади 78 га. Предшественником являлся картофель. При возделывании кукурузы на зерно применялась общепринятая агротехника.

Почвы опытно-производственных участков представлены черноземами обыкновенными, которые обладают следующими показателями водно-физических свойств: наименьшая влагоемкость в слое 0,6 м – 27,2 %, плотность сложения в слое 0,6 м – 1,33 г/см^3, общая скважность в слое 0–100 см – 50 %, максимальная гигроскопичность – 10,5 %. Содержание подвижного фосфора в начале вегетации на посевах кукурузы на зерно в слое почвы 0–40 см составило 27,5 мг/кг, подвижного калия – 280 мг/кг. К концу вегетации было установлено, что содержание P_2O_5 в слое почвы увеличилось до 79,5 мг/кг, а K_2O – до 390 мг/кг. Однако в целом почва под посевами кукурузы на зерно была хорошо обеспечена питательными веществами.

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) достаточно насыщен кальцием (0,73 мг-экв/100 г почвы), что говорит об устойчивости почв к осолонцеванию. Анализ водной вытяжки показал, что избытка солей в почве нет и она пригодна для возделывания сельскохозяйственных культур, в т. ч. и кукурузы на зерно.

Глубина залегания грунтовых вод была более 5–10 м, следовательно, на рост и развитие исследуемой культуры они влияния не оказывали.

Орошение осуществлялось из Нижне-Донского канала. Проведенный анализ химического состава оросительной воды позволил установить, что она пригодна для полива. Орошение посевов кукурузы осуществлялось дождевальной машиной Valley кругового действия.

Метеорологические показатели 2017 г. в сравнении со средними многолетними данными приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Метеорологические показатели в сравнении со среднемноголетними данными (м/с Семикаракорск), 2017 г.

Климатический показатель	Год	Месяц						Среднее за вегетационный период
		04	05	06	07	08	09	
Среднесуточная температура воздуха, °С	2017	9,8	15,4	20,6	24,3	25,8	18,6	19,1
	Средние многолетние данные	9,0	16,5	20,4	23,5	22,6	16,4	18,1
Осадки, мм	2017	49,8	42,0	58,5	24,0	77,0	29,0	$\sum = 280,3$
	Средние многолетние данные	33,0	37,0	45,0	38,0	36,0	29,0	$\sum = 218,0$
Относительная влажность воздуха, %	2017	66	65	65	55	42	58	59
	Средние многолетние данные	67	59	56	53	54	59	58

Анализ представленных данных позволил установить, что среднесуточная температура воздуха во все месяцы вегетационного периода, кроме мая, превышала климатическую норму. В мае среднесуточная температура воздуха на 1,1 °С была меньше средней многолетней величины. Особенно теплыми были последние месяцы вегетации (август и сентябрь). Среднесуточная температура воздуха в августе и сентябре на 3,2 и 2,2 °С соответственно превысила норму.

Осадки распределялись по месяцам вегетационного периода 2017 г. неравномерно. В апреле, мае и июне их выпало на 16,8; 5,0 и 13,5 мм соответственно больше нормы. Июль можно охарактеризовать как самый засушливый месяц периода вегетации 2017 г. В этом месяце выпало 24,0 мм осадков, что на 14 мм меньше средней многолетней величины. Самым влажным месяцем вегетационного периода был август, так как в этом месяце осадков выпало в 2,1 раза больше средней многолетней величины. Количество выпавших в сентябре атмосферных осадков было в пределах нормы. В целом следует отметить, что период вегетации 2017 г. можно охарактеризовать как хорошо обеспеченный осадками, поскольку сумма выпавших атмосферных осадков составила 280,3 мм, что на 62,3 мм превысило среднюю многолетнюю величину.

Показатели относительной влажности воздуха в апреле, июле и сентябре были в пределах нормы, в остальные месяцы вегетационного периода они превышали средние многолетние данные.

Оценка увлажненности территории выполнялась с использованием гидротермического коэффициента (ГТК), который имеет наиболее широкое применение как в нашей стране, так и за рубежом. Выполненными расчетами установлено, что ГТК в 2017 г. составил 0,84, это позволило охарактеризовать вегетационный период данного года как полузасушливый.

В целом следует отметить, что в 2017 г. сложились метеоусловия, не совсем благоприятные для произрастания сельскохозяйственных культур, и в частности кукурузы на зерно, что подтверждает необходимость орошения.

Полевые исследования проводились в соответствии с общепринятыми методиками [4–8].

Результаты и обсуждение. При проведении исследований в качестве основного критерия для установления сроков полива принимался предполивной порог влажности в активном слое почвы изучаемой сельскохозяйственной культуры. Влажность почвы определялась в расчетном слое, который для кукурузы на зерно составлял 0–60 см.

Режим орошения кукурузы на зерно в оптимальном варианте складывался из девяти вегетационных поливов: поливная норма первого полива составила 300 м^3/га, второй и третий поливы были проведены нормами 400 м^3/га, а поливы с четвертого по девятый проводились нормами 500 м^3/га. Таким образом, оросительная норма в данном варианте составила 4100 м^3/га (таблица 2).

Таблица 2 – Режим орошения кукурузы на зерно, 2017 г.

Номер полива	Вариант полевого опыта					
	Снижение поливной нормы на 15 %		Снижение поливной нормы на 30 %		Оптимальный режим орошения	
	Дата проведения	Поливная норма, м^3/га	Дата проведения	Поливная норма, м^3/га	Дата проведения	Поливная норма, м^3/га
1	31.05	300	31.05	300	31.05	300
2	15.06	400	15.06	400	15.06	400
3	21.06	400	21.06	400	21.06	400
4	05.07	425	05.07	350	05.07	500
5	15.07	425	15.07	350	15.07	500
6	25.07	425	25.07	350	25.07	500
7	03.08	425	03.08	350	03.08	500
8	13.08	425	13.08	350	13.08	500
9	22.08	425	22.08	350	22.08	500
$N_{ор}$	–	3650	–	3200	–	4100

В вариантах опыта, в которых применялось водосбережение, величины поливных норм снижались на 15 и 30 % в период «пикового» спроса на оросительную воду. В варианте со снижением поливной нормы на 15 % режим орошения также предусматривал проведение девяти вегетационных поливов: поливная норма первого полива составила 300 м^3/га, поливные нормы второго и третьего – 400 м^3/га. С четвертого по девятый полив величины поливных норм в данном варианте опыта были снижены на 15 % и составили 425 м^3/га. Оросительная норма была равна 3650 м^3/га.

В варианте, в котором величины поливных норм снижались на 30 %, режим орошения кукурузы на зерно также складывался из девяти поливов. Поливные нормы первых трех поливов были такими же, как и в варианте с оптимальным режимом орошения. Снижение величин поливных норм на 30 % происходило с четвертого по девятый полив. Нормы этих поливов составили 350 м^3/га. Оросительная норма кукурузы на зерно в данном варианте опыта была равна 3200 м^3/га.

Применение дифференцированного подхода к определению величин поливных норм водосберегающих режимов орошения позволило сэкономить оросительную воду. В варианте опыта со снижением величин поливных норм на 15 % за период вегетации было подано на 11 % меньше оросительной воды на 1 га, а в варианте, в котором поливные нормы были снижены на 30 %, – на 22 % меньше, чем в варианте, в котором применялся оптимальный режим орошения кукурузы на зерно.

Применение различных вариантов режимов орошения (оптимального, со снижением поливных норм на 15 %, со снижением поливных норм на 30 %) оказало влияние на продуктивность кукурузы на зерно. Проведенный учет биологической урожайности позволил установить, что в варианте опыта, в котором применялся оптимальный режим орошения, она составила 12,5 т/га, а в вариантах опыта со снижением поливных норм на 15 и 30 % – 11,2 и 10,3 т/га соответственно. Следует отметить, что в вариантах, в которых растения поливались сниженными поливными нормами, биологическая урожайность зерна кукурузы уменьшилась на 10,4 % (при снижении величин поливных норм на 15 %) и на 17,6 % (при снижении на 30 %) по сравнению с вариантом опыта, в котором поливы проводили оптимальными нормами.

Выводы. Результаты проведенных исследований позволили установить, что применение водосберегающих режимов орошения при возделывании кукурузы на зерно приводит к экономии оросительной воды от 11 % (при снижении величин поливных норм на 15 %) до 22 % (при их снижении на 30 %). Однако это оказывает влияние на продуктивность кукурузы на зерно. В варианте опыта, в котором применялся режим орошения со снижением величин поливных норм на 15 %, уменьшение биологической урожайности зерна составило 10,4 %, в варианте, в котором поливали сниженными на 30 % нормами, – 17,6 %. Полученные результаты не являются окончательными, исследования планируется продолжить.

Список использованных источников

1 Перспективная ресурсосберегающая технология производства кукурузы на зерно: метод. рекомендации / под рук. В. С. Сотченко. – М.: Росинформагротех, 2009. – 72 с.

2 Импортозамещение в АПК России: проблемы и перспективы: монография / отв. за вып. И. Г. Ушачев. – М.: ВНИИЭСХ, 2015. – 447 с.

3 Научно-обоснованные рекомендации по режимам орошения основных сельскохозяйственных культур современной дождевальной техникой в условиях Юга России / Н. А. Иванова, Н. В. Михеев, С. Ф. Шемет, И. В. Гурина; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. – Новочеркасск, 2015. – 34 с.

4 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1968. – 123 с.

5 Шевченко, П. Д. Практическое руководство по методике проведения опытов на степных агроландшафтах / П. Д. Шевченко, Г. В. Ольгаренко, Н. А. Иванова. – Новочеркасск, 2001. – 114 с.

6 Астапов, В. С. Мелиоративное почвоведение: практикум / В. С. Астапов. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 367 с.

7 Горянский, М. М. Методика полевых опытов на орошаемых землях / М. М. Горянский. – М.: Урожай, 1970. – 172 с.

8 Плешаков, В. Н. Методика полевого опыта в условиях орошения / В. Н. Плешаков. – Волгоград, 1983. – 147 с.

УДК 626.81

Э. Э. Сейтумеров
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

ВОЗРОЖДЕНИЕ ХЛОПКОВОДСТВА В КРЫМУ

Целью исследований была закладка опытов по оценке возможности выращивания (интродукции) хлопчатника сорта Феникс в природно-климатических условиях Крыма. Скороспелый сорт Феникс выведен федеральным государственным унитарным предприятием «Прикумская опытно-селекционная станция». В статье приводятся основные результаты исследований возможности выращивания хлопчатника в Крыму при капельном поливе.

Ключевые слова: хлопчатник, капельный полив, фазы развития хлопчатника, вредители и болезни, биологическая урожайность, затраты воды на единицу урожая, суммарное испарение, орошение.

****

E. E. Seitumerov
Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

REVIVAL OF COTTON CULTIVATION IN CRIMEA

The purpose of the research was to set up experiments to assess the possibility of cultivating (introducing) cotton Phoenix variety under the climatic conditions of the Crimea. The early ripening Phoenix variety is produced by the federal state unitary enterprise “Prikumskaya Experimental Selection Station”. The main results of research on the possibility of growing cotton in the Crimea with drip irrigation are presented.

Keywords: cotton, drip irrigation, cotton development phases, pests and diseases, biological yield, water consumption per crop unit, total evaporation, irrigation.

Введение. Хлопок – самое распространенное и экологически чистое сырье для изготовления всевозможных видов тканей. В производстве растительных волокон на долю хлопчатника приходится до 75 %. Из хлопчатника можно получить до 75 видов продукции. 1 т хлопка-сырца (семена с волокном) дает до 320 кг волокна, 650 кг семян, 10 кг короткого волокна – линта длиной 4–5 мм. Из волокна хлопчатника вырабатывают ткани бытового назначения (сатин, ситец, батист, парашютную), взрывчатые вещества. Линт применяют для изготовления искусственного шелка, бумаги, изоляционных тканей. Семена используют для получения пищевого и технического масел, а отходы идут на корм животным. Стебли пригодны для выработки бумаги, лаков, спирта.

О возрождении хлопководства в Крыму активно заговорили в конце 1990-х и начале 2000-х гг. [1, 2]. В 1992 г. были начаты исследования возможности выращивания хлопчатника в степной зоне Крыма в условиях орошения в зоне действия СКК. Целью данных исследований стала разработка режима орошения хлопчатника с внедрением этой культуры в полевые севообороты орошаемой зоны Крыма.

В 2003 г. производственные научные исследования проводились на 5 га (ГП ОХ «Крым» КНИЦ ИГиМ НААНУ, с. Желябовка Нижнегорского района) [3]. Урожайность хлопка-сырца на производственном участке составила 20–25 ц/га (на опытных участках урожайность колебалась от 17 до 32 ц/га). Качество волокна соответствовало 4–5-му типу, т. е. было пригодно для переработки на хлопкоочистительных предприятиях.

По результатам исследований и производственного посева была разработана агротехника хлопчатника в Крыму в условиях орошения. Определены расчетные затраты на выращивание хлопчатника, которые составили 240–250 долл./га.

В последующие годы появилось несколько экспериментальных участков. По результатам исследований специалисты Московского НИИ хлопчатобумажной промышленности пришли к выводу, что «в Крыму есть возможность выращивать сырец первых сортов». Министерство агропромышленного комплекса бывшей автономной республики начало разрабатывать специальную программу, но, увы, в промышленных масштабах хлопок на поля Крыма не вернулся.

Несколько лет назад ученые Крымского инженерно-педагогического университета во главе с Ф. Якубовым исследовали проблемы выращивания хлопчатника в Сакском районе, где опробовали разные технологии [4]. Они пришли к выводу, что выращивать хлопок в Крыму в наши дни экономически выгодно.

Эксперты считают, что возрождение хлопководства в Крыму, как и на Ставрополье, в Калмыкии, Астраханской области, Нижнем Поволжье, не только позволит развиваться региону, но и значительно снизит импорт хлопка в нашу страну. Так, на Всероссийском агрономическом совещании в январе 2018 г. выступил директор департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации П. А. Чекмарев [5].

«Начинается работа по производству хлопка, это новая культура, мы созрели. В настоящее время отработаны все вопросы технологий. В этом году около одной тысячи гектаров хлопка будет посеяно в Астрахани и Волгограде. У нас, в Российской Федерации, есть возможность найти 200 тысяч гектаров площадей, которые подходят для выращивания хлопка. Поэтому эту работу будем продолжать и совершенствовать для того, чтобы обеспечить Россию и этим сырьем. Я только что вернулся из Узбекистана. Через три года мы хлопка из этих регионов не получим – у них активным образом ведется строительство перерабатывающих комбинатов, и они ни одной тонны хлопка нам не продадут», – заявил П. А. Чекмарев.

По материалам Минсельхоза РФ, при условии восстановления имеющихся и строительства новых мелиоративных систем максимальная площадь возделывания хлопчатника в России оценивается в 221,54 тыс. га (47,44 тыс. га в Астраханской, 10 тыс. га в Волгоградской областях, 120 тыс. га в Ставропольском крае, 34,1 тыс. га в Калмыкии и 10 тыс. га в Крыму). Потребность российских предприятий в хлопковом волокне оценивается в 64,4 тыс. т в 2017 г., в 68,2 тыс. т в 2018 г. и в 71,1 тыс. т в 2019 г.

Результаты и обсуждение. Для изучения возможности выращивания хлопчатника в природно-климатических условиях полуострова был заложен экспериментальный опытный участок на площади в 0,1 га. Семена хлопчатника скороспелого сорта Феникс предоставило ФГПУ «Прикумская опытно-селекционная станция». Вегетационные исследования, посвященные изучению влияния природно-климатических условий Крыма на возможность выращивания хлопчатника, проводились на землях отдела селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» в с. Укромном Симферопольского района.

Рельеф. Территория Укромновского сельского поселения находится в пределах равнинной части Крыма, в центре полуострова, расположено в пределах Центрально-Крымской структурно-денудационной равнины. Данная равнина имеет однообразную, почти плоскую поверхность, расчлененную неглубокими, очень широкими долинами и балками. Практически вся территория поселения находится в пределах широкой долины р. Салгир и выходит за ее пределы лишь на западной границе. Рельеф территории равнинный с небольшим уклоном на север и в сторону русла р. Салгир, абсолютные отметки поверхности снижаются от 190 м на юге до 170 м на севере.

Агроклиматические условия. Территория, на которой проводятся вегетационные опыты по изучению возможности выращивания хлопчатника в природно-климатических условиях Крыма, находится в третьем нижнем предгорном агроклиматическом районе.

Средние суммы температур 3100–3300 °С. По характеру зимнего режима, а также по морозоопасности весны и осени этот район относится к северному подрайону с мягкой зимой, в котором средний минимум температуры составляет около минус 18 – минус 21 °С, в отдельные годы морозы могут достигать минус 30 – минус 35 °С. Весенние заморозки заканчиваются позднее, а осенние начинаются раньше перехода температуры через 10 °С. Поэтому вероятность повреждения культур заморозками здесь больше, чем в смежном степном подрайоне. К числу неблагоприятных особенностей следует отнести фоновые явления, наиболее ярко проявляющиеся в предгорных районах. В некоторые годы оттепели, усиленные интенсивными и продолжительными фонами, вызывают активную вегетацию с несвоевременным развитием почек и даже цветением отдельных пород плодовых культур.

Температура почвы на глубине 20 см в отдельные годы может понизиться до минус 8 °С. Среднегодовая сумма осадков составляет 509 мм, а за апрель – октябрь – 280 мм. Оптимальная влажность воздуха в среднем 75–80 % весной, летом она снижается иногда до 20–30 % и ниже. Лето, как правило, теплое, в июле – августе знойное с дневными температурами +24…+40 °С. Сумма осадков за лето составляет 280 мм, но большая их часть выпадает в виде ливней и, не успевая просочиться, стекает в понижения рельефа. Большинство ливней приходится на июнь – июль. Иногда в мае – июне вообще не выпадает дождей, часто налетают суховеи, в результате происходит запал растений, что впоследствии приводит к снижению урожая.

Метеорологические показатели 2018 г. в с. Укромном Симферопольского района показаны в таблице 1. Наблюдения в 2018 г. на метеостанции (WMO ID) 33946, расположенной в г. Симферополе (аэропорт), показали превышение средней температуры воздуха почти во всех месяцах над среднемноголетними значениями на 1,2–3,6 °С.

Таблица 1 – Метеорологические показатели за вегетационный период 2018 г. по метеостанции в г. Симферополе (согласно данным сайта http:pogoda.ru.net)

Наименование	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август
Средняя температура воздуха за месяц, °С	13,5	18,6	22,2	23,5	24,8
Среднее многолетнее значение, °С	9,9	15,1	19,5	22,3	22,0
Сумма осадков за месяц, мм	4	35	11	89	0
Среднее многолетнее значение, мм	34	34	58	47	52

Относительная влажность воздуха была ниже среднемноголетних значений на 0–20 %. Апрель, июнь и август были в 2018 г. самыми засушливыми месяцами. Осадков выпало меньше среднемесячной нормы в апреле, июне и августе на 30 и 52 мм соответственно. За вегетационный период превышение количества осадков наблюдалось только в июле (на 42 мм). За вегетационный период май – август 2018 г. на опытном участке выпало 135 мм осадков, что на 67 % меньше аналогичного периода 2017 г.

Почвенные условия. Опытный участок расположен в долине р. Салгир, на ровной пойменной террасе и имеет слабый уклон на северо-запад. Почвы черноземные, обыкновенные, мицеллярно-карбонатные, предгорные тяжелосуглинистые, распространены в пределах предгорной степи. Почвообразующими породами служат краснобурые суглинки и глины. Мощность гумусового горизонта достигает 50–60 см. Наличие по профилю карбонатных новообразований в форме псевдомицелия, жилок, выраженной белоглазки. Наблюдается скопление кристаллического гипса.

Рыхлость сложения верхних перегнойных горизонтов и уплотненность переходного и особенно карбонатно-иллювиального горизонта. Поврежденность почвенных горизонтов землероями. Содержание физической глины в верхних горизонтах колеблется в пределах 47–74 %. С глубиной механический состав становится тяжелосуглинистым. Содержание гумуса в верхних горизонтах на целине достигает 4,4–4,6 %, в распахиваемых почвах 2,9–3,6 %. С глубиной количество гумуса уменьшается постепенно. Его общие запасы в метровой толще составляют 280–300 т/га. Валового азота в верхней части гумусового слоя содержится 0,21–0,30 %, гидролизуемого в пределах 5–11 мг, что свидетельствует о высокой обеспеченности данных почв подвижным азотом. Содержание фосфорной кислоты в карбонатных черноземах невысокое. В верхнем горизонте количество валового фосфора составляет 0,07–0,16 %, подвижного фосфора 0,5–6,0 мг/100 г почвы. Запасы валового калия в карбонатных черноземах составляют 1,1–2,6 %, подвижного 16–43 мг/100 г.

Емкость поглощения в верхних горизонтах равна 32–39 мг-экв. Коллоидный комплекс насыщен кальцием, количество которого составляет 80–98 % от суммы обменных оснований. Поглощенного натрия содержится не более 2–4 % от емкости обмена.

Черноземы обыкновенные мицеллярно-карбонатные предгорные составляют основной фонд пахотных земель Крыма, характеризуются достаточно благоприятными физическими и водно-физическими условиями. Они обладают высокой микроагрегированностью. Коэффициент дисперсности колеблется большей частью в пределах 6–12. Количество водопрочных агрегатов размером > 0,25 мм в гумусовом горизонте составляет 72–77 %. Содержание наиболее агрономически ценных агрегатов (размером > 1 мм) равно 33–42 %. Агрегатное состояние распахиваемых почв в пахотном слое также большей частью удовлетворительное. Количество водопрочных агрегатов составляет здесь 52–66 %.

Удельная масса твердой фазы почв определяется ее минералогическим составом и содержанием в ней органического вещества. В верхних горизонтах почв Крыма она колеблется в пределах от 2,63 до 2,69 г/см^3 и возрастает с глубиной по профилю до 2,7–2,75 г/см^3. Объемная масса в пахотных горизонтах составляет 1,01–1,15 г/см^3 и в подпахотных возрастает до 1,20–1,39 г/см^3. С глубиной по профилю в нижележащих слоях она колеблется в пределах от 1,24 до 1,47 г/см^3. Наибольшая степень уплотнения характерна для иллювиально-карбонатных горизонтов.

Водно-физические свойства почвы на опытном участке представлены в таблице 2. Из данных таблицы 2 видно, что плотность сложения в горизонте 0–50 см равна 1,12 г/см^3. Удельная масса верхнего горизонта составляет 2,66 г/см^3. В нижнем горизонте 50–100 см плотность сложения – 1,36 г/см^3, а удельная масса 2,71 г/см^3. Наименьшая влагоемкость весовая в верхнем горизонте равна 28,0 %, в горизонте 50–100 см – 23,5 %. Запас воды в верхнем горизонте составляет 155,4 мм, а в метровом горизонте – 313 мм. Предполивная влажность грунта 0,75–0,80 НВ.

Таблица 2 – Водно-физические свойства почвы на опытном участке в с. Укромном Симферопольского района

Слой почвы, см	Плотность сложения, г/см^3	Удельная масса, г/см^3	Пористость общая, %	Аэрация, %	Наименьшая влагоемкость весовая, %	НВ НИ*, мм	Влажность завядания, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
0–10	1,01	2,63	61,6	28,7	32,6	32,9	14,5
10–20	1,04	2,64	60,6	29,6	29,9	63,9	28,1
20–30	1,13	2,66	57,5	26,0	27,9	95,4	42,0
30–40	1,17	2,67	55,2	25,7	26,1	125,9	55,4
40–50	1,25	2,69	53,5	24,1	23,6	155,4	68,4
Среднее значение 0–50	1,12	2,66	57,9	26,8	28,0	–	–

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
50–60	1,39	2,70	48,5	16,4	23,1	186,6	83,6
60–70	1,47	2,75	46,6	11,4	23,9	221,8	99,1
70–80	1,42	2,72	47,8	14,2	23,7	255,4	113,9
80–90	1,29	2,69	52,0	21,1	23,3	285,5	127,1
90–100	1,21	2,68	54,9	26,7	23,3	313,7	139,5
Среднее значение 50–100	1,36	2,71	49,8	18,0	23,5	–	–
Среднее значение 0–100	1,24	2,69	53,9	22,4	25,7	–	–
Примечание – НИ* – нарастающим итогом.							

Полив хлопчатника. Полив осуществлялся капельным способом, чистой водой из шахтного колодца. Отбор проб воды из шахтного колодца производился три раза за поливной период. Результаты химических анализов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Солевой состав поливной воды, используемой для орошения в опыте

Вариант опыта	Дата отбора пробы	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NO_3^-	Минерализация, г/л
1	07.05.2018	8,05	317	77	48	76	18	55	5	14,1	0,664
2	29.06.2018	7,52	366	87	55	140	25	47	5	12,0	0,646
3	15.08.2018	8,23	384	67	63	146	40	56	4	15,5	0,736

Состав солей в отобранных образцах в среднем можно классифицировать как гидрокарбонатно-кальциевый. В среднем вода имеет слабощелочную реакцию (7,5–8,2).

Пригодность отобранных проб для целей орошения определялась на основании ирригационного коэффициента, коэффициента ионного обмена, натриевого адсорбционного отношения и почвенно-мелиоративной классификации оросительной воды. По всем показателям данную воду можно классифицировать как пригодную для орошения: ирригационный коэффициент больше 18, коэффициент ионного обмена больше 1, а натриевое адсорбционное отношение меньше 8.

Исследуемые образцы относятся ко второму классу, то есть данная вода не должна оказать негативного воздействия на мелиоративную обстановку и урожайность сельскохозяйственных культур, только в случае плохой дренируемости территории возможно накопление солей.

Поливной режим при выращивании хлопчатника поддерживался на уровне 75–80 % НВ с помощью тензиометров, что соответствовало всасывающему давлению 43–57 кПа. Полив производился капельным способом. Поливы были начаты 20 мая и продолжатся до конца августа. К элементам техники полива при капельном орошении относятся расход воды, расстояние между капельными водовыпусками, поливными трубопроводами, продолжительность полива, время межполивного периода, количество поливов.

В нашем случае расход капельных водовыпусков составил в среднем по участку 1,2 л/ч. При этом расстояние между капельницами было 10 см, между поливными трубопроводами – 90 см (укладка трубопроводов – в каждую борозду, междурядье – 90 см), количество капельных водовыпусков на 0,1 га – 11000 шт. На опытном участке с капельным орошением с 20 мая по 2 августа было проведено пять поливов поливной нормой от 230 до 396 м^3/га и продолжительностью от 5 до 9 ч (в пересчете на площадь опытного участка 0,1 га средняя поливная норма составила 36,3 м^3). Оросительная норма при капельном орошении в этот период составила 1815 м^3/га.

Работоспособность системы капельного орошения находится на достаточно высоком уровне. Отказов в работе или серьезных поломок не наблюдалось. Наблюдения за работой системы капельного орошения показали, что эффективность работы головного узла и трубопроводной сети при правильной эксплуатации системы достаточно высокая и вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к элементам орошения.

Фенологические наблюдения. У хлопчатника в фенологические наблюдения входят: всходы, образование третьего листа, образование бутонов, цветение, раскрытие первых коробочек, прекращение вегетации.

Опытные наблюдения проводились по следующим методам и правилам. Предварительно перед посевом на опытном участке была проведена культивация и прополка от сорняка, температура почвы перед посевом составляла 14–15 °С. Семена хлопчатника были обработаны фунгицидами с одновременным замачиванием в 1 % растворе медного купороса. Посев семян проводился 8 мая одновременно на всей площади опытного участка с густотой стояния растений 120–130 тыс. шт./га. 18 мая появились первые всходы. Всходы были не дружные, в среднем на 10–15 % площади опытного участка. Объясняется это тем, что после замачивания процент проклюнувших семян не превышал 30 % и не был выполнен предпосевной влагозарядковый полив из-за отсутствия системы полива.

Монтаж капельной системы на опытном участке был выполнен 19 мая, а 20 мая проведен вызывной полив с нормой 13 м^3 на участок. После полива всходы хлопчатника нормализовались, настоящие 2–3 листа появились 30–31 июня.

Появление первого бутона. Первый бутон на опытном поле появился 15 июня. Образование бутона на кусте хлопчатника идет в двух направлениях: вдоль плодовой ветки (по горизонтали) и по спирали вверх, на расположенных выше плодовых ветвях. В соответствии со сроками появления первого бутона, до раскрытия первого цветка проходит 20–25 дней, что совпадает с образованием шестой-седьмой плодовой ветви.

Цветение. Первый цветок на опытном поле появился 10 июля. Цветки на хлопчатнике появляются снизу вверх группами или конусами. В первый конус входят первые три цветка, расположенные на трех нижних ветвях, и так до верхних ветвей. Таким образом, первый конус состоит из трех цветков, второй – из шести, третий – из девяти и т. д.

Созревание. От цветения до раскрытия первой коробочки проходит примерно 50–60 дней. В нашем случае первая коробочка хлопчатника раскрылась 30 августа.

Плодоношение хлопчатника, помимо видовых, сортовых особенностей, в значительной мере зависит от условий произрастания, в т. ч. и от агротехники. Чем лучше условия, тем больше плодоношение.

Чеканка хлопчатника. Один из важных приемов возделывания хлопчатника с целью формирования куста и накопления плодовых органов, а также увеличения плодоношения. Под понятием «чеканка» подразумевается прищипка, выламывание, обрезка верхушки главного стебля и жировых боковых стеблей. Чеканка при своевременном проведении не только увеличивает число коробочек, но и ускоряет их развитие, а также повышает урожайность. Прищипывание (чеканка) хлопчатника на опытном поле было проведено 26 июля.

Сроки и способы внесения удобрений. Большое влияние на эффективность удобрений оказывают сроки, правильно подобранные формы удобрений, а также способы внесений. Изначально перед посевом хлопчатника были взяты пробы почвы в двух точках опытного поля. Анализ почвы проводился в лаборатории агрохимических исследований института. Результаты анализа показали высокое содержание гумуса

(5,7–7,4 %), азота от 0,72 до 2,14 мг/100 г почвы, фосфора от 5,5 до 13,4 мг/100 г почвы, кальция от 48,9 до 86,1 мг/100 г почвы. Перед вспашкой удобрения не вносились в связи с высоким плодородием почв на опытном поле. За исследуемый период были внесены два раза азотные удобрения в период появления настоящих листьев (нормой 35 кг/га) и в период цветения – нормой 55 кг/га.

Борьба с болезнями и вредителями. Главнейшими вредителями хлопчатника являются обыкновенный (хлопковый) паутинный клещ, табачный трипс, тля (акациевая, бахчевая, большая хлопковая), озимая совка, хлопковая совка, карадрина. Повреждения хлопчатника теми или иными вредителями наблюдаются в течение всего вегетационного периода. В первый период развития растений вредители повреждают прорастающие семена и всходы, с момента образования двух-трех настоящих листьев и до конца вегетации – стебли и листья, а начиная с фазы бутонизации – также и плодовые органы.

Хлопчатник на опытном поле. Начиная с первой декады июня на листьях хлопчатника появились различного вида вредители – паутинный клещ (растения обработаны «Корагеном»), затем 16 июня – табачный трипс (обработка «Альфа-Амипридом»). В середине июля – черная тля (обработка «Рагоном»). В конце июля – начале августа появилась хлопковая совка, хлопчатник обработан «Корагеном» с повтором через неделю. Из всех видов заболеваний растений на опытном поле был выявлен в середине июля макроспориоз, или зональная пятнистость листьев (осуществлена обработка препаратом «Фундазол» два раза с промежутком 10 дней).

Выводы

1 Природно-климатические условия предгорной зоны Крыма позволяют выращивать урожай хлопчатника с необходимым для перерабатывающей промышленности качеством волокна.

2 Хлопчатник по суммарному водопотреблению не отличается от традиционных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в условиях орошения.

3 В заключение хотелось бы сказать, что эксперимент идет, исследования продолжаются. Пока что это первые ростки и делать окончательные выводы рано. Но тем не менее опыт прошлых лет подсказывает, что забытая в Крыму культура займет достойное место в севообороте, развивая новое стратегическое направление в Республике Крым.

Список использованных источников

1 Бекиров, Р. Н. Экономические и экологические аспекты развития хлопководства в Крыму / Р. Н. Бекиров, Д. Я. Якубов, Ф. Я. Якубов // Образование и наука без границ – 2005: материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф., 19–27 дек. 2005 г. – Днепропетровск, 2005. – Т. 26. – С. 81–83.

2 Тищенко, А. П. Результаты исследований возможности выращивания хлопчатника в Крыму / А. П. Тищенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 71–76.

3 Новикова, А. В. Капельное орошение хлопчатника [Электронный ресурс] / А. В. Новикова, З. И. Цой // Сборник трудов САНИИРИ им. В. Д. Журина. – С. 356–359. – Режим доступа: http:cawater-info.net/library/rus/saniiri80_9.pdf, 2018.

4 Якубов, Д. Я. К вопросу о производстве хлопчатника в Крыму [Электронный ресурс] / Д. Я. Якубов, Ф. Я. Якубов, Р. Н. Бекиров; РВУЗ «Крым. инж.-пед. ун-т». – Режим доступа: http:rusnauka.com/SND/Economics/12_jakubov.doc.htm, 2018.

5 В России начнут выращивать хлопок [Электронный ресурс] // Вести. Экономика. – 2018, 31 янв. – Режим доступа: http:vestifinance.ru/articles/97082, 2018.

УДК 635.21:633.491:631.671.1:631.559.2

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

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ РАННЕГО КАРТОФЕЛЯ POTATO ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

По данным трехлетнего опыта (2015–2017 гг.), проведенного в КФХ «Выборнов В. Д.» с ранним картофелем сорта Импала, был сформирован массив экспериментальных данных, на основе которых определялись биологические и агроклиматические зависимости для прогностических расчетов урожайности картофеля, управления водным режимом агроценоза и оценки потребности культуры в воде. В статье представлена структура разработки имитационной динамической модели формирования урожая раннего картофеля Potato *в условиях Волгоградской области.*

Ключевые слова: динамическое моделирование урожая, имитационная модель урожайности, эвапорация, транспирация, солнечная радиация, водный баланс, ранний картофель Импала, Нижнее Поволжье.

****

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

IMITATION MODEL FOR FORMING THE YIELD OF EARLY POTATO POTATO FOR CLIMATE CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

According to the data of a three-year experience (2015–2017) conducted in the Farm Enterprise "Vybornov V. D." with early potatoes of the Impala variety a range of experimental data on the basis of which biological and agroclimatic dependences were determined for predictive calculations for potatoes yield, water management of agrocenosis and assessment of the crops needs in water was formed. The data development of the imitative dynamic model for the formation of yield of early potato Potato *under the conditions of Volgograd Region is presented.*

Key words: yield dynamic simulation, yield imitation model, evaporation, transpiration, solar radiation, water balance, early potato of Impala, Lower Volga region.

Введение. Одним из направлений Постановления Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы» является увеличение объемов производства продукции растениеводства в целях обеспечения населения продуктами питания и импортозамещения, а также дальнейшего увеличения объемов экспорта.

В настоящее время государственный сектор производит около 15 % от всего выращиваемого картофеля, а 85 % приходятся на частные фирмы и подсобные хозяйства населения, где в основном преобладает мелкотоварное производство с ограниченными возможностями в механизации и малопроизводительный ручной труд. В этой связи в последние годы существенно возрос объем импорта продукции из таких стран, как Китай, Египет, Израиль, Индия и др. Существенное снижение площадей возделывания картофеля крупными фермерскими хозяйствами в промышленных масштабах связано с высокой ресурсоемкостью и сравнительно низкой эффективностью производства. Конкурентоспособность сельхозпредприятий напрямую связана с использованием высокопроизводительных технических средств возделывания сельскохозяйственных культур, высокоурожайных сортов, с постоянным совершенствованием производственного процесса как в организационном, так и в технологическом плане, с поисками путей снижения затрат на получение единицы продукции.

В настоящее время магистральным направлением повышения эффективности выращивания является внедрение инновационных цифровых систем, позволяющих контролировать полный цикл растениеводства за счет сенсорных устройств, передающих и обрабатывающих текущие параметры состояния культур, почвы, микроклимата. Возможность контролировать максимальное количество сельскохозяйственных процессов за счет использования цифровой модели агротехнического цикла и взаимосвязанных звеньев формирования затрат и объемов производства позволяет планировать график полевых работ, принимать экстренные меры для предотвращения потерь в случае аномальных погодных условий, оценивать возможную урожайность, себестоимость и прибыль.

Использование больших массивов данных и баз знаний, а также средств мониторинга, включающих дистанционное зондирование и прогностические расчеты развития агроценоза на имитационной динамической модели формирования урожая, обеспечивает экономически обоснованное планирование объемов производства и с учетом рисков формирование необходимого ресурсного обеспечения технологического процесса. Таким образом, имитационная динамическая модель может быть весьма полезным инструментом для прогнозирования урожайности в зависимости от условий выращивания, включая погодные условия и факторы интенсификации. Возможности модели позволяют реализовать оперативное управление поливами, оценить потребности растения в воде и минеральных удобрениях, спрогнозировать фазы развития культуры и сроки уборки урожая. В этой связи разработка имитационной модели, обеспечивающей отображение качественных и количественных аспектов основных процессов формирования урожая сельскохозяйственных культур под влиянием внешних природных и агротехнических факторов, является не только интересной, но и актуальной задачей, решение которой может позволить выявить закономерности и механизмы развития фитоценозов в зоне Нижнего Поволжья. Также модель может быть полезной для решения практических задач. Перечисленные свойства цифровой имитационной системы могут быть использованы для анализа ретроспективных производственных данных (аналогично экспериментальным) с целью оптимизации технологии путем ежегодного анализа влияния климатических и агротехнических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур.

Динамическая модель включает:

- ввод исходных агрометеорологических данных, почвенных характеристик, агротехнических приемов и начальных условий, а также опций для конкретных вариантов расчета;
- астрономический и метеорологический блок;
- блок эвапотранспирации;
- биологический блок.

На рисунке 1 представлена блок-схема имитационной динамической модели формирования урожая картофеля Potato, построенная по традиционным структурным описаниям [1, 2].

Материалы и методы. В результате проведенных экспериментальных исследований 2015–2017 гг. в КФХ «Выборнов В. Д.» Волгоградской области были накоплены данные многофакторного опыта, которые позволяют проверить модель на адекватность.

В опытах представлено два способа орошения раннего картофеля – капельный и комбинированный (капельный полив + мелкодисперсное дождевание) – при трех уровнях поддержания влажности почвы и трех дозах внесения минеральных удобрений под планируемую урожайность 40, 50 и 60 т/га.

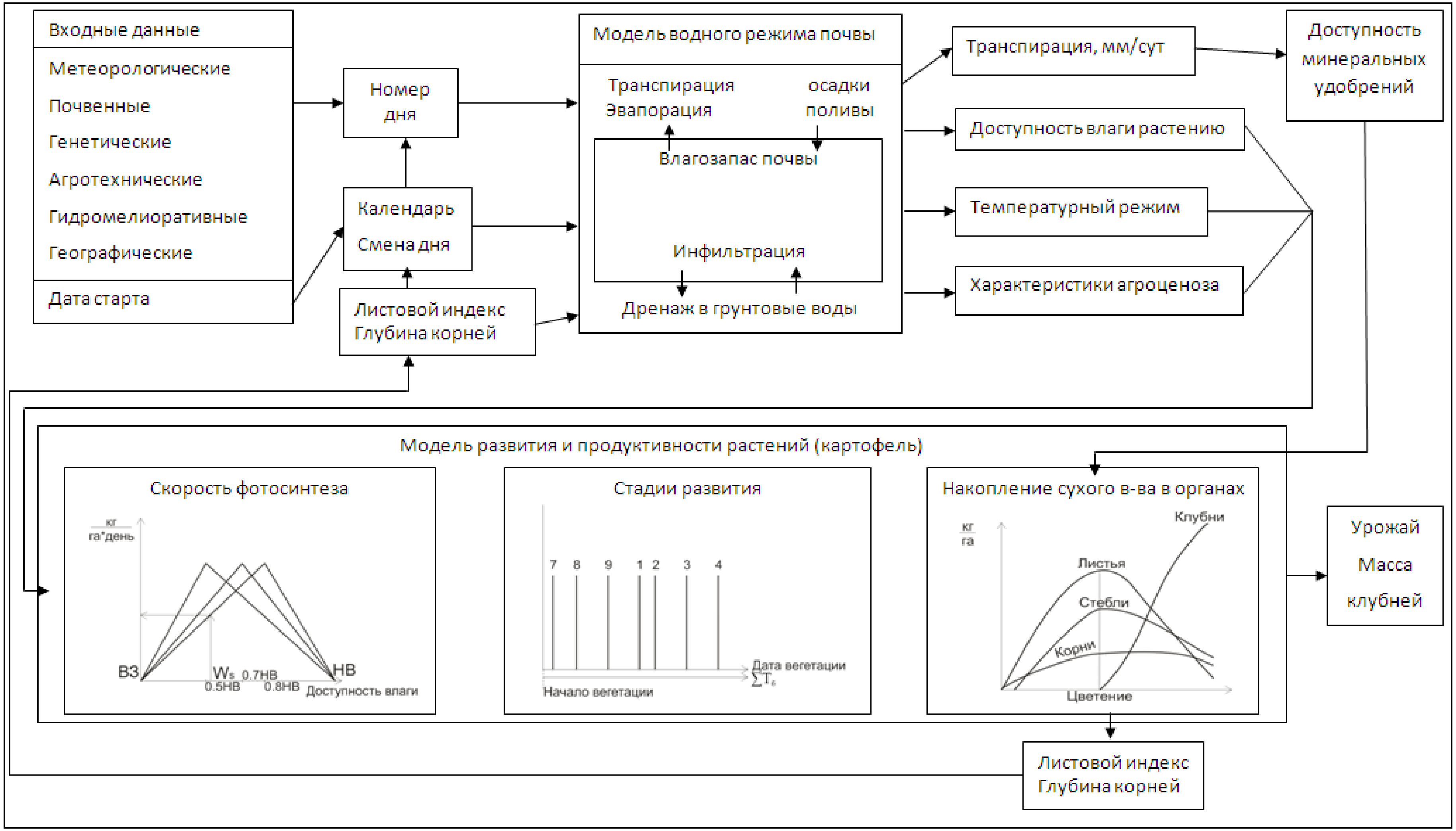


Рисунок 1 – Интегральная блок-схема модели формирования урожая, включающая блок водного баланса почвы и продукционного процесса картофеля

В качестве основы имитационной модели взят подход к формированию потенциального урожая, разработанный Х. Г. Тоомингом [3]. Параметры, входящие в формулы модели, определялись по данным полевого опыта, из литературных источников и путем подбора при постановке численных экспериментов на модели.

Исходные данные. Основанная на использовании посуточной или почасовой входной информации, модель позволяет рассчитать суточные значения приходящей солнечной радиации, эвапотранспирации, влажность почвы в корневой зоне, параметры фотосинтеза, массу органов растения и в зависимости от этого определить урожай. Исходными данными для имитационной модели являются:

- почасовая температура воздуха;
- суточная влажность воздуха;
- суточная скорость ветра;
- почасовая облачность либо суточная солнечная радиация;
- почвенные характеристики послойно (наименьшая влагоемкость, плотность, максимальная гигроскопичность);
- биологические особенности выращиваемой культуры;
- координаты местности.

Астрономический и метеорологический блок. В этом блоке в зависимости от географической широты положения производственного участка рассчитывается величина максимальной радиации в ясный день; продолжительность световой части суток, получаемая в зависимости от номера дня по Юлианскому календарю; приходящая солнечная радиация, рассчитываемая по данным гелиографа или данным об облачности (рисунок 2) [4].

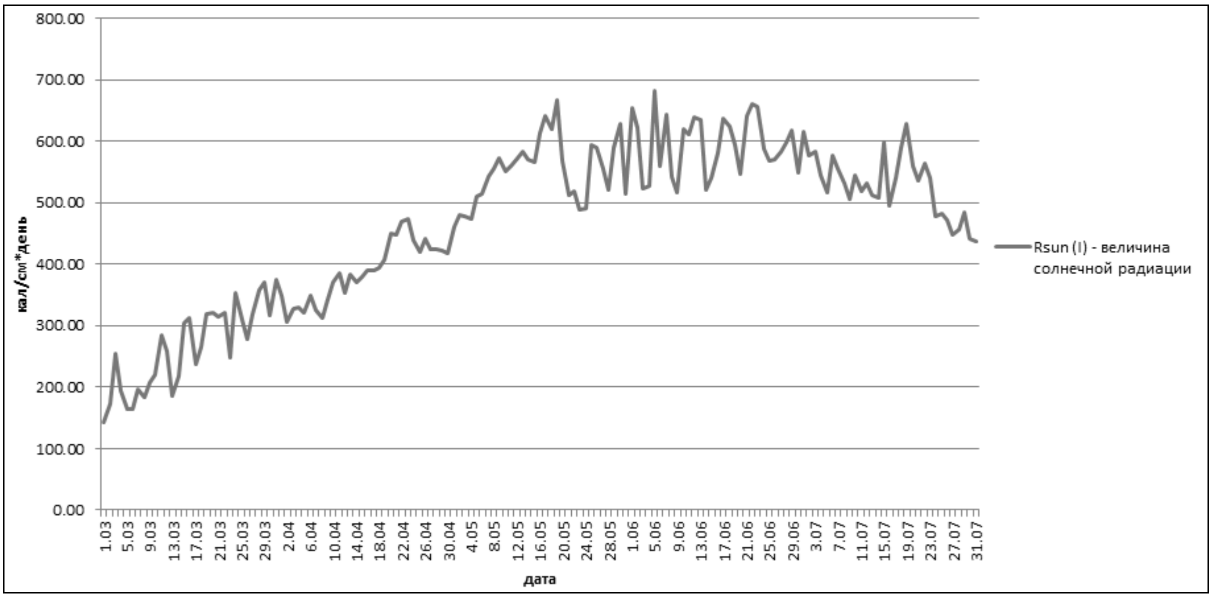


Рисунок 2 – Приходящая солнечная радиация, полученная по данным об облачности за 2015 г.

Эвапотранспирация. В основу расчета эвапорации и транспирации положена величина потенциального испарения, рассчитанная по формуле Пенмана [5]. Учитывая особенности технологии полива (капельное и комбинированное орошение), для расчета эвапорации и транспирации развивающегося фитоценоза выбрали алгоритм Ричи [6] из соображений привязки расчетов водного обмена верхнего слоя почвы к технике полива (капельному орошению).

На первых этапах развития посева испарение с поверхности почвы лимитируется в основном поглощенной почвой энергией солнечной радиации. По мере подсыхания верхнего слоя почвы эвапорация становится более зависимой от влажности и гидравлических свойств верхнего слоя почвы, который определяет приток влаги к поверхности почвы в соответствии с закономерностью, описанной в работе Блэка [7]. С появлением всходов по мере увеличения площади листовой поверхности альбедо посадки изменяется и, кроме того, происходит частичное, а затем и полное затенение поверхности почвы листьями от прямой солнечной радиации. Использование схемы расчета эвапорации в виде двухфазового процесса позволяет при расчете заполнения профиля почвы поливной водой с помощью капельниц отделить верхний, подсушенный практически до максимальной гигроскопичности слой от нижнего, заполненного вплоть до уровня наименьшей влагоемкости или иной заданной влажности, в т. ч. и нижележащих корнеобитаемых слоев почвы.

На рисунке 3 представлена динамика эвапорации и транспирации картофельного поля при комбинированном орошении, рассчитанная по агрометеорологическим данным за 2015 г.

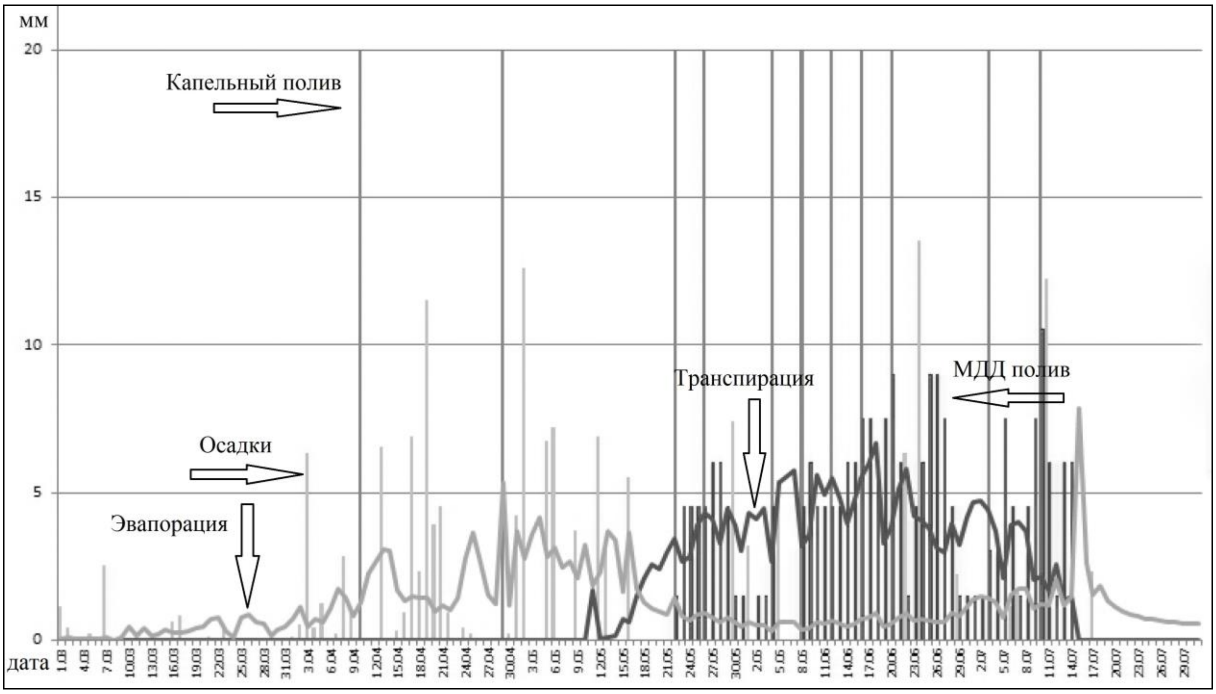


Рисунок 3 – Расчетные суточные значения эвапорации и транспирации по метеорологическим данным 2015 г. при комбинированном орошении

Поливы мелкодисперсным дождеванием учитываются в водном балансе почвы аналогично тому, как в алгоритме Ричи учитываются осадки, выпадающие в малых количествах.

Фотосинтез. Лимитирование процесса фотосинтеза, прироста листьев, накопления биомассы органов растений, а также транспирации при дефиците почвенной влаги реализуется с помощью функции, характеризующей водный статут растения. Эта функция состоит из трех параметров: критическая влажность почвы, оцениваемая по величине потенциального испарения в соответствии с уравнением А. И. Будаговского и М. Г. Санояна [8, 9], актуальная влажность слоя почвы, занятого корнями растений, и продолжительность срока переувлажнения почвы.

В модели функция фотосинтеза посадки картофеля учитывает следующие факторы: поглощенная посевом фотосинтетически активная радиация, температура приземного слоя воздуха, водный статус растений и уровень минерального питания [10].

Суточный фотосинтез рассчитывается по формуле Канемасу [11], для которой необходим подбор эмпирических коэффициентов на основе экспериментальных данных о скорости нарастания биомассы в зависимости от листового индекса с учетом структуры посева и сорта культуры. В формуле Канемасу влияние температуры и водного фактора включено в виде сомножителей соответствующих функциональных зависимостей от температуры воздуха внутри посева и водного статута растений.

В модели также учитывается интенсивность дыхания по органам растений. Согласно концепции Мак-Кри [12], дыхание роста и поддержания структуры растений рассчитывается отдельно. Коэффициенты, характеризующие затраты на дыхание отдельных органов растения, взяты из работ Л. Грушка и И. Зуста [13] и связаны корреляционными отношениями с содержанием азота в растениях.

Ростовые функции. По описанному А. И. Коровиным [14] влиянию экстремальных температур на формирование урожая картофеля построена тепловая функция, которая позволяет рассчитать биологически активные температуры за фазы вегетации.

Учет влияния минерального питания в модели производится по повышению значения КПД поглощения ФАР путем введения поправки на коэффициент эффективности A_K. Обеспечение растения минеральными веществами оценивается по дозе вносимых удобрений и интенсивности водного обмена растений.

Динамика накопления сухого вещества у раннеспелых сортов картофеля взята по графикам Райбера [1] и скорректирована по экспериментальным данным в зависимости от локальных условий отдельных вариантов опыта (капельное орошение, мелкодисперсное дождевание). На рисунке 4 представлена расчетная динамика нарастания массы органов растений картофеля в посадке по данным 2015 г. при комбинированном орошении.

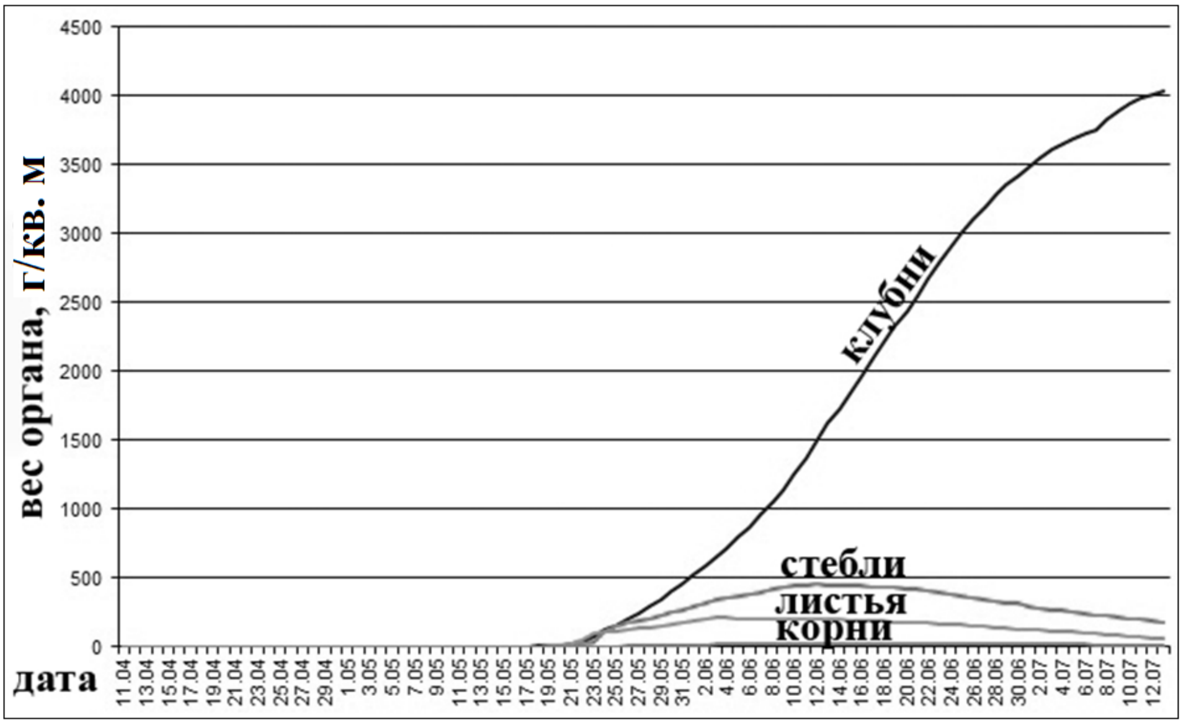


Рисунок 4 – Вес органов раннеспелого картофеля Импала по данным численного эксперимента с использованием метеорологических и агротехнических условий вегетации 2015 г. при комбинированном орошении

Результаты. При оценке адекватности функционирования модели посадки раннего картофеля учитывалась урожайность (накопленная биомасса клубней), динамика нарастания биомассы посадки по органам и продолжительность прохождения различных фаз развития растений, водопотребление в сопоставлении с фактическими опытными данными. Анализ динамики роста и развития картофеля в численных экспериментах и в полевых опытах является основой для адаптации модели и коррекции эмпирических расчетных формул и выражений, входящих в динамическую модель. Задача по оптимизации структурных составляющих динамической модели в соответствии с сортовыми особенностями культуры должна решаться путем расширения числа наблюдаемых характеристик состояния посева в полевых опытах, включая структурные составляющие урожая, с параллельной постановкой сценарных исследований на имитационной динамической модели Potato.

По результатам численных экспериментов на основании агрометеоусловий 2015 г. при комбинированном варианте полива была получена урожайность 40,2 т/га, что на 2,1 т/га отличается от урожайности, полученной в результате полевого опыта (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность, полученная в результате полевого эксперимента 2015 г. при комбинированном орошении; урожайность, полученная на богаре и при дождевании (из литературных источников)

В т/га

Вариант орошения	Урожайность	Урожайность по результатам моделирования
Комбинированное орошение по результатам опыта	38,1	40,2
При дождевании машиной «Фрегат» [15]	25–35	28,4
На богаре [16, 17]	5–15	14,5

Список использованных источников

1 De Jong, R. Modeling water balance and grass production / R. de Jong, P. Kabat // Soil Society of America Journal. – 1990, Nov.-Dec. – Vol. 54, № 6. – P. 1725–1732.

2 Raeuber, A. Untersuchungen uber den Verlauf der Massenzunahme bei Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) in Abhangigkeit von Umwelt – und Erbguteinflussen / A. Raeuber, K. H. Engel; Abh. Meteorol. Dienstes DDR. – 1966. – 117 p.

3 Тооминг, Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х. Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 200 с.

4 Чирков, Ю. И. Агрометеорология / Ю. И. Чирков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 320 с.

5 Penman, H. L. Evaporation: an introductory survey / H. L. Penman // Netherl. J. Argic. Sci. – 1956. – Vol. 4. – P. 9–29.

6 Ritchie, J. T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover / J. T. Ritchie // Water Resources Research. – 1972, Oct. – Vol. 8, iss. 5. – P. 1204–1213.

7 Black, J. N. The interrelationship of solar radiation and leaf area index in determining the rate of dry matter production of swards of subterranean cover (*Trifolium subterraneum*) / J. N. Black // Austr. J. Agric. Res. – 1963. – Vol. 14, № 1. – P. 20–38.

8 Будаговский, А. И. Количественная теория фотосинтеза и ее использование для решения научных и практических задач физической географии / А. И. Будаговский, А. А. Ничипорович, Ю. К. Росс // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1964. – № 6. – С. 13–27.

9 Саноян, М. Г. Агрометеорологические и агрофизические принципы и методы управления влагообеспеченностью посева / М. Г. Саноян. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 296 с.

10 Тооминг, Х. Г. Адаптация растительных сообществ к интенсивности света и ее математическое моделирование / Х. Г. Тооминг // Журнал общей биологии. – 1968. – Т. 29, № 5. – С. 549–563.

11 Kanemasu, E. T. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I. Influence of leaf-water potential / E. T. Kanemasu, C. B. Tanner // Plant Physiol. – 1974. – 44. – P. 1547–1552.

12 McCree, K. J. An equation for the rate of respiration of the white clover plants grown under controlled conditions / K. J. McCree // Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity. – Wageningen: Pudoc, 1970. – P. 221–230.

13 Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур / Я. Байер [и др.]; пер. с чеш. З. К. Благовещенской. – М.: Колос, 1984. – 368 с.

14 Коровин, А. И. Растения и экстремальные температуры / А. И. Коровин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 271 с.

15 Дубенок, Н. Н. Малоинтенсивное дождевание картофеля в условиях юга России: монография / Н. Н. Дубенок, В. В. Бородычев, Р. А. Чечко; РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М.: Проспект, 2017. – 176 с.

16 Агробаза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:agrobase.ru, 2018.

17 Новикова, И. В. Водопотребление и режим орошения картофеля в Ростовской области: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Новикова Инна Викторовна. – Новочеркасск, 2006. – 28 с.

УДК 631.674.5

С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, М. А. Ляшков
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ПОЛИВНОЙ НОРМЫ

Целью исследования являлась оптимизация работы дождевальной машины за счет применения водосберегающей поливной нормы, которая обеспечит сокращение затрат поливной воды. В данной статье представлена методика, разработанная А. П. Лихацевичем, позволяющая определить затраты поливной воды при орошении сельскохозяйственных культур дождевальными машинами, работающими на нескольких позициях. Это дает возможность повысить эффективность работы дождевальной техники и оптимизировать работу оросительной системы в целом.

Ключевые слова: орошение, дождевальная машина, поливная норма, водопотребление, затраты.

****

S. M. Vasilyev, Yu. E. Domashenko, M. A. Lyashkov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

OPTIMIZATION OF THE SPRINKLING MACHINE OPERATION BY MEANS OF WATER-SAVING IRRIGATION RATE APPLICATION

The aim of the study was to optimize the sprinkler’s operation by applying a water-saving irrigation rate that would reduce irrigation water costs. A methodology developed by A. P. Likhatsevich which makes it possible to determine the irrigation water costs during irrigation of agricultural crops by sprinkling machines operating at several positions is presented. This makes it possible to increase the efficiency of the sprinkler technique operation and to optimize the irrigation system operation as a whole.

Key words: irrigation, sprinkler, irrigation rate, water consumption, costs.

Введение. На современном этапе мелиорация призвана обеспечивать рациональное использование природного потенциала сельскохозяйственных угодий, повышение их продуктивности, устойчивости и экологической безопасности. Орошение как элемент гидротехнической мелиорации повышает плодородие почвы за счет управления водным, воздушным и питательным режимами, что позволяет динамично развиваться сельскому хозяйству [1, 2].

Дождевание как способ орошения сельскохозяйственных культур обеспечивает растения доступной влагой по принципу дробления поливной воды на отдельные капли в оптимальном количестве, что способствует ее переводу в состояние почвенной влаги, это позволяет равномерно распределить ее по площади и глубине. Достигается это за счет таких параметров дождевальной машины, как напор и расход, а в совокупности со скоростью перемещения машины или временем дождевания дает возможность реализации различных поливных норм. Эффективное использование дождевальных машин обеспечивает равномерное увлажнение без образования стока за счет эффективной поливной нормы, которая обеспечивает получение максимальной прибавки урожая [3–5].

Количество воды, необходимое орошаемой культуре, зависит от глубины корнеобитаемого слоя почвы, особенностей культуры и фазы ее развития, механического состава и водно-физических свойств почвы, способа и назначения полива и др.

В современных условиях при остром дефиците природной воды и высокой потребности в сельскохозяйственной мелиорации требуется внедрение таких систем и способов орошения, которые способствовали бы экономии воды. Дождевание как один из видов орошения позволяет сократить потребление природной воды в 5–6 раз по сравнению с поверхностным поливом [6].

Материал и методы. Работа дождевальной машины на нескольких позициях обусловлена большим количеством холостых перемещений, таких как транспортировка с позиции на позицию и холостой ход на позиции до положения, удобного для транспортировки. Наличие холостого хода обусловливает увеличение затрат поливной воды, так как перед транспортировкой на другую позицию необходимо произвести сброс воды из дождевальной машины [7].

В связи с этим следует снизить потребление ресурсов до минимума, не уменьшая количество воды, необходимое растениям, и исключая вредное воздействие на почву. Для расчета минимизации затрат поливной воды используем методику, разработанную А. П. Лихацевичем, основанную на принципе минимизации затрат на орошение за счет оптимизации режимов орошения [8].

Результаты и обсуждение. Оптимизацию эксплуатационного режима орошения можно представить в виде:

$$\sum_{z=1}^{Z} R_z (\Delta У)^{-1} \to \min\,, \tag{1}$$

где $\sum_{z=1}^{Z} R_z$ – сумма удельных затрат (на единицу площади) всех (Z) ресурсов, потребляемых при орошении, руб./га;

$\Delta У$ – прибавка урожая при орошении, ц/га.

$$\sum_{z=1}^{Z} R_z = R_w + R_e + R_s + R_\tau + R_р + R_{\Delta У}\,, \tag{2}$$

где R_w – затраты на воду, руб./м^3;

R_e – затраты на электроэнергию, руб./кВт·ч;

R_s – затраты на топливно-смазочные материалы, руб./кг;

R_τ – затраты на текущий ремонт, руб.;

$R_р$ – затраты на рабочую силу, руб./чел.-ч;

$R_{\Delta У}$ – сельскохозяйственные затраты, руб.

$$R_w = c_w \left[M + n\left(\Delta m_М + \Delta m_с t + \Delta m_g t_n \right) \right], \tag{3}$$

где c_w – эквиваленты единицы воды, МДж/м^3 или руб./м^3;

M – оросительная норма, м^3/га;

n – кратность полива, га/полив;

$\Delta m_М$ – потери воды при технологических опорожнениях дождевальной машины в процессе последовательного полива участков в расчете на единицу площади, м^3/га;

$\Delta m_{\text{с}}$ – потери воды в процессе полива из оросительной сети за единицу времени, м^3/ч;

t – полное время, необходимое для полива единицы площади, включая технологические переезды с позиции на позицию, ч/га;

Δm_g – потери воды в процессе полива из дождевого облака за единицу времени, м^3/ч;

t_n – время, затраченное на непосредственный полив единицы площади (без учета холостых переездов), ч/га.

Рассматривая приведенные затраты, необходимые для реализации эксплуатационного режима орошения, следует свести к минимуму все используемые на полив ресурсы.

Оросительная норма при возрастании норм полива приближается к дефициту влагозапасов, а при их снижении – к дефициту водопотребления. Отсюда образуется связь водопотребления сельскохозяйственной культуры с нормой орошения, при этом получим:

$$M = \text{Д}_E + vm, \tag{4}$$

где Д_E – дефицит водопотребления сельскохозяйственной культуры, характеризующий засушливость года, м^3/га;

v – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность количества поливов, шт.;

m – норма полива, м^3/га.

Коэффициент пропорциональности также можно назвать и количеством дополнительных поливов для перекрытия дефицита водопотребления, что вытекает и из уравнения:

$$n = \frac{\text{Д}_E}{m} + v. \tag{5}$$

Поскольку сельскохозяйственные издержки не зависят от величины поливной нормы, то уравнение (1) можно представить в более простой форме:

$$\frac{d}{dm}\left(\sum^{Z} R_z\right)_{|m=m_R} = 0, \tag{6}$$

$$\frac{d^2}{dm^2}\left(\sum^{Z} R_z\right)_{|m=m_R} > 0, \tag{7}$$

где m_R – ресурсосберегающая величина поливной нормы, м^3/га.

Решая уравнения (6) и (7) и подставив вместо общей суммы (2) только затраты воды на орошение (3), получим норму полива, при которой происходит наибольшая экономия поливной воды. Для этого распишем уравнение (3) с учетом зависимостей (4) и (5):

$$R_w = c_w\left(v + \frac{\text{Д}_E}{m}\right)\left(m + \Delta m_{\text{М}} + \Delta m_{\text{с}} t + \Delta m_g t_n\right).$$

Полное время, необходимое для полива единицы площади, слагается из двух составляющих:

$$t = t_n + t_x,$$

где t_x – время, затрачиваемое на холостые перегоны при поливе единицы площади, если таковые необходимы по технологии полива, ч/га.

В свою очередь в соответствии с принятыми обозначениями:

$$t_n = m\left(Q_{\text{Н}} - \Delta m_{\text{с}} - \frac{\Delta m_{\text{М}}}{t_n} - \Delta m_g\right)^{-1}, \tag{8}$$

где $Q_{\text{Н}}$ – часть расхода, подаваемая от насосной станции к данной дождевальной машине, м^3/ч.

Введем в расчет известный показатель, учитывающий потери воды на испарение из дождевого облака:

$$\beta = \frac{Q_{\text{Н}} - \Delta m_{\text{с}} - \Delta m_g}{Q_{\text{М}}},$$

где $Q_{\text{М}}$ – расход дождевальной машины, м^3/ч.

С учетом последнего равенства из зависимости (8) получим:

$$t_n = \frac{m + \Delta m_{\text{М}}}{\beta Q_{\text{М}}}.$$

Следовательно, получим:

$$R_w = c_w\left(v + \frac{Д_E}{m}\right)\left[\Delta m_{\text{с}} t_x + \left(m + \Delta m_{\text{М}}\right)\frac{Q_{\text{Н}}}{\beta Q_{\text{М}}}\right].$$

Из уравнения (6) получим:

$$\frac{dR_w}{dm} = \frac{c_w Q_{\text{Н}}}{\beta Q_{\text{М}}}\left[v - \frac{Д_E}{m^2}\left(\Delta m_{\text{М}} + \beta Q_{\text{М}} t_x \frac{\Delta m_{\text{с}}}{Q_{\text{Н}}}\right)\right].$$

Необходимое условие минимума (6) затрат воды на орошение выполняется, если:

$$m_w = \sqrt{\frac{Д_E}{v}\left(\Delta m_{\text{М}} + t_x \beta Q_{\text{М}} \frac{\Delta m_{\text{с}}}{Q_{\text{Н}}}\right)},$$

где m_w – норма одного полива, при которой затраты воды на орошение минимальны, л/с.

Проверим выполнение условия (7):

$$\frac{d^2 R_w}{dm^2} = 2\frac{c_w Q_{\text{Н}}}{\beta Q_{\text{М}} m^3}\left(\Delta m_{\text{М}} + \beta Q_{\text{М}} t_x \frac{\Delta m_{\text{с}}}{Q_{\text{Н}}}\right) > 0.$$

Обозначим отношение дефицита водопотребления к количеству перекрывающих поливов приведенным дефицитом водопотребления сельскохозяйственных культур:

$$Д_E^* = Д_E / v.$$

Тогда водосберегающая поливная норма определится по формуле:

$$m_w = \sqrt{Д_E^*\left(\Delta m_{\text{М}} + t_x \Delta m_{\text{с}} \frac{\beta Q_{\text{М}}}{Q_{\text{Н}}}\right)}.$$

Из этого следует, что водосберегающая поливная норма определяется дефицитом водопотребления за оросительный период, отношением расхода дождевальной машины к расходу насосной станции, потерями воды из оросительной сети за время холостых перемещений дождевальной машины, технологическими потерями из машины и потерями из дождевого облака. Поливная норма будет минимальной, если будут исключены холостые перемещения и транспортировка с позиции на позицию.

Затраты времени на холостую транспортировку машины с позиции на позицию определяются как:

$$t_x = 10000 / lV,$$

где 10000 – площадь, соответствующая 1 га, м^2/га;

l – длина крыла дождевальной машины, м;

V – скорость холостого переезда, м/ч;

Затраты на спуск воды из водопроводящих труб после завершения полива дождевальными машинами на нескольких позициях позволяют установить все необходимые показатели для определения водосберегающей поливной нормы, которая и обеспечит сокращение потребности в природной воде.

Выводы. При оптимизации водопользования на оросительных системах в целом следует учитывать ряд факторов. Поливная норма – один из элементов, которые помогают повысить эффективность работы дождевальной техники, что дает возможность оптимизировать работу всей оросительной системы. Расчеты по данной методике позволяют оптимизировать работу дождевальной машины на нескольких позициях, что способствует сокращению потребления водных ресурсов в орошаемом контуре. В дальнейшем это даст возможность разработать эффективную систему водопользования в рамках функционирования оросительной системы от водозабора до орошаемого участка.

Список использованных источников

1 Семененко, С. Я. Экологическая оптимизация полива дождеванием кормовых культур аридной зоны: монография / С. Я. Семененко. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2012. – 208 с.

2 Васильев, С. М. Цикличность климатических факторов в оценке динамики урожайности зерновых культур на орошаемых землях / С. М. Васильев, А. В. Акопян // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2011. – № 65(01). – С. 1–14. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/01.pdf.

3 Фокин, Б. П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин: науч. изд. / Б. П. Фокин, А. К. Носов. – Ставрополь, 2011. – 80 с.

4 Колесник, Ф. И. Эффективность использования дождевальной техники: обзор. информ. / Ф. И. Колесник, Н. Ф. Соловьева. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1986. – 24 с.

5 Васильев, С. М. Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения / С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, А. Н. Бабичев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 2(26). – С. 1–18. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec477-field6.pdf.

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

7 Бредихин, Н. П. Особенности работы дождевальной машины «Фрегат» на нескольких позициях / Н. П. Бредихин, Т. И. Ильинов // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 5. – С. 34–37.

8 Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск: Белорус. наука, 2005. – 278 с.

УДК 631.587:911.6

А. В. Шевченко, А. А. Белоусов
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

О СОВРЕМЕННЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И ИХ СВЯЗИ С НЕБЛАГОПРИЯТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ И ЯВЛЕНИЯМИ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

В настоящей статье рассмотрены современные геоморфологические процессы и показана их связь с неблагоприятными процессами и явлениями на орошаемых землях. Проведен анализ работы оросительных систем в условиях различных морфогене-

тических типов рельефа. Полученные данные говорят о том, что процессы и явления на оросительных системах находятся в тесной связи с геоморфологическими процессами и поэтому при проектировании мелиоративных систем, объектов стоит их предсказывать и учитывать с целью недопущения нарушения нормальной работы оросительных систем, деформации и разрушения сооружений, выхода из строя ценнейших сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: ирригация, сейсмичность, геоморфологический процесс, ландшафт, канал, эрозия.

****

A. V. Shevchenko, A. A. Belousov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

ON MODERN GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES AND THEIR CONNECTION WITH UNFAVOURABLE PROCESSES AND EVENTS ON IRRIGATED LANDS

Modern geomorphological processes are considered and their relationship with unfavorable processes and events on irrigated lands is shown. The analysis of irrigation systems operation under the conditions of various morphogenetic types of relief was carried out. The obtained data show that processes and events on irrigation systems are closely connected with geomorphological processes and therefore while designing land reclamation systems or objects they should be predicted and taken into account to prevent the disturbance of normal operation of irrigation systems, deformation and destruction of structures, the failure of the most valuable agricultural land.

Key words: irrigation, seismicity, geomorphological process, landscape, canal, erosion.

Введение. Процесс взаимодействия ирригации с географической средой очень сложен. И если не всегда с уверенностью можно сказать, как он протекает, то результаты этого взаимодействия всегда налицо. Они выражаются в виде различных неблагоприятных процессов и явлений, возникающих на ирригационных системах в результате орошения. Эти процессы и явления приносят огромный ущерб сельскому хозяйству: деформируются каналы и сооружения, выпадают из хозяйственного использования ценные сельхозугодья, нарушается тем самым нормальная работа оросительных систем, а отсюда требуются дополнительные капиталовложения в ремонт, сложные мелиоративные мероприятия, а иногда и реконструкция только что построенных систем. Поэтому еще при проектировании систем очень важно предвидеть, какие процессы вероятны в тех или иных природных условиях.

Анализ работы оросительных систем в условиях различных морфогенетических типов рельефа показывает, что процессы и явления на оросительных системах находятся в тесной связи с общим планом развития ландшафта и, в частности, с современными геоморфологическими процессами.

Современные рельефообразующие процессы протекают при взаимодействии эндогенного и экзогенного факторов в условиях уже сложившегося рельефа.

Рельеф Северного Кавказа и Нижнего Поволжья отличается большим разнообразием геоморфологических элементов, а следовательно и рельефообразующих процессов.

Наибольшую опасность для ирригационных систем среди эндогенных факторов представляют повышенная сейсмичность и рост локальных структур.

Районом повышенной сейсмичности является Восточный Кавказ, где на протяжении ряда лет наблюдаются землетрясения различной интенсивности. При этом наибольшей плотностью эпицентров зарегистрированных землетрясений характеризуются горный Дагестан и район Гудермеса. Поэтому при проектировании ирригационных систем в этой части территории данное обстоятельство следует принимать во внимание.

На Русской равнине на фоне общих поднятий и опусканий наблюдаются унаследованные движения локальных структур. Они имеют место как в пределах возвышенных Волго-Донских равнин, так и в Прикаспийской низменности (формы проявления соляной тектоники). Активизация роста локальных структур может привести к деформации каналов и сооружений.

Среди экзогенных факторов наиболее широко в пределах рассматриваемого района распространена водная и ветровая эрозия.

В западной части территории, где осадков выпадает больше, чем в восточной, совокупность факторов (расчлененный рельеф, осадки в виде ливней, легко размываемые породы, безлесье территории) создает благоприятные условия для развития здесь в качестве ведущих рельефообразующих процессов овражной эрозии и плоскостного смыва.

Развитие современной ускоренной эрозии, проявляющейся в виде вторичного вреза донных и боковых оврагов, связано с долинами рек и древней овражно-балочной сетью, развитой как в долинах, так и на склонах междуречий.

В условиях возвышенных равнин проектирование ирригационных систем следует вести с учетом противоэрозионных мероприятий, особенно в зонах развития современных эрозионных врезов донных и боковых оврагов. Активизация овражной эрозии связана как с изменениями базиса эрозии, так и с ростом локальных структур.

Засушливый климат, сильные ветры, наличие огромных пространств слабозакрепленных и развеваемых песков в Прикаспийской низменной равнине делают эту территорию очагом развития ветровой эрозии, выражением которой являются пыльные бури, охватывающие в отдельные годы не только Черные земли и Терско-Кумскую низменность, но и прилегающие к ним территории Ставрополья, а в отдельные годы даже низовьев Дона и Кубани [1].

Поэтому на ирригационных системах в пределах древнедельтовых и эоловых равнин следует предусматривать защиту каналов, сооружений и орошаемых земель от занесения песком, пылью и выдувания верхнего, наиболее плодородного слоя почвы.

Немалую роль в развитии современных геоморфологических процессов играет и деятельность человека, в т. ч. связанная с проведением оросительных мероприятий. Взаимодействуя с географической средой, орошение в свою очередь оказывает существенное влияние на все компоненты природного комплекса, способствуя формированию ландшафта орошаемых территорий. При этом довольно заметному изменению подвергается рельеф этих территорий, геоморфологические условия приобретают новое качество, а геоморфологические процессы – новую направленность. Примером этому служат искусственно созданные террасы на склонах различной крутизны в горно-долинных оазисах Внутреннего Дагестана, системы каналов на террасах Дона и Маныча, изменение геоморфологических процессов в поймах Дона и Волго-Ахтубы, создание искусственных рек в прежде безводных территориях обширных междуречных пространств и т. д. [2].

Вторгаясь в ландшафт, человек своей деятельностью вызывает ускорение или ослабление тех или иных процессов, которые характерны в естественных условиях для каждого из них, но при данных условиях проявляются очень слабо.

Обширные пространства междуречий возвышенных и низменных равнин и высоких надпойменных террас покрыты мощной толщей эолово-делювиальных лессовидных суглинков, в разной степени просадочных. Наибольшей просадочностью лессов обладают территории восточной части Ставрополья, Ергеней, Надтеречной плоскости. Здесь при замачивании наблюдаются сильные просадочные деформации ложа и откосов каналов.

Значительная часть орошаемых земель выбывает из сельхозиспользования из-за заболачивания и вторичного засоления. Эти явления вызываются подъемом грунтовых вод при фильтрации оросительных вод из каналов, а на орошаемых землях – неумеренными поливами. Фильтрационная способность различных пород разная и зависит от литологии отложений. Если учесть, что для каждого генетического типа рельефа характерен определенный состав отложений, то, зная их литологию и водопроницаемость, можно представить себе, какие процессы при орошении могут возникнуть в том или ином случае. Так, для высоких террас предгорных наклонных равнин, сложенных валунно-галечниковыми отложениями, отличающихся высокой водопроницаемостью, характерна хорошая естественная дренированность, и опасность заболачивания или засоления их практически отсутствует. Но проведение противофильтрационных мероприятий здесь обязательно, так как оросительные воды, проникая вглубь галечниковой толщи, вызовут подъем уровня грунтовых вод на низких террасах.

Низкие террасы и нижние части конусов выноса предгорных равнин и в естественном состоянии (без орошения) обладают худшими мелиоративными условиями, вызываемыми близким стоянием уровня грунтовых вод и даже их выходом на поверхность в виде родников.

Ведение орошаемого земледелия без учета гидрогеологических и других особенностей той или иной территории приводит к заболачиванию и засолению значительных пространств равнин, делая их непригодными для дальнейшего использования без проведения коренных мелиораций.

Этим объясняется то различие, которое наблюдается сейчас в условиях орошения дельтовых равнин Терека, Сулака и Кубани.

Дельты Терека и Сулака – район древнего орошения, в котором издавна существуют неинженерные системы с примитивной техникой полива – диким напуском, что привело к вторичному засолению обширных территорий.

В отличие от этого района дельтовый район Кубани начал осваиваться под орошаемое земледелие в 80-х гг. XX в. До начала освоения он представлял собой район развития обширных заболоченных плавней, образованию которых способствовали повышенный базис эрозии и сгонно-нагонные явления Азовского моря, а также обильные паводковые воды как самой Кубани и ее многочисленных притоков, так и левобережных рек, сбрасывающих свои воды в бессточную котловину левобережной поймы Кубани.

Тем не менее проведение ряда мероприятий по регулированию стока реки, обвалованию и берегоукреплению русел Кубани и Протоки, осушению плавней и развитию регулярного орошения с созданием инженерных систем позволило значительно преобразовать эту территорию в культурный ландшафт рисовых плантаций и приостановить развитие многих неблагоприятных процессов и явлений, подобных тем, которые имеют место в Терско-Сулакской низменности.

Таким образом, в условиях дельтовых равнин с близким к поверхности залеганием грунтовых вод высокой минерализации и отсутствием их естественной отточности неизбежность возникновения процессов засоления и заболачивания заложена в самом ландшафте этой территории.

Вывод. Итак, совместные геоморфологические процессы находятся в тесной связи с условиями ирригации. Если при проектировании ирригационных систем будут учитываться особенности проявления их в различных морфогенетических типах рельефа, то удастся предотвратить многие неблагоприятные процессы и явления, из-за которых нарушается нормальная работа оросительных систем, деформируются и разрушаются сооружения, выходят из строя ценнейшие сельскохозяйственные угодья.

Неблагоприятные процессы и явления на орошаемых землях, возникающие под влиянием орошения, идентичны по своему проявлению естественным, являющимся характерными для определенных морфогенетических типов рельефа. Поэтому изучение и выявление этих типов рельефа и процессов, в них происходящих, позволит правильно оценить условия ирригации на проектируемых оросительных системах.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Экологическая концепция оценки воздействия оросительных систем на ландшафты Нижнего Дона / С. М. Васильев, В. Ц. Челахов, Е. А. Васильева. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 308 с.

2 Щеглов, Д. И. Основы геоморфологии: учеб. пособие / Д. И. Щеглов, А. И. Громовик; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2017. – 178 с.

УДК 631.67.03:502.65

С. В. Подовалова, Н. М. Иванютин, А. А. Манжос, А. А. Зубоченко, Л. В. Бояркина, Н. Ф. Резник
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В ПРЕДЕЛАХ УРБАНИЗОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Целью работы являлась оценка степени загрязнения водной экосистемы одного из малых водотоков Крыма – р. Малый Салгир. Исследования, проведенные в 2018 г., основывались на изучении химического состава отобранных проб воды, расчете индекса загрязнения вод (ИЗВ), а также на использовании метода фитотестирования в лабораторных опытах с семенами пшеницы и кресс-салата. В процессе исследований определены характерные загрязняющие вещества в водотоке, зафиксированные по всей его длине. Это фосфаты (превышение в 3,0–5,5 раза), сульфаты (превышение в 1,2–2,2 раза), БПК$_5$ (превышение в 1,04–1,37 раза), соли жесткости (превышение в 1,2–1,6 раза). Результаты фитотестирования указали на токсичность исследуемых вод, которая усиливалась по мере увеличения содержания поллютантов в пробах воды, о чем свидетельствовал эффект стимулирования развития корневой системы проростков тест-культур. Наибольшую чувствительность к токсическим веществам проявил кресс-салат, так как его тест-отклики были максимальными (в весенний период это было ингибирование развития, а в летний период, наоборот, произошла стимуляция роста). По значениям ИЗВ р. Малый Салгир за последние 13 лет прослеживается тенденция к ухудшению качества воды по всей длине реки, на что указывает ИЗВ, в створе № 3 (до с. Строгоновка) в 2005 г. равный 1,22, а в 2018 г. 1,55; в створе № 6 (г. Симферополь, устье) 1,49 и 2,3 соответственно. По состоянию на 2018 г. вода р. Малый Салгир по ИЗВ характеризуется как «умеренно загрязненная» (III класс), но с тенденцией к переходу в ближайшие годы в «грязную» (IV класс). Оценка загрязнения вод и приведенная динамика ухудшения качественной составляющей указывают на неспособность водной экосистемы реки быть устойчивой к воздействию усиливающихся природных и антропогенных факторов.

Ключевые слова: река Малый Салгир, качество воды, экологическое состояние, фитотестирование, антропогенная нагрузка, река Салгир.

****

S. V. Podovalova, N. M. Ivanyutin, A. A. Manzhos, A. A. Zubochenko, L. V. Boyarkina, N. F. Reznik
Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

THE APPLICATION OF MODERN METHODS IN ESTIMATING THE ECOLOGICAL CONDITION OF SMALL WATERCOURSES WITHIN THE URBANIZED TERRITORIES

The aim of the work was to estimate the degree of pollution of one of the Crimean small watercourses aquatic ecosystem – the Malyy Salgir river. Studies conducted in 2018 were based on a study of chemical composition of the collected water samples, the calculation of the water pollution index (WPI) as well as the use of phytotesting method in laboratory experiments with wheat and gardencress seeds. During research the indicative pollutants in the watercourse along its entire length were determined. These are phosphates (excess by 3.0–5.5 times), sulfates (excess by 1.2–2.2 times), BOD5 (excess by 1.04–1.37 times), hardness salts (excess by 1, 2–1.6 times). The results of the phytotesting indicated the toxicity of the studied waters which was intensified with the increasing content of pollutants in water samples, as the effect of stimulating the development of the test cultures seedlings' rooting depth evidenced. Gardencress showed the greatest sensitivity to toxic substances, since its test responses were maximal (in spring it was the development inhibition and in summer on the contrary growth was stimulated). According to the Malyy Salgir WPI values for the last 13 years there is a tendency to water quality deterioration along the entire length of the river as indicated by WPI in cross section no. 3 (up to the Strogonovka village) in 2005 it was equal to 1.22, and in 2018 it was 1.55; in cross section no. 6 (is characterized as "moderately polluted" (III class), Simferopol, estuary) – 1.49 and 2.3, respectively. As of 2018 according to WPI water of the Malyy Salgir river is characterized as "moderately contaminated" (III class), with a tendency to move into the "dirty" (IV class) in the coming years. The assessment of water pollution and the dynamics of the qualitative component deterioration indicate the inability of the river aquatic ecosystem to be resistant to the effects of increasing natural and anthropogenic factors.

Key words: the Malyy Salgir river, water quality, ecological state, phytotesting, anthropogenic load, the Salgir river.

Введение. Малые реки – это начальное звено речной сети, и все изменения в их режиме и качестве воды отражаются по всей гидрографической цепи. Малые реки особенно чувствительны к антропогенным воздействиям, происходящим на водосборе, и уровень их экологического благополучия является показателем общего экологического благополучия ландшафта. Гидроэкологические исследования особенно актуальны и приобретают первостепенное значение в условиях интенсификации и роста масштабов антропогенного воздействия на природу. Эти исследования позволяют произвести оценку и прогнозирование возможных последствий такого воздействия [1].

Сложность геоэкологического изучения водных объектов обусловлена различным характером взаимодействующих компонентов, их размерностью, масштабом. В современном обществе существует мнение, что водные объекты обладают безграничной способностью к самоочищению и ежегодному возобновлению в процессе водообмена. Однако, как показывает практика, нерациональное, неконтролируемое использование поверхностных и подземных вод приводит к ухудшению их качественных и количественных характеристик. Водные ресурсы подвержены активным динамичным изменениям, на которые накладывается хозяйственная деятельность человека.

Методика комплексного исследования позволяет проанализировать пространственно-временную изменчивость гидрохимических показателей, сформировать обобщенное представление о существующих тенденциях к изменению состояния экосистем водных объектов, а также применительно к ограниченно водообеспеченному региону показать интегральную оценку уровня техногенной нагрузки.

Объектом исследований была выбрана р. Малый Салгир, которая входит в бассейн р. Салгир и является ее правым притоком первого порядка. За ее исток приняты карстовые родники на северо-западном склоне Долгоруковской яйлы. Длина реки составляет 24,3 км, площадь водосбора – 93,3 км^2. Самый крупный приток – р. Абдалка длиной 9 км с водосборной площадью 23,4 км^2 [2]. В долине реки расположены пять неканализованных сел, сады, огороды, пашни и сенокосы. Ширина реки изменяется от 0,5 до 5 м, глубина 0,1–0,6 м, в ряде мест русло заболочено. В межень русло реки почти повсеместно сухое, местами вода проходит подрусловым потоком.

После перекрытия в 2014 г. Северо-Крымского канала возросла роль всех местных водных ресурсов. Особое внимание стало уделяться использованию и перераспределению местных водных ресурсов. Это коснулось и главной реки полуострова, воды которой в настоящее время путем переброски части стока по СКК наполняют наливные водохранилища Керченского полуострова [3]. Также после строительства новой ТЭС под Симферополем (с. Строгоновка) часть стока р. Малый Салгир будет отбираться для охлаждения конденсаторов турбин и других производственных нужд, а отработанная вода будет сбрасываться в пруд-накопитель и далее обратно в реку.

Целью работы являлась оценка степени загрязнения водной экосистемы одного из малых водотоков Крыма – р. Малый Салгир.

Материалы и методы. Полевая и лабораторная часть исследований была выполнена в весенне-летний период 2018 г. Для проведения комплексной экологической оценки состояния водотока использовались физико-химические и биологические методы. Физико-химические методы позволили количественно определить компонентный состав воды и сделать вывод о его соответствии нормативным стандартам. Биологические методы позволили качественно оценить загрязненность воды и охарактеризовать состояние экосистемы. Также по результатам химических анализов был рассчитан индекс загрязнения воды (ИЗВ).

Комплексная экологическая оценка вод р. Малый Салгир включала:

- натурные обследования водотока и водоохранной зоны с отбором проб воды в выбранных створах, расположенных по длине реки (отбор воды осуществлялся 04.04.2018 и 25.06.2018);
- анализ качества отобранных проб воды по результатам полученных химических анализов (основных анионов и катионов, а также некоторых тяжелых металлов);
- расчет ИЗВ;
- изучение токсичности вод с использованием метода фитотестирования на тест-культурах;
- заключение об экологическом состоянии водного объекта на основании обобщения проведенных исследований.

Оценку качества воды проводили с использованием нормативов качества воды для объектов рыбохозяйственного значения [4] и СанПиН 2.1.4.1175-02 (жесткость, pH) [5].

Опыты с использованием метода фитотестирования проводились согласно СанПиН 2.1.7.573-96 [6]. Выбор тест-культур осуществлялся по ГОСТ 32627-2014 [7]. Согласно этому нормативному документу фитотестирование необходимо проводить на семенах не менее двух видов растений, при этом одно из них должно относиться к однодольным (выбрана *Triticum* (пшеница)), а второе – к двудольным (выбран *Lepidium sativum* (кресс-салат)).

Точки отбора проб воды. Выбор количества и местоположения точек наблюдений производился на основе РД 52.24.309-2016 [8]. По результатам полевых работ было организовано шесть наблюдательных точек на р. Малый Салгир, охватывающих всю длину реки, а также один створ в устье р. Абдалки и один створ в роднике, который расположен в с. Дружном и является ее постоянным притоком (таблица 1).

Подготовка проб воды. Пробы воды разделили на две части: одну использовали для фитотестирования, вторую – для выполнения химического анализа (таблица 1). В пробах воды определялись следующие компоненты: сухой остаток, pH, жесткость, O_2, БПК$_5$, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, PO_4^-, NO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, Cd, Pb, Cu, Zn. Тяжелые металлы определялись с помощью вольтамперометрического анализатора АКВ-07МК («Аквилон»). Концентрацию растворенного кислорода, который является важным показателем экологического состояния водотока, определяли в полевых условиях с помощью оксиметра АТТ-3010 («Актаком»).

Таблица 1 – Результаты химического анализа отобранных в 2018 г. проб воды и их соответствие нормам ПДК по Приказу Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 [4] и СанПиН 2.1.4.1175-02 [5]

В мг/дм^3

Порядковый номер створа и место его расположения	Дата отбора	Сухой остаток	pH	Жесткость, мг-экв/дм^3	O_2	БПК$_5$	Анион					Катион				Тяжелые металлы			
							PO_4^-	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Pb	Zn	Cd	Cu
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1) р. Малый Салгир, верховье	03.04	240	8,13	4,88	12,8	н.оп.	н.оп.	311	25	34	1,0	81	10	3,5	1,3	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
	25.06	242	8,20	4,17	7,3	1,74	**0,612**	281	37	65	3,1	60	14	13,7	1,5	0,0014	н.о.	0,0001	0,0008
2) р. Малый Салгир, 1 км после с. Дружного	03.04	280	8,10	4,80	11,2	н.оп.	н.оп.	281	25	35	1,8	81	9	5,0	5,0	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
	25.06	426	8,50	7,23	8,5	2,02	**0,765**	370	32	85	4,0	118	16	20,0	2,5	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
3) р. Малый Салгир, 500 м до с. Строгоновка	03.04	540	8,03	**8,90**	11,5	н.оп.	н.оп.	360	67	80	2,3	128	30	45	2,3	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
	25.06	640	7,80	**8,58**	9,0	**2,14**	**0,918**	335	54	**123**	4,6	130	25	28,0	4,5	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
4) р. Малый Салгир, 500 м после с. Строгоновка	03.04	710	8,01	**9,87**	11,3	н.оп.	н.оп.	384	72	**102**	3,6	154	26	54	2,0	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
	25.06	772	7,85	**9,23**	9,0	**2,24**	**1,102**	348	62	**165**	5,5	138	28	25,0	2,5	**0,0184**	н.о.	0,003	**0,0012**

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5) р. Малый Салгир, г. Симферополь до слияния с р. Абдалкой	03.04	680	8,33	**10,57**	10,9	н.оп.	н.оп.	384	68	75	6,2	158	32	49	2,3	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
	25.06	748	8,02	**11,17**	8,6	н.оп.	**1,071**	317	75	**220**	7,8	155	**41**	43,0	4,5	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
6) р. Малый Салгир, г. Симферополь (устье)	03.04	680	8,25	**9,67**	10,5	н.оп.	н.оп.	335	90	97	10,0	150	26	60	2,5	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
	25.06	704	7,95	**9,50**	9,0	**2,88**	**1,102**	350	70	**165**	16,0	140	30	40,0	4,5	н.о.	н.о.	0,0009	0,001
7) родник в с. Дружном	03.04	270	8,16	5,08	12	н.оп.	н.оп.	205	22	32	1,0	90	7	3,5	1,3	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
	25.06	284	8,40	5,30	11,5	1,72	**0,979**	256	35	78	3,5	76	18	19,0	4,5	н.оп.	н.оп.	н.оп.	н.оп.
8) р. Абдалка, г. Симферополь (устье)	03.04	790	8,04	**9,47**	10,2	н.оп.	н.оп.	335	110	**115**	14,8	151	23	68	2,5				
	25.06	714	7,93	6,47	9,0	**2,2**	**0,918**	348	65	**128**	15,0	126	2	30,0	5,0				
Норма ПДК по приказу от 13.12.2016 № 552 [4]		1000	6,5…8,5 по СанПиН 2.1.4.1175-02 [5]	7,0 по СанПиН 2.1.4.1175-02 [5]	6,0	2,1	0,2	нн.	300	100	40	180	40	120	50	0,006	0,01	0,005	0,001

Примечание – Жирным выделены элементы, содержание которых превышает ПДК; нн. – не нормируется, н.о. – не обнаружен; н.оп. – не определялся.

Результаты и обсуждение. Нагрузка на малые реки Крымского полуострова постоянно возрастает. Так, например, в работе Н. Е. Волковой, Р. Ю. Захарова [9] приведены результаты исследований р. Малый Салгир. Авторы проводят оценку вод, исходя из почвенно-мелиоративной классификации, и констатируют, что ее качество изменяется от I у истока до II в устье. Застройка прибрежной полосы, замусоривание водоохранной зоны и самого водотока приводят к существенным изменениям качественных показателей воды. Среди других отрицательных последствий антропогенного воздействия на водохозяйственную экосистему реки кроме ухудшения качества воды авторы отмечают следующие: снижение эстетической привлекательности водотока, ухудшение качества среды обитания водной биоты, невозможность подойти к руслу водотока [9, 10]. Все это указывает на необходимость ведения постоянного экологического мониторинга на всех водных объектах полуострова, так как даже маловодный, но загрязненный водоток способен нанести вред основной реке.

Практически все реки полуострова в летнее время пересыхают и имеют только подрусловой сток. Не исключение и р. Малый Салгир. Так, судя по результатам полевых обследований (рисунок 1), в апреле текущего года русло было заполнено водой на всем протяжении реки, а в июне в верховье реки и на участке от с. Дружного до с. Денисовка вода в русле отсутствовала.

а *б*

Рисунок 1 – Наличие воды в русле р. Малый Салгир в районе с. Дружного (из фотоархива авторов): *а* – 03.04.2018; *б* – 25.06.2018

На основании результатов химического анализа проб воды были построены графики (рисунки 2 и 3), на которых отражены концентрации химических компонентов, содержание которых превышает допустимые нормы либо значительно увеличивается по длине водотока. Для сравнения качества вод р. Малый Салгир (створы № 1–6) и вод, вносящих свой вклад в формирование ее химического состава (родник в с. Дружном (створ № 7 «Родник») и р. Абдалка (створ № 8 «Приток»)), данные об их компонентном составе приведены на одной диаграмме.

Анализируя данные таблицы 1 и рисунков 2, 3, можно отметить, что качество воды в летний период было значительно хуже, что можно связать с уменьшением количества воды в водотоке (летней меженью) и меньшим разбавлением поступающих загрязняющих веществ водами реки. Так, в апреле текущего года содержание сульфатов не поднималось выше ПДК, а в июне их концентрация достигла 2,2 ПДК (створ № 5). Также вызывает опасение повышенное содержание в воде фосфатов, которое во всех точках превышает нормативные показатели, достигая 5,5 ПДК (створы № 4, 6).

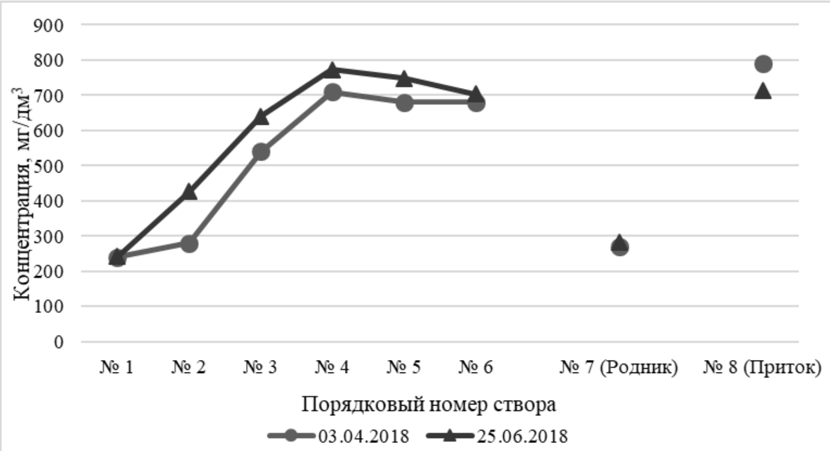


Рисунок 2 – Концентрация сухого остатка в водах р. Малый Салгир, мг/дм³

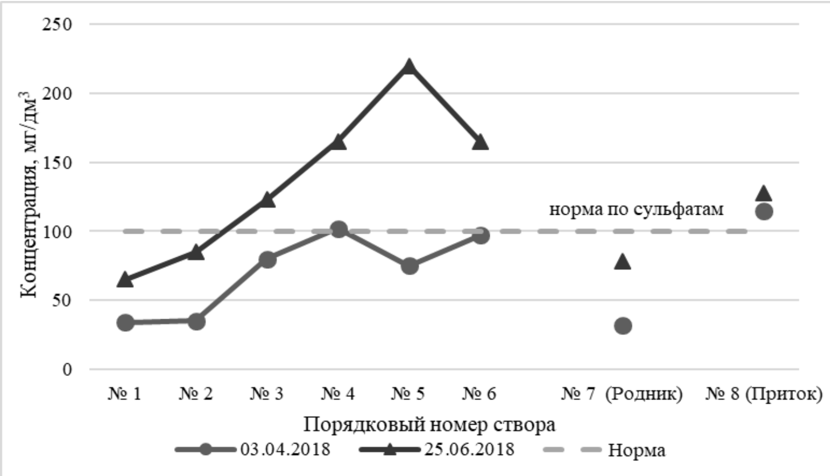


Рисунок 3 – Концентрация сульфатов в водах р. Малый Салгир, мг/дм³

Проведенный качественный анализ вод с целью установления содержания различных компонентов и его сравнение с ПДК не способен дать характеристику их токсичности, т. е. определить влияние поллютантов, находящихся в воде, на живые организмы, так как даже нетоксичные соединения при совместном действии могут приводить к значительному токсическому эффекту. Поэтому следующим этапом исследований было проведение фитотестирования исследуемых вод с использованием семян кресс-салата и пшеницы. В конце опыта (через 72 ч) были измерены длины корней проростков и расчетное значение средней длины в каждой пробе сравнивалось с контролем на дистиллированной воде, так как именно изменения (ингибирование или стимулирование) развития корневой системы тест-культур в сравнении с контролем являются основной тест-реакцией растений на наличие в воде поллютантов. Данный метод изучения экологического состояния водных объектов был успешно апробирован авторами на нескольких водотоках и сточных водах полуострова и представлен в работах 2017–2018 гг. [10–12]. Результаты опытов по фитотестированию приведены на рисунке 4.

Из результатов биотестирования, проведенного в разные сезоны (весной и летом) 2018 г., следует, что солевой состав природных вод оказывает значительное влияние на развитие корневой системы тест-растений. Чем хуже было качество вод, тем сильнее проявлялся эффект стимулирования развития корневой системы проростков тест-культур.

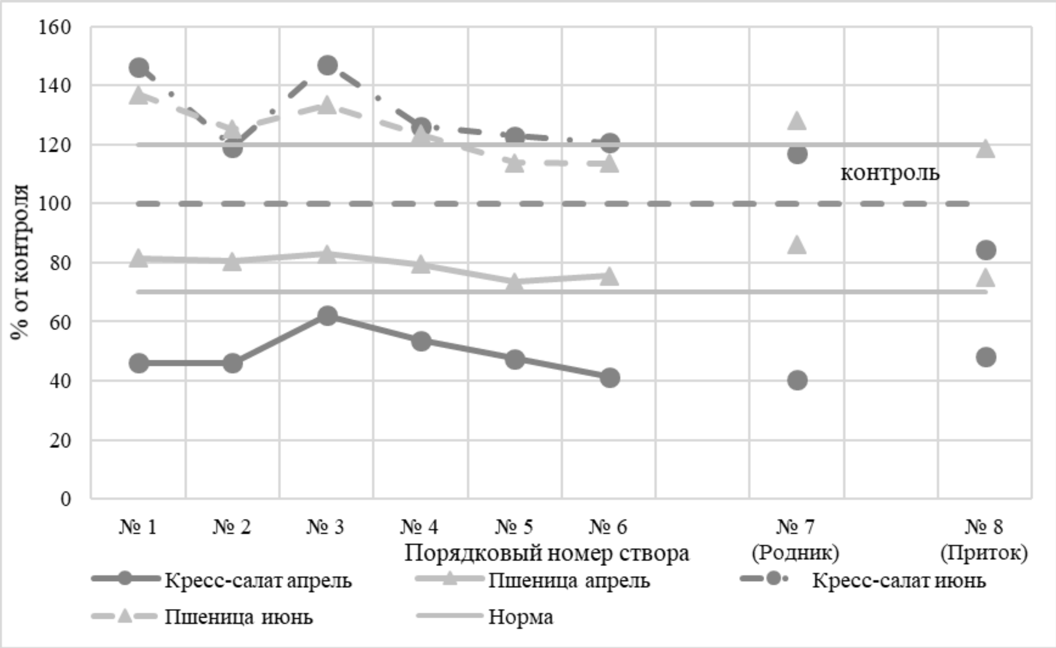


Рисунок 4 – Результаты фитотестирования вод р. Малый Салгир

Наибольшую чувствительность к токсическим веществам проявил кресс-салат, так как его тест-отклики были максимальными (в весенний период происходило ингибирование развития, а в летний период, наоборот, стимуляция роста).

Наиболее токсичными по результатам фитотестирования оказались пробы № 5 и 6 (в точках, расположенных в черте г. Симферополя).

Анализируя данные рисунка 4, видим, что обе тест-культуры (за одну дату) практически одинаково отреагировали на исследуемую воду (графики имеют одинаковую тенденцию), что свидетельствует о надежности выбранных тест-культур. Однако в эксперименте за апрель развитие пшеницы находилось в пределах нормы, а на кресс-салат вода произвела ингибирующий эффект. В июне исследуемые пробы оказали на развитие тест-культур стимулирующее действие, что еще раз подтверждает факт ухудшения качества воды в летний период.

Сведения, полученные в результате определения химического состава отобранных проб воды, были использованы для расчета ИЗВ, который дал возможность отразить тенденцию изменения качества воды по всей длине реки и выявить динамику ухудшения экологического состояния за последние 13 лет. Расчеты производились согласно «Временным методическим указаниям по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям» [13], которые позже были заменены РД 52.24.643-2002 [14]. В новом документе предлагается рассчитывать не ИЗВ, который вычисляется по шести показателям, а удельный комбинаторный индекс загрязнения вод (УКИЗВ), который требует расширенного перечня определяемых элементов, включающего 15 обязательных и целый ряд специфических загрязняющих веществ. Ввиду дороговизны определения такого количества показателей по настоящее время учеными при проведении комплексной оценки качества поверхностных вод используется ИЗВ [15–17]. Класс воды по ИЗВ может варьироваться от I (очень чистая) до VII (чрезвычайно грязная вода), при этом большему значению индекса соответствует худшее качество воды и более высокая степень загрязнения водного объекта. Расчет ИЗВ производился по строго ограниченному количеству показателей. Обязательными являются растворенный кислород и $БПК_5$, а также выбираются четыре компонента, концентрации которых, независимо от того, превышают они ПДК или нет, наибольшие.

В настоящее время на р. Малый Салгир существует два действующих гидропоста службы мониторинга, наблюдения на которых осуществляет ФГБУ «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Эти створы расположены в с. Строгоновка (500 м выше села) и г. Симферополе (устье реки). По данным створам были рассчитаны значения ИЗВ (таблица 2).

Таблица 2 – Оценка качества поверхностных вод р. Малый Салгир по ИЗВ

Створ	ИЗВ по ПДК по приказу от 13.12.2016 № 552 [4]				Содержание загрязняющих веществ, количество которых превышает ПДК$_{р/х}$ и которые использовались в расчете ИЗВ в 2018 г.	
	2005 г.	2009 г.	2010 г.	2018 г.	показатель	кратность превышения
с. Строгоновка	1,22 (III класс) умеренно загрязненная	1,04 (III класс) умеренно загрязненная	0,99 (II класс) чистая	1,55 (III класс) умеренно загрязненная	Фосфаты SO_4 Жесткость	4,59 1,2 1,23
г. Симферополь	1,49 (III класс) умеренно загрязненная	1,18 (III класс) умеренно загрязненная	1,78 (III класс) умеренно загрязненная	2,3 (III класс) умеренно загрязненная	Фосфаты Cd SO_4 Жесткость	7,35 1,8 1,65 1,36

Представленный в таблице 2 ИЗВ рассчитан по показателям, вносящим основной вклад в гидрохимическое загрязнение водотока: фосфатам, сульфатам, солям жесткости, и имеющим наибольшее превышение ПДК.

Для наглядного представления изменения ИЗВ на рисунке 5 приведена характеристика качества поверхностных вод р. Малый Салгир.

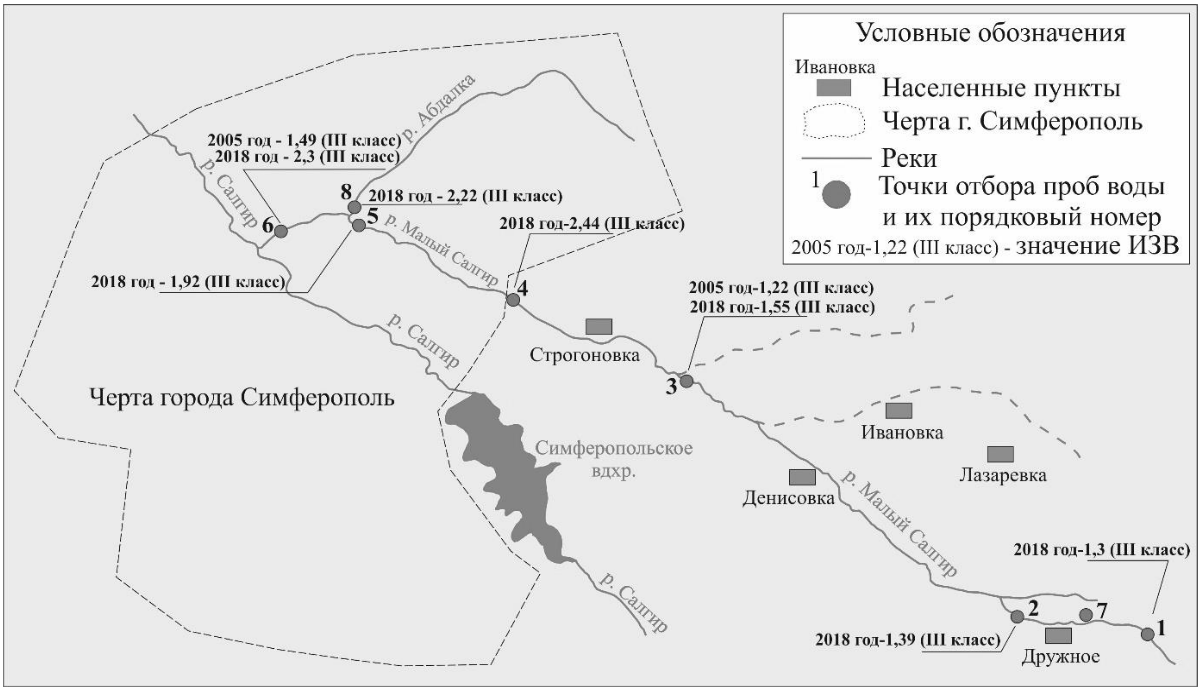


Рисунок 5 – Карта-схема качества вод р. Малый Салгир по ИЗВ

Из анализа данных таблицы 2 и рисунка 5 видно, что качество вод р. Малый Салгир по ИЗВ за последние 13 лет сильно изменилось. Так, на действующих гидропостах службы мониторинга (точки № 3 и 6) произошло увеличение значения ИЗВ, хотя класс качества воды не изменился. Также увеличение значений ИЗВ по течению реки в 2018 г. свидетельствует об усилении антропогенной нагрузки. При этом резкий скачок показателя ИЗВ фиксируется в районе с. Строгоновка, что дает возможность отнести данный населенный пункт к мощному источнику загрязнения водотока. Это может быть связано с отсутствием в селе централизованного водоотведения, а также с нахождением в районе водоохраной зоны несанкционированной частной застройки, автомоек и заправочной станции. Далее на участке между точками 4 и 5 идет небольшое улучшение качества воды по ИЗВ, однако на участке между створами 5 и 6, в районе, где река принимает воды притока р. Абдалки, а также протекает через частный сектор, с территории которого в водоток сбрасываются хозяйственно-бытовые стоки, качество вод ухудшается.

Выводы. Река Малый Салгир на значительном протяжении протекает через ряд неканализованных сел и урбанизованную территорию – г. Симферополь, где принимает значительный объем хозяйственно-бытовых сточных вод с частных домовладений, ливневые стоки, а также (к концу 2018 г.) отработанные воды ПГУ-ТЭС, расположенной в с. Строгоновка.

В процессе исследований определены характерные загрязняющие вещества в водотоке, зафиксированные по всей его длине. Это фосфаты (превышение в 3,0–5,5 раза), сульфаты (превышение в 1,2–2,2 раза), $БПК_5$ (превышение в 1,04–1,37 раза), соли жесткости (превышение в 1,2–1,6 раза).

Из результатов фитотестирования, проведенного в разные сезоны (весной и летом) 2018 г., следует, что солевой состав природных вод оказывает значительное влияние на развитие корневой системы тест-растений. Чем хуже было качество вод, тем сильнее проявлялся стимулирующий эффект развития корневой системы проростков тест-культур.

Наибольшую чувствительность к токсическим веществам проявил кресс-салат, так как его тест-отклики были максимальными (в весенний период это было ингибирование развития, а в летний период, наоборот, произошла стимуляция роста).

Проводимый мониторинг на двух действующих наблюдательных гидропостах, исследования на которых осуществляет Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, на наш взгляд, является недостаточным для выявления источников загрязнения водотока и принятия управленческих решений по улучшению его экологического состояния.

Вода р. Малый Салгир, если оценивать ее качество с помощью ИЗВ, в 2018 г. характеризуется как «умеренно загрязненная» (III класс), но с тенденцией к переходу в ближайшие годы в «грязную» (IV класс).

Гидрохимический анализ, фитотестирование и расчет класса чистоты – ИЗВ подтверждают негативные изменения, происходящие в водотоке.

Список использованных источников

1 Власова, А. Н. Гидрологическая и гидроэкологическая характеристика реки Малый Салгир / А. Н. Власова // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: География. – 2008. – Т. 21(60), № 3. – С. 94–101.

2 Паспорт реки Малый Салгир. – Симферополь: Крымгипроводхоз, 1992. – 85 с.

3 Кременской, В. И. Водооборот и антропогенная нагрузка в бассейне реки Салгир / В. И. Кременской, С. В. Подовалова, Н. М. Иванютин // 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.

4 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 [Электронный ресурс]. – М., 2016. – Режим доступа: http:docs.cntd.ru/docu-ment/420389120, 2018.

5 Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: СанПиН 2.1.4.1175-02 [Электронный ресурс]. – М., 2003. – Режим доступа: http:files.stroyinf.ru/Data1/10/10948/, 2018.

6 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения: СанПиН 2.1.7.573-96 [Электронный ресурс]. – М., 1997. – Режим доступа: http:files.stroyinf.ru/Data2/1/4293825/4293825376.htm, 2018.

7 ГОСТ 32627-2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Наземные растения. Испытание на фитотоксичность. – Введ. 2015-06-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 20 с.

8 РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [Электронный ресурс]. – Ростов н/Д., 2016. – Режим доступа: http:docs.cntd.ru/document/495872993, 2018.

9 Волкова, Н. Е. Особенности водохозяйственной экосистемы реки Малый Салгир / Н. Е. Волкова, Р. Ю. Захаров // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 11–17.

10 Иванютин, Н. М. Результаты комплексного экологического мониторинга реки Славянки / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 34–42.

11 Иванютин, Н. М. Оценка минерального состава и токсичности очищенных сточных вод Крыма как альтернативного источника воды для орошения / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // Таврический вестник аграрной науки. – 2018. – № 1(13). – С. 53–64.

12 Иванютин, Н. М. Использование растительных тест-систем в мониторинге экологического состояния водных объектов реки Салгир / Н. М. Иванютин, С. В. Подовалова // Экология и строительство. – 2017. – № 3. – С. 17–23.

13 Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. – М., 1986. – 5 с.

14 РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 50 с.

15 Лопарева, Т. Я. Оценка качества воды озера Балхаш согласно комплексным индексам загрязнения / Т. Я. Лопарева, О. А. Шарипова // Гидрометеорология и экология. – 2013. – № 1(68). – С. 145–149.

16 Дан, Е. Л. Индекс загрязнения воды как показатель экологического состояния водоемов г. Мариуполя / Е. Л. Дан, А. Е. Капустин // Актуальные проблемы современной науки: сб. тез. науч. работ XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Междунар. науч. центр, 2016. – С. 28–30.

17 Клёпов, В. И. Оценка качества водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москвы / В. И. Клёпов, И. В. Рагулина // Природообустройство. – 2017. – № 3. – С. 14–21.

УДК 627.512

А. В. Бреева, Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ В РУСЛЕ РЕКИ БЕЛЬБЕК

Целью данного исследования являлось прогнозирование прохождения максимальных паводков редкой повторяемости (0,5 и 3 % обеспеченности) стока на р. Бельбек. В результате расчета для каждого момента времени в пределах заданного периода моделирования были определены расходы и уровни, а также скорости водного потока. Было установлено плановое положение зоны затопления, а также площади затопления пяти населенных пунктов, ранжированные по обеспеченности стока: для 3 % – 0,15 км^2, для 0,5 % – 0,24 км^2. Полученные результаты уверенно говорят о следующем: морфометрия р. Бельбек (русло и пойменная территория) такова, что в случае неблагоприятных погодных условий (ливней и таяния снега) в русле очень быстро формируются значительные дождевые паводки, которые в итоге создают угрозу подтопления для расположенных ниже по течению населенных пунктов и объектов экономики. Это обуславливает необходимость создания системы оповещения населения, чтобы обеспечить возможность жителям подготовиться к паводку или уйти из опасной зоны, а службе спасения оперативно прибыть в зону предполагаемой чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: река Бельбек, зона затопления, максимальный паводок, моделирование, бассейн реки, русловые участки, водохозяйственный комплекс, орошение, водоснабжение, Крымский полуостров.

****

A. V. Breeva, T. S. Ponomarenko, A. N. Ryzhakov
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

RESULTS OF COMPUTER SIMULATION OF MAXIMUM WATER DISCHARGE OF RARE OCCURENCE PASSING IN THE BELBEK RIVER BED

The purpose of this study was to predict the maximum floods of a rare occurrence (0.5 and 3 % of supply) of runoff passing of on the river Belbek. As a result of calculation for each time point within the given simulation period the costs and levels as well as the water flow rates were determined. The horizontal location of the flooding zone as well as the flooding areas of five settlements ranked by the availability of runoff: for 3 % – 0.15 km^2, for 0.5 % – 0.24 km^2 were found. The obtained results confidently indicate the following: morphometry of the river Belbek (riverbed and floodplain) is such that under unfavorable weather conditions (downpours and snow melting) in the river course significant rainfall floods are formed very quickly, which in the end create a threat of flooding for downstream settlements and economic entity. This makes it necessary to create an emergency broadcast system to enable residents to prepare for floods or to leave the danger zone and the rescue service to arrive quickly in the area of the supposed emergency.

Key words: Belbek river, flood waterzone, maximum flood, simulation, river basin, riverbed parts, water management complex, irrigation, water supply, Crimean peninsula.

Введение. В рамках исследований сценарных решений по использованию водных ресурсов рек предгорной зоны Республики Крым для вовлечения в сельскохозяйственный оборот дополнительных площадей орошения была рассмотрена возможность возникновения на р. Бельбек чрезвычайных ситуаций в результате паводка.

Наиболее скоротечные и быстроразвивающиеся паводки, наносящие наибольший ущерб вследствие внезапности, бывают на горных реках. Разработка эффективных превентивных мероприятий является одной из главных задач современной науки, изучающей наводнения и паводки. Надежное их прогнозирование требует определения объема, временных параметров, скорости русловых потоков на всем протяжении реки. Одним из способов получения таких данных является компьютерное моделирование.

Река Бельбек является самой полноводной из рек Крыма (имеет самый большой среди крымских рек среднегодовой расход воды) [1]. Она расположена на юго-западе Крымского полуострова. Длина реки составляет 63 км, площадь водосборного бассейна – 505 км^2, уклон реки 6,0 м/км [2, 3]. В верховьях река и ее притоки представляют собой бурные, никогда не пересыхающие потоки с узким руслом, быстрым течением и крутыми высокими берегами [4]. Река впадает в Черное море в 5 км от Севастопольской бухты у пос. Любимовка, где устье реки при впадении в море имеет ширину всего несколько метров и разделяет пляж на две части [2]. Среднемноголетний сток на гидропосте Фруктовое составляет 2,08 м^3/с [5]. На притоках Бельбека еще в середине XX в. была спроектирована система водохранилищ. Постепенно отстроили на речке Биюк-Узенбаш – Счастливое-1, на Манаготре – Счастливое-2 (самое крупное), на ручье Карстовом – Ключевское [6].

Материалы и методы. Для оценки возможных негативных последствий при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости (0,5 и 3 % обеспеченности стока) был выполнен комплекс работ, включающий создание цифровой модели рельефа [7, 8] и разработку гидродинамической модели [9].

На основе цифровой модели рельефа местности подготовлены исходные данные (поперечные профили русла реки с заданным шагом) для разработки системы математических моделей, позволяющих рассчитать прохождение максимальных расходов редкой повторяемости [10].

Цифровая гидродинамическая компьютерная модель (ЦГКМ) прохождения максимальных расходов редкой повторяемости разработана для участка р. Бельбек от н. п. Счастливое до н. п. Дальнее (общей протяженностью 43,6 км) (рисунок 1).

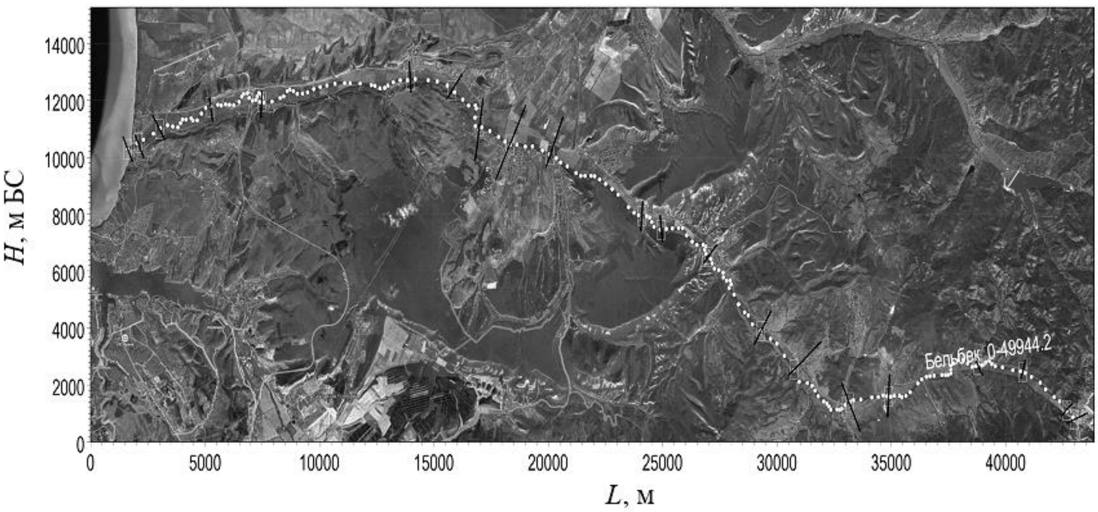


Рисунок 1 – Участок моделирования р. Бельбек

Результаты и обсуждение. Исходными данными для разработки ЦГКМ была следующая информация:

- спутниковый снимок исследуемого участка (рисунок 1);
- цифровая модель рельефа местности;
- русловые и пойменные поперечные сечения (22 поперечных сечения);
- временные ряды максимальных расходов 0,5 и 3 % обеспеченности стока [11].

Для создания модели были выполнены следующие работы:

- в файле речной сети выполнена координатная привязка космоснимка и нанесена ось русла реки;
- в разделе морфометрических данных определено местоположение и параметры поперечных сечений русловой и пойменной части моделируемого участка;
- выполнена привязка поперечных сечений, расположенных в населенных пунктах, к продольному профилю расчетного участка;
- в разделе гидродинамических параметров определена шероховатость пойменной части русла;
- заданы граничные условия модели в виде сосредоточенного притока в нулевом пикете, распределенной проточности с правого и левого водосборов и уровня воды в концевом пикете;
- установлен временной интервал моделирования с шагом расчета 1 ч;
- выполнены расчеты для двух сценариев прохождения максимальных расходов редкой повторяемости.

Проведены сценарные исследования ЦГКМ, и выявлены места возникновения чрезвычайных ситуаций при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости 0,5 и 3 % обеспеченности стока. В результате анализа полученных моделей на исследуемом участке р. Бельбек были установлены:

- величина расходов (рисунки 2, 3) в расчетных точках на всем протяжении моделируемого участка;
- максимальные уровни воды в поперечных сечениях и на продольном профиле (рисунок 4);
- границы затопления пойменной территории в случае максимальных расходов 0,5 и 3 % вероятности превышения стока (рисунок 5).

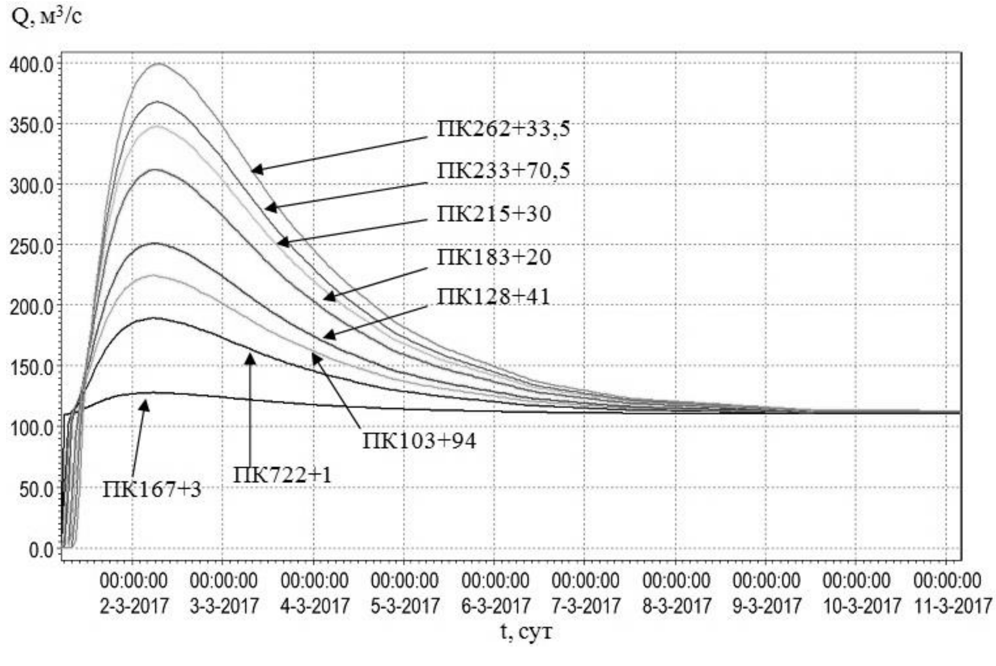


Рисунок 2 – Графики прохождения максимальных расходов при 0,5 % обеспеченности стока

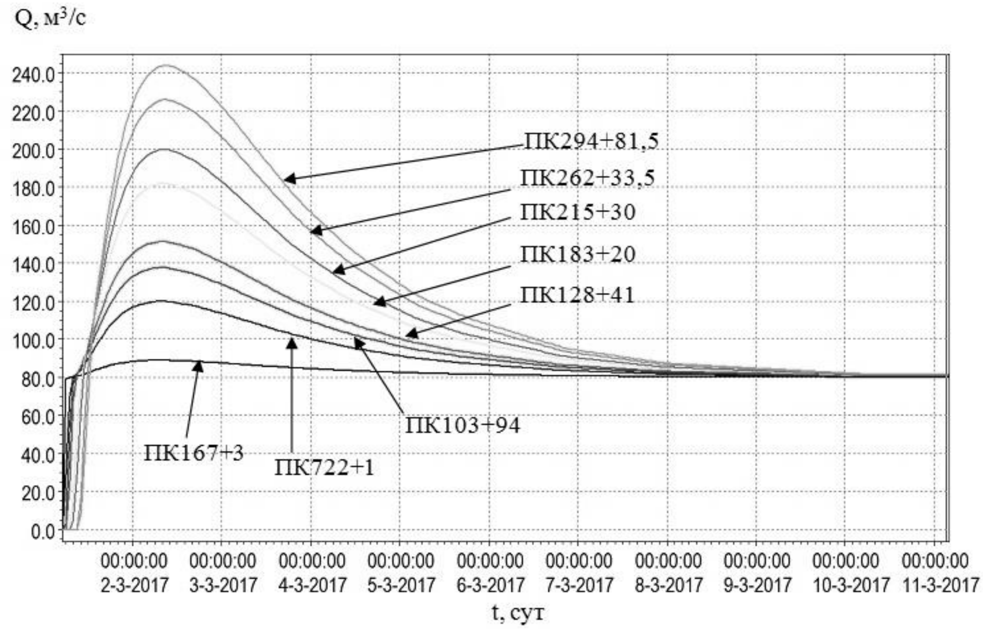


Рисунок 3 – Графики прохождения максимальных расходов при 3 % обеспеченности стока

В целях определения размеров вероятного вреда, который может быть причинен в результате чрезвычайной ситуации, на основе результатов сценарных исследований на спутниковых снимках отображены зоны затопления и установлены их площади.

Наибольшие расходы согласно графикам, представленным на рисунках 2, 3, наблюдаются через 32 ч после начала паводка. Максимальный расход при 3 % обеспеченности стока составляет 245 м^3/с (ПК 294 + 81,5), а при 0,5 % – 400 м^3/с (ПК 262 + 33,5).

Максимальные скорости водного потока отмечены на участке русла в районе н. п. Танковое (ПК 285). Скорость при 3 % обеспеченности стока составляет 1,9 м/с, а при 0,5 % – 2,3 м/с.

Основным морфологическим параметром одномерной гидродинамической модели являются поперечные сечения реки. Для определения границ зон затопления из данных модели была получена максимальная отметка уровня воды и плановое положение границ вероятного затопления на заданную обеспеченность в каждом поперечном сечении. Данное расстояние с учетом рельефа и максимальной отметки уровня воды было вынесено в соответствии с местоположением поперечника в план. Методом интерполяции были определены и нанесены на картографическую основу границы вероятных зон затопления.

Согласно полученным границам зон затопления наводнению могут быть подвержены следующие населенные пункты: Зеленое, Плотинное, Голубинка, Куйбышево, Большое Садовое (рисунки 4, 5).

В таблице 1 представлены площади возможного затопления при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости.

Таблица 1 – Площади затопления, ранжированные по обеспеченности стока

В км^2

Обеспеченность стока	Площадь затопления пойменной части	Площадь затопления населенных пунктов
0,5 %	5,59	0,24
3 %	4,04	0,15

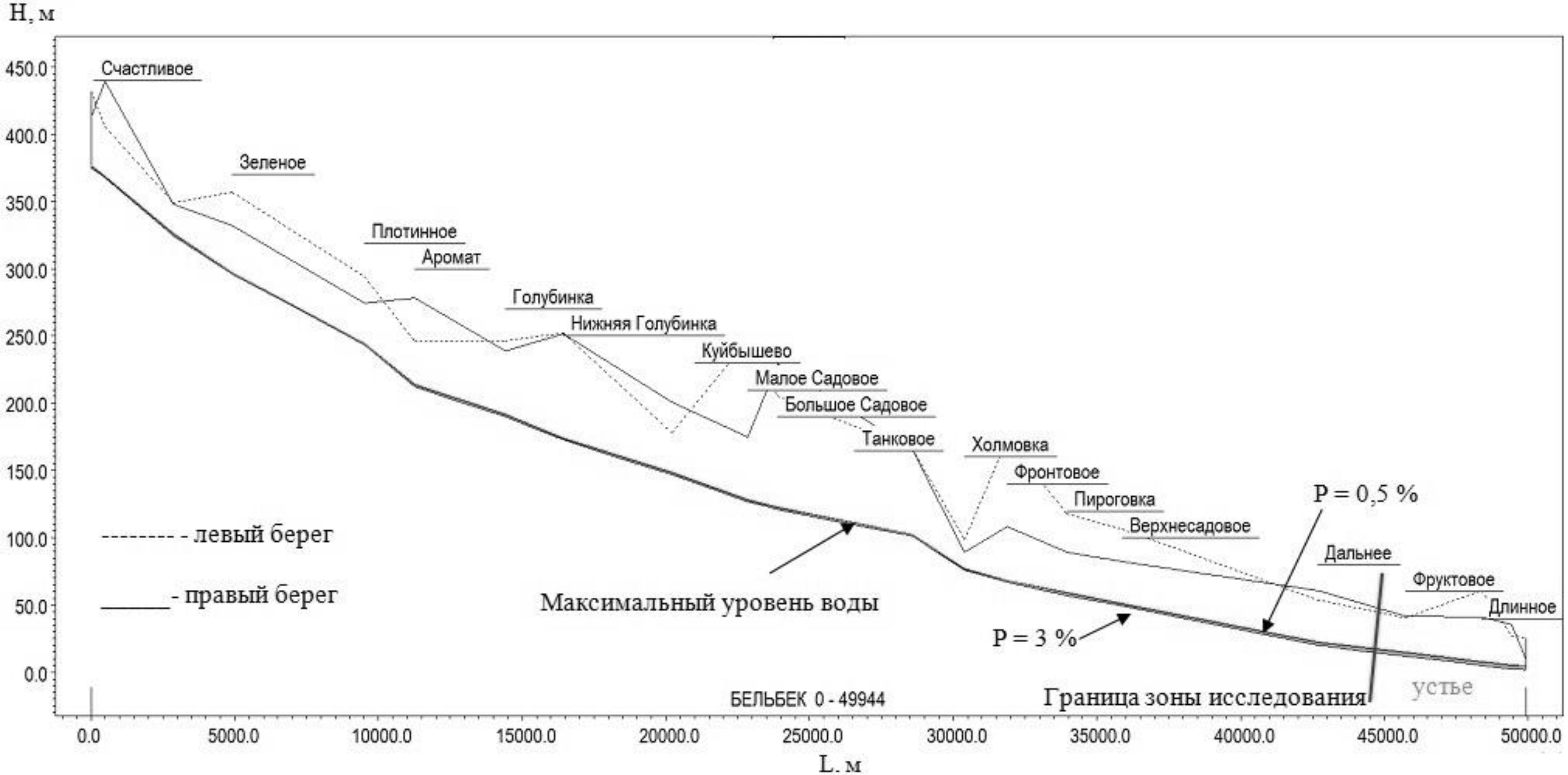


Рисунок 4 – Максимальные уровни воды в р. Бельбек при различных сценариях

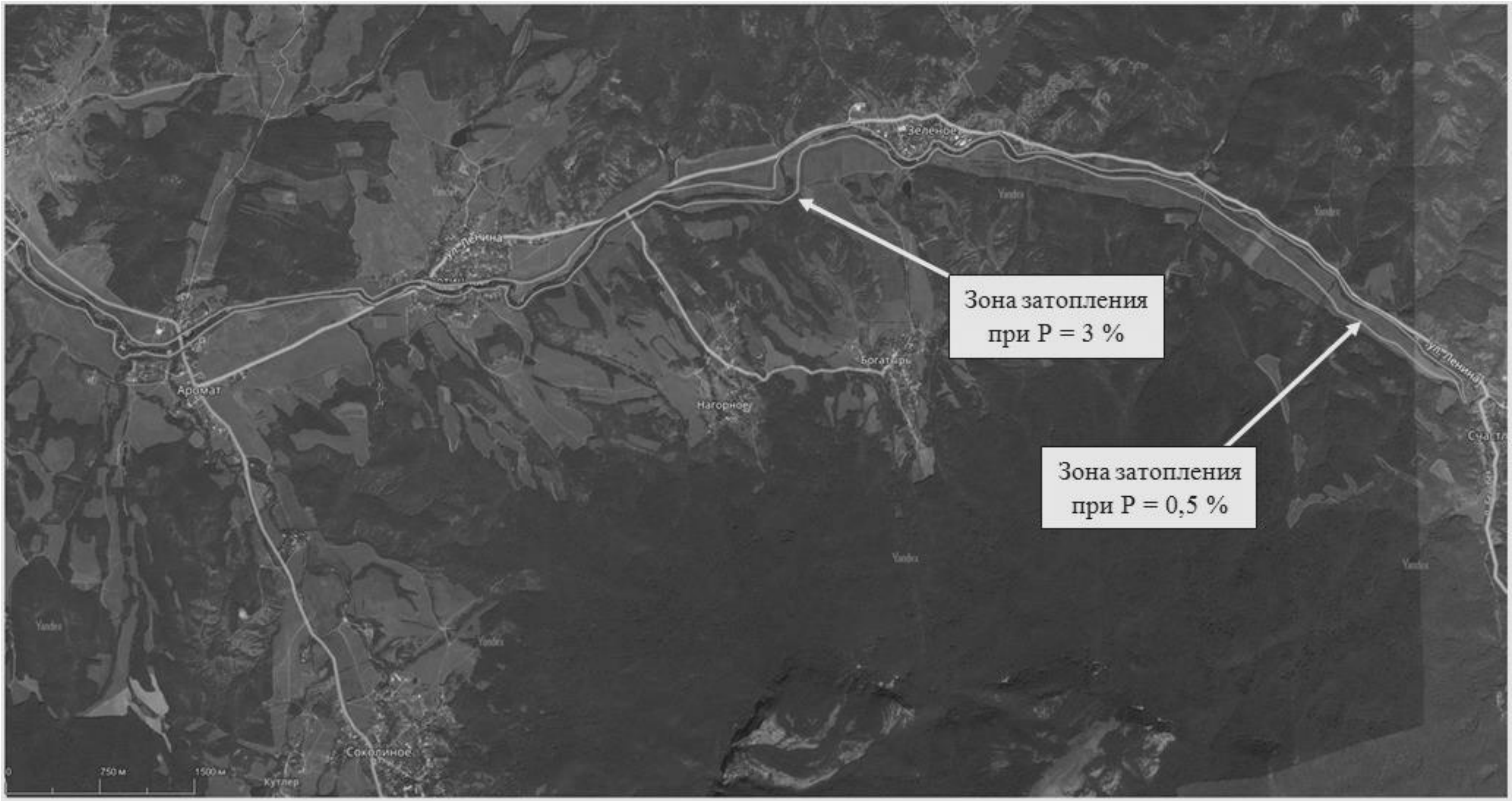


Рисунок 5 – Пример зоны затопления на рассматриваемом участке р. Бельбек (ПК 0 – ПК 1441)

Выводы. Для уточнения полученных в исследовании характеристик необходимы дополнительные изыскания, в частности проведение подробной топографической съемки по всему руслу реки на расстояние, по профилю превосходящее максимальную зону затопления, для корректировки расчетов уровня и потока в заданной точке русла. Расчетные характеристики необходимо сравнить с реальными измерениями уровня стационарными уровнемерами, т. е. многократно проверить в реальных условиях стока.

Однако полученные результаты уверенно говорят о следующем: морфометрия р. Бельбек (русло и пойменная территория) такова, что в случае неблагоприятных погодных условий (ливней и таяния снега) в русле очень быстро формируются значительные дождевые паводки, которые в итоге создают угрозу подтопления для расположенных ниже по течению населенных пунктов и объектов экономики. Это обуславливает необходимость создания системы оповещения населения, чтобы обеспечить возможность жителям подготовиться к паводку или уйти из опасной зоны, а службе спасателей оперативно прибыть в зону предполагаемой чрезвычайной ситуации.

Список использованных источников

1 Олиферов, А. Н. Реки и озера Крыма / А. Н. Олиферов, З. В. Тимченко. – Симферополь: Доля, 2005. – 216 с.

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

3 Езерский, Ю. И. Родники Крыма [Электронный ресурс] / Ю. И. Езерский. – Режим доступа: http:neizv-crimea.ru/Rodnik.htm, 2018.

4 Иванов, В. А. Оценка пространственно-временной изменчивости поверхностного стока Крыма (гидравлическая модель) / В. А. Иванов, А. В. Прусов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – № 13. – С. 126–150.

5 Поверхностные водные объекты Крыма: справочник / А. А. Лисовский, В. А. Новик, З. В. Тимченко, З. Р. Мустафаева. – Симферополь: Рескомводхоз АРК, 2004. – 114 с.

6 Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2015 году / М-во экологии и природ. ресурсов Респ. Крым. – Симферополь: ИП Бондаренко Н. Ю., 2016. – 294 с.

7 Панорама карты покрытия SRTM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:viewfinderpanoramas.org/Coverage%20map%20viewfinder panoramas_org3.html, 2018.

8 Бреева, А. В. Современные подходы для получения морфометрических характеристик водосборов / А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 45–49.

9 Сенчуков, Г. А. Применение компьютерного моделирования режимов водопотребления и водораспределения для повышения эффективности организации водопользования на оросительных системах / Г. А. Сенчуков, Т. С. Пономаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 27–31.

10 Афонин, Л. А. Проблемы прогнозирования паводков и наводнений / Л. А. Афонин // Наука. Инновации. Технологии. – 2014. – № 1. – С. 145–152.

11 Тищенко, А. И. Рациональное использование водных ресурсов Крыма для целей мелиорации / А. И. Тищенко, А. А. Кузьмичёв, Т. С. Пономаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 188–207. – Режим доступа: https:elibrary.ru/download/elibrary_32433014_67006356.pdf.

УДК 340.13:316.35

Е. А. Соколова, В. В. Бабенков
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННОЙ СТОИМОСТИ ПОДАЧИ ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ

Обзор представляет исследовательские результаты, достигнутые в области, связанной с актуальностью применения онтологии для расчета экономически обоснованной стоимости подачи воды на орошение. В работе освещены различные точки зрения и методы исчисления платы. В обзоре представлен метод построения онтологии для расчета подачи воды на орошение.

Ключевые слова: онтология, орошение, подход, стоимость, метод, формула, расчет, мелиорация.

****

E. A. Sokolova, V. V. Babenkov
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

ONTOLOGICAL APPROACH TO THE CALCULATION OF ECONOMICALLY REASONABLE COST OF WATER SUPPLY FOR IRRIGATION

The research results achieved in the area related to the relevance of using ontology for calculating the economically reasonable cost of irrigation water supply are presented in the review. Different points of view and methods of payment calculation are covered. The method for constructing ontology for calculating water supply on irrigation is proposed.

Keywords: ontology, irrigation, approach, cost, method, formula, calculation, reclamation.

Введение. Развитие компьютерных технологий стало неотъемлемой частью современного мира. Необходимость хранения большого количества информации, а также ее систематизации, вызывает интерес к всеобъемлющим базам знаний, позволяющим проанализировать интенсификацию сельскохозяйственного производства. Такой подход обеспечивает возможность извлекать какие-либо сведения из текста без участия человека.

Как известно, в целях экономического регулирования темпов и объемов водопотребления в мировой практике сложилось несколько подходов к формированию платы за подачу воды к оросительным системам, следовательно, существует огромное множество методов решения насущной проблемы.

Стоит также отметить, что процедура подачи воды включает в себя ряд требований и норм. Водоподающие организации и хозяйства-водопользователи в рыночных условиях являются основными участниками водных отношений, более того, хочется отметить, что строгой системы для подачи воды не существует. При этом каждая сторона хочет снизить свои затраты и получить максимальную прибыль [1, 2].

Уникальность современного подхода к определению экономически обоснованной стоимости подачи воды на орошение обуславливается значимостью создания четкой и гибкой системы, позволяющей грамотно хранить всю информацию.

Именно поэтому целью данного исследования является изучение и анализ имеющихся методик и практик определения платы за подачу воды к оросительным системам и обоснование необходимости создания онтологического расчета экономически обоснованной стоимости подачи воды на орошение.

Материалы и методы исследования состоят из нормативно-правовой базы, которая определяет условия и методы исчисления платы за подачу воды к оросительным системам, докладов международных организаций, содержащих какие-либо данные о российской и зарубежной практике оказания услуг по подаче воды к оросительным системам. В мировой практике существуют следующие методы исчисления платы за орошение [3]:

- зональный метод – оплата рассчитывается по площади аграрного хозяйства или орошаемой площади;
- дифференцированный метод – платеж рассчитывается исходя из нормативов полива, установленных в регионе для конкретных культур, и в зависимости от вида выращиваемых сельхозкультур;
- объемный метод – фиксированная ставка от объема поданной воды или несколько переменных ставок, которые часто зависят от различных квот;
- повременный метод – метод исчисления платы исходя из времени подачи воды;
- долевой метод – исчисление платежа производится в долях от дохода, полученного от реализации сельхозпродукции, которая была выращена за счет орошения.

Экономически обоснованным считается объемный метод, так как величина оплаты при таком методе будет зависеть от количества приобретаемой воды.

Формула для расчета стоимости подачи воды с одной фиксированной ставкой (одноставочный тариф) выглядит следующим образом [4, 5]:

$$\mathrm{C}_1 = \frac{\sum \mathrm{P}_{\text{план}} + \sum \mathrm{P}_{\text{эл}} + \sum \mathrm{P}_{\text{ПН}}}{W_0 + W_0\,(\eta_{\text{н}} - \eta_{\text{ф}})} \cdot (1 + \text{НДС}),$$

где C_1 – одноставочный тариф, руб./м^3;

$\sum \mathrm{P}_{\text{план}}$ – сумма всех плановых расходов на содержание и эксплуатацию имущества (без электроэнергии головных и подкачивающих насосных станций (НС)), которые относятся к реализации услуги по подаче воды, руб.;

$\sum \mathrm{P}_{\text{эл}}$ – затраты на электроэнергию головных и при необходимости подкачивающих НС, необходимую для подачи заявленного объема оросительной воды, руб.;

$\sum \mathrm{P}_{\text{ПН}}$ – затраты на текущий ремонт электро- и гидромеханического оборудования НС и пусконаладочные работы, руб.;

W_0 – заявленный суммарный объем подачи воды водопотребителям из плана водопользования в соответствии с зональными оросительными нормами (суммарный отвод воды), м^3;

$\eta_{\text{н}}$ – нормативная величина КПД межхозяйственной водопроводящей сети (введение соотношения $W_0\,(\eta_{\text{н}} - \eta_{\text{ф}})$ в формулу расчета способствует внедрению ресурсосберегающих технологий на межхозяйственной сети со стороны мелиоративной водохозяйственной организации);

$\eta_{\text{ф}}$ – фактическая величина КПД межхозяйственной водопроводящей сети;

НДС – налог на добавленную стоимость, руб.

При расчете стоимости подачи воды с несколькими переменными ставками (двухставочный тариф) [3] вычисляются две переменные ставки – погектарная и покубометровая.

Погектарная ставка исчисляется по формуле:

$$\mathrm{C}_2 = \frac{\sum \mathrm{P}_{\text{план}}}{\omega} \cdot (1 + \text{НДС}),$$

где C_2 – погектарная ставка, руб.;

ω – площадь орошаемой культуры, га.

Формула покубометровой ставки выглядит следующим образом:

$$\mathrm{C}_3 = \frac{\sum \mathrm{P}_{\text{эл}} + \sum \mathrm{P}_{\text{ПН}}}{W_0 + W_0\,(\eta_{\text{н}} - \eta_{\text{ф}})} \cdot (1 + \text{НДС}),$$

где C_3 – покубометровая ставка, руб.

Сумма оплаты в итоге составит:

$$\mathrm{C} = n\mathrm{C}_2 + m\mathrm{C}_3,$$

где C – сумма оплаты по двухставочному тарифу, руб.;

n – размер орошаемого участка, га;

m – объем фактически поданной оросительной воды в сложившихся условиях естественного увлажнения, м^3.

Если все эти формулы применить к разделу онтологии, то получится полноценная база знаний, которая будет отражать действие и взаимодействие всех факторов, необходимых для расчета стоимости подачи воды на орошение в Российской Федерации, но следует учитывать, что в разных регионах факторы могут быть разными [6].

Набор минимальных факторов, который утвержден Приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 18 февраля 2013 г. № 79, представлен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Минимальные требования к реализации онтологического подхода к подаче воды на орошение

Выводы. Создание такой базы знаний повысит качество и эффективность работы системы, ведь работа данной базы знаний не будет зависеть от количества факторов, более того, это позволит сокращать сроки внедрения даже самых сложных формул и вычислений.

Список использованных источников

1 Белых, Д. В. Повышение эффективности работы мелиоративных организаций по оказанию услуг сельскому населению / Д. В. Белых, А. С. Роскошная // Молодежь и экономика: новые взгляды и решения: межвуз. сб. тр. молодых ученых / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – С. 149–152.

2 Манжина, С. А. К вопросу экономических перспектив развития рисоводства в Российской Федерации (на примере Краснодарского края) / С. А. Манжина, А. С. Роскошная // Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса: VII Междунар. науч.-практ. конф., с. Соленое Займище, 18–19 июля 2018 г. / ФГБНУ «ПНИИАЗ». – Соленое Займище, 2018. – С. 633–638.

3 Манжина, С. А. Современные подходы к определению экономически обоснованной стоимости подачи воды на орошение / С. А. Манжина, Л. Н. Медведева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 3(31). – С. 148–170. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=566. – DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-148-170.

4 Акопян, А. В. Экономический инструментарий реализации услуг по подаче воды для орошения в зоне действия крупных мелиоративных систем / А. В. Акопян, Н. И. Сафарова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2011. – № 3(03). – С. 74–85. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=37&id=45.

5 Отечественный и зарубежный опыт ведения платного водопользования в сельском хозяйстве: науч. обзор / С. М. Васильев, А. В. Акопян, М. В. Власов, Н. И. Сафарова; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 27 с. – Деп. в ВИНИТИ 28.05.12, № 249-В2012.

6 Манжина, С. А. К вопросу энергоэффективности мелиоративных систем и возможности их модернизации в рамках аграрных и мелиоративных парков (на примере Краснодарского края) / С. А. Манжина, Д. В. Белых // Advances in Science and Technology: XV Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2018. – С. 19–23.

УДК 631.347.4

В. Н. Щедрин, А. А. Чураев, Л. В. Юченко, А. М. Кореновский
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «ДОН-К»

В статье представлены результаты анализа технико-эксплуатационных параметров новой дождевальной машины «Дон-К» в сравнении с известными дождевальными машинами «Фрегат» и Valley. Приведено краткое описание конструкции новой дождевальной машины, которая при сохранении необходимой прочности конструкции позволяет уменьшить вес и материалоемкость базового модуля (тележка + пролет), а подбор мотор-редукторов для тележки позволяет уменьшить потребную мощность по сравнению с отечественными и зарубежными широкозахватными дождевальными машинами. На основе теоретических методов исследований и проведенного системного анализа определены технико-экономические параметры новой широкозахватной дождевальной машины длиной до 450 м, состоящей из 15 базовых модулей. Произведен *расчет тягового усилия базовой тележки, и определен мотор-редуктор промышленного производства с потребной мощностью 0,24 кВт.*

Ключевые слова: широкозахватная дождевальная машина, вантовая конструкция, удельная материалоемкость, потребная мощность, мотор-редуктор, тяговое усилие, стеклопластиковая труба, тележка.

****

V. N. Shchedrin, A. A. Churaev, L. V. Yuchenko, A. M. Korenovskiy
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNICAL AND OPERATIONAL PARAMETERS OF DON-K SPRINKLER

The results of analysis of technical and operational parameters of the new Don-K sprinkler compared to the well-known Fregat and Valley sprinkler machines is presented. A brief description of the design of a new sprinkler is given; retaining the required structural strength it allows reducing the weight and material consumption of the base module (bogie + span), the selection of a gear motor for a bogie allows reducing the required power compared to domestic and foreign wide coverage sprinklers. The technical and economic parameters of a new wide-coverage sprinkler with a length of up to 450 m, consisting of 15 basic modules were determined on the basis of theoretical research methods and system analysis. The calculation of the traction force of the base bogie was made and an industrial gearmotor with a required power of 0.24 kW was determined.

Key words: wide coverage sprinkler, cable-stayed structure, specific consumption of materials, required power, gearmotor, tractive effort, fiberglass pipe, bogie.

Введение. Важным вопросом эксплуатации современных оросительных систем является проблема повышения надежности и эксплуатационной эффективности широкозахватных многоопорных дождевальных машин (ДМ). В настоящее время в нашей стране большое внимание уделяется разработке новой современной дождевальной техники, которая может повысить эффективность эксплуатации мелиоративных земель. С учетом дефицита современных отечественных разработок ДМ новая дождевальная техника должна иметь такие качества, как энергоэффективность, ресурсосбережение, импортозамещение, низкая материалоемкость, надежность, безопасность, производительность, привлекательность (для инвестиций) и малый срок окупаемости затрат. Качественные изменения отечественных ДМ связаны также с преобразованиями их технических характеристик. Современные ДМ должны обеспечивать прецизионное управление процессами орошения и самоконтролировать качество выполняемых технологических операций в связи с изменяющимися условиями погоды, влажности почвы, вегетации растений. В связи с этим в ФГБНУ «РосНИИПМ» разработана конструкция новой ДМ, отвечающая современным требованиям дождевания с возможностью ее комплектации необходимым оборудованием и опциями.

При разработке новой ДМ «Дон-К» учитывался опыт создания машин отечественного и иностранного производства с круговым и фронтальным перемещением, зарекомендовавших себя как более совершенных и надежных в эксплуатации, это «Кубань», «Фрегат», «Днепр», «Ладога», Valley, Bauer.

Материал и методы. Разработанная новая широкозахватная многоопорная ДМ «Дон-К» подтверждена патентом № 2631896 РФ от 28.09.2017 [1].

В результате проведенных исследований (2016–2018 гг.) были разработаны исходные требования, эскизная и рабочая конструкторская документация, опытный образец новой широкозахватной многоопорной ДМ кругового действия вантовой конструкции. Новизна заключается в разработке ДМ с использованием современных материалов для напорной водопроводящей части (армированных стекловолокном труб), новых конструкций дождеобразующих устройств, а также возможности реализации ДМ прецизионного (точного) управления продукционными процессами орошения сельскохозяйственных культур. Новая ДМ будет 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 [2]. Комплектующие новой ДМ состоят не меньше чем на 80 % из материалов отечественного производства.

Новая ДМ «Дон-К» может включать определенное число базовых модулей, представляющих собой систему вертикальных подвесок для поддержания водопроводящего трубопровода и двух тележек в вертикальной плоскости. Система вертикальных тросовых растяжек для увеличения жесткости трубопровода в горизонтальной плоскости состоит из поддерживающих и натяжных тросов, присоединительной арматуры и крепежных деталей. Изготовленный опытный образец состоит из трех базовых модулей общей длиной 90 м.

Изготовление опытного образца широкозахватной многоопорной ДМ кругового действия вантовой конструкции подтверждено соответствующим актом [3]. Акт изготовления опытного образца подтверждает готовность к проведению полевых испытаний и возможность доработки отдельных деталей и узлов новой ДМ, которая должна способствовать экономии электроэнергии, повышению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель.

Основная характеристика опытного образца ДМ «Дон-К»: длина – 90 м, радиус полива концевым дождевальным аппаратом – 3,5 м, диаметр водопроводящего трубопровода – 0,15 и 0,10 м, количество секций (базовых модулей) – 3 шт., количество дождевальных аппаратов – 35 шт., расстояние между дождевальными аппаратами – 2,5 м.

На рисунке 1 показан общий вид широкозахватной многоопорной ДМ кругового действия «Дон-К».

Рисунок 1 – Общий вид широкозахватной многоопорной дождевальной машины кругового действия «Дон-К» (автор фото А. А. Чураев)

Для сравнительной оценки характеристик новой разработанной ДМ «Дон-К» по удельной материалоемкости и потребной мощности использованы технические характеристики известных марок ДМ «Фрегат» и Valley.

Результаты и обсуждение. На основе теоретических методов исследований и проведенного системного анализа определены технико-экономические параметры новой широкозахватной ДМ длиной до 450 м, состоящей из 15 базовых модулей (таблица 1).

Таблица 1 – Технико-экономические параметры новой широкозахватной дождевальной машины

1 Длина машины, м	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
2 Количество тележек, ед.	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3 Количество мотор-редукторов, шт.	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
4 Потребная мощность (без учета потерь), кВт	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92	2,16	2,40	2,64	2,88	3,12	3,36	3,60
5 Потребная мощность с учетом потерь, кВт	0,85	1,14	1,44	1,74	2,05	2,36	2,68	3,00	3,33	3,66	3,99	4,33	4,68
6 Площадь обслуживаемая, га	2,83	4,91	7,54	10,75	14,51	18,85	23,75	29,21	35,24	41,83	48,99	56,72	65,01
7 Время оборота, ч	9,42	12,56	15,70	18,84	21,98	25,12	28,26	31,40	34,54	37,68	40,82	43,96	47,10
8 Удельная мощность (энергопотребление), кВт·ч/га	2,82	2,92	3,00	3,05	3,10	3,15	3,19	3,22	3,26	3,29	3,33	3,36	3,39
9 Затраты на электроэнергию за оборот, руб.	159,6	220,4	282,3	345,3	409,3	474,4	540,5	607,6	675,7	744,8	815,0	886,1	958,3
10 Удельная стоимость электроэнергии, руб./га	56,33	44,92	37,42	32,13	28,20	25,17	22,76	20,80	19,17	17,80	16,63	15,62	14,74
11 Масса машины, т	2,13	2,84	3,54	4,25	4,96	5,67	6,38	7,09	7,80	8,51	9,21	9,92	10,63
12 Удельная материалоемкость, т/га	0,75	0,58	0,47	0,40	0,34	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,16
13 Стоимость машины, млн руб.	1,58	2,01	2,44	2,87	3,30	3,73	4,16	4,59	5,02	5,45	5,88	6,31	6,74
14 Удельная стоимость машины, тыс. руб./га	558,9	410,4	323,8	267,3	227,5	198,0	175,2	157,2	142,5	130,3	120,0	111,2	103,7

Примечание – Вычисление параметров строк 6–10, 12, 14 произведено следующим образом: стр. 6 = π × (стр. 1 + 5)^2/10000; стр. 7 = 2π× (стр. 1)/60; стр. 8 = стр. 5 × стр. 7/стр. 6; стр. 9 = стр. 7 × стр. 8 × 6 (руб.); стр. 10 = стр. 9/стр. 6; стр. 12 = стр. 11/стр. 6; стр. 14 = стр. 13/стр. 6.

После проведения предварительных испытаний опытного образца «Дона-К» получены результаты первичной технической экспертизы, состоящие из оценки документации, оценки безопасности конструкции машины и расчетных данных экономической оценки.

Конструкция новой ДМ «Дон-К» с системой горизонтальных и вертикальных растяжек и подвесок и трубопровода, выполненного из композитных стеклопластиковых труб, сохраняя необходимую прочность, позволяет уменьшить вес и материалоемкость базового модуля (тележка + пролет), а подбор мотор-редукторов для тележки – снизить потребную мощность по сравнению с отечественными и зарубежными широкозахватными ДМ.

Сравнительные характеристики зависимости удельной материалоемкости от длины машин («Дон-К» и «Фрегат») представлены в таблице 2. График зависимости удельной материалоемкости от длины машины показан на рисунке 2.

Таблица 2 – Исходные данные для сравнительной оценки удельной материалоемкости ДМ «Дон-К» и «Фрегат»

Длина ДМ «Дон-К», м	210	240	270	300	330	360	390	420	450
Длина ДМ «Фрегат», м	220	250	274	304	329	358	383	413	438
Удельная материалоемкость ДМ «Дон-К», т/га	0,34	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,16
Удельная материалоемкость ДМ «Фрегат», т/га	0,41	0,37	0,34	0,31	0,29	0,26	0,25	0,23	0,22

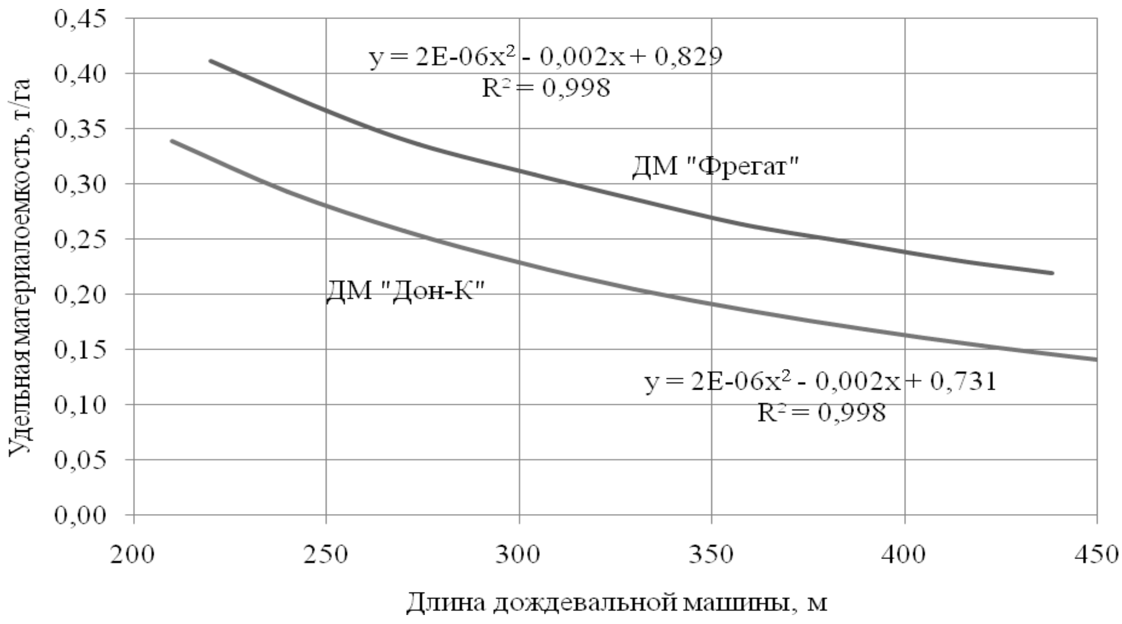


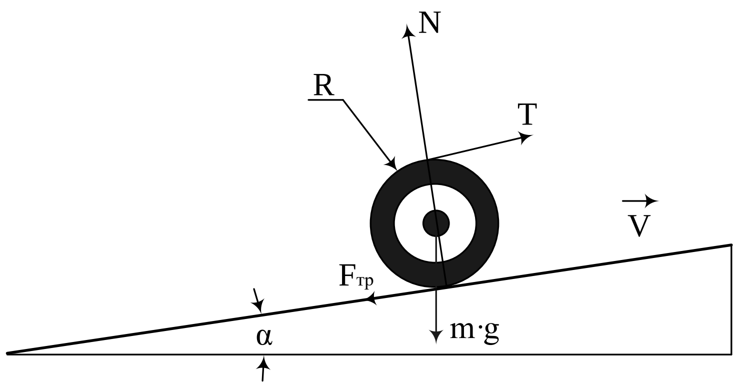
Рисунок 2 – График зависимости удельной материалоемкости ДМ «Дон-К» и «Фрегат» от их длины

При подборе мотор-редуктора на ДМ «Дон-К» учитывались общие технические требования к функциональным параметрам приводов тележек многоопорных ДМ нового поколения и их основные позиции [4].

С целью получения исходных данных для сравнительной оценки ДМ «Дон-К» был произведен расчет тягового усилия ее тележки [5, 6], в результате чего была получена величина потребной мощности привода на одну ось. Исходные данные для расчета тягового усилия тележки и подбора мотор-редуктора сведены в таблицу 3. На расчетной схеме (рисунок 3) показано приложение сил к оси колеса тележки ДМ «Дон-К».

Таблица 3 – Исходные данные для расчета тягового усилия тележки ДМ «Дон-К»

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Значение
1 Коэффициент трения качения для рыхлой почвы	μ	–	0,15–0,35
2 Максимальный уклон орошаемой площади	θ	%	20
3 Скорость движения ведущей тележки	V	м/мин	1
4 Радиус покрышки колеса	R	м	0,620
5 Снаряженная масса тележки	$m_т$	кг	700
6 Масса трубопровода пролета (Ду150)	$m_п$	кг	90
7 Масса воды в пролете (Ду150)	$m_в$	кг	530
8 Масса вантовой системы	$m_с$	кг	200
9 КПД механической части	η	–	90
10 Передаточное отношение редуктора	i	–	10000



V – линейная скорость перемещения тележки; T – потребная тяга; N – сила реакции опоры тележки; m – полная масса пролета вместе с тележкой; $F_{тр}$ – сила сопротивления качению; g – ускорение свободного падения; R – радиус покрышки колеса; α – угол уклона орошаемой площади

Рисунок 3 – Расчетная схема приложения сил к оси колеса тележки

Для получения величины потребной мощности привода (на одну ось) тележки были проведены следующие расчеты и определены:

- полная масса пролета:

$$m = m_т + m_п + m_в + m_с,\ m = 700 + 90 + 530 + 200 = 1520 \text{ кг}; \quad (1)$$

- угол уклона орошаемой площади:

$$\alpha = \text{arctq}\left(\frac{\theta}{100}\right) = \text{arctq}\left(\frac{20}{100}\right) = 11{,}31°; \quad (2)$$

- проекция всех сил на линию действия потребной тяги:

$$-F_{тр} - m \cdot q \cdot \sin(\alpha) + T = 0; \quad (3)$$

- проекция всех сил на линию действия силы реакции опоры:

$$-m \cdot q \cdot \cos(\alpha) + N = 0; \quad (4)$$

- сила реакции опоры из уравнения (4):

$$N = m \cdot q \cdot \cos(\alpha); \quad (5)$$

- значение потребной тяги (с учетом $F_{тр} = \mu \cdot N$, а также уравнений (3) и (5)):

$$T = \mu \cdot m \cdot q \cdot \cos(\alpha) + m \cdot q \cdot \sin(\alpha) = m \cdot q[\mu \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha)]; \quad (6)$$

- величина потребной тяги (с использованием уравнений (1), (2) и (6)):

$$T = 1520 \cdot 9{,}806 \cdot \left[0{,}35 \cdot \cos(11{,}31°) + \sin(11{,}31°)\right] = 8040\ H$$

(значение округлено вверх до десятков);

- величина потребного крутящего момента на одну ось (тележка приводится в движение двумя одинаковыми мотор-редукторами):

$$M_{\text{кр}} = \frac{TR}{2} = \frac{8040 \cdot 0{,}620}{2} = 2492{,}4 \cong 2500\ \text{Н} \cdot \text{м};$$

- значение потребной мощности привода на одну ось тележки (с учетом скорости движения тележки, радиуса покрышки колеса и величины крутящего момента, а также КПД механизма):

$$W = \frac{M_{\text{кр}}\omega}{1-\eta} = \frac{M_{\text{кр}}}{1-\eta} \cdot \frac{V}{60 \cdot 2\pi R};$$

- величина мощности привода на одну ось тележки:

$$W = \frac{2500}{0{,}10} \cdot \frac{1}{60 \cdot 2\pi \cdot 0{,}620} = 107{,}01\ \text{Вт}.$$

Таким образом, величина потребной мощности привода на одну тележку равна полученной величине (на одну ось), умноженной на два (214,02 Вт (0,21 кВт)). При подборе мотор-редуктора промышленного производства величина потребной мощности на одну тележку составила 0,24 кВт.

Исходные данные для сравнительной оценки потребной мощности ДМ «Дон-К» нового поколения и ДМ Valley помещены в таблицу 4.

Таблица 4 – Исходные данные для сравнительной оценки потребной мощности ДМ «Дон-К» и Valley

В кВт

Количество тележек, шт.	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Потребная мощность ДМ «Дон-К»*	0,85	1,14	1,44	1,74	2,05	2,36	2,68	3,00	3,33
Потребная мощность ДМ Valley	1,80	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	6,60
*Потребная мощность указана с учетом потерь.									

На рисунке 4 представлены графики зависимостей потребной мощности ДМ «Дон-К» и Valley от длины машины (количества тележек).

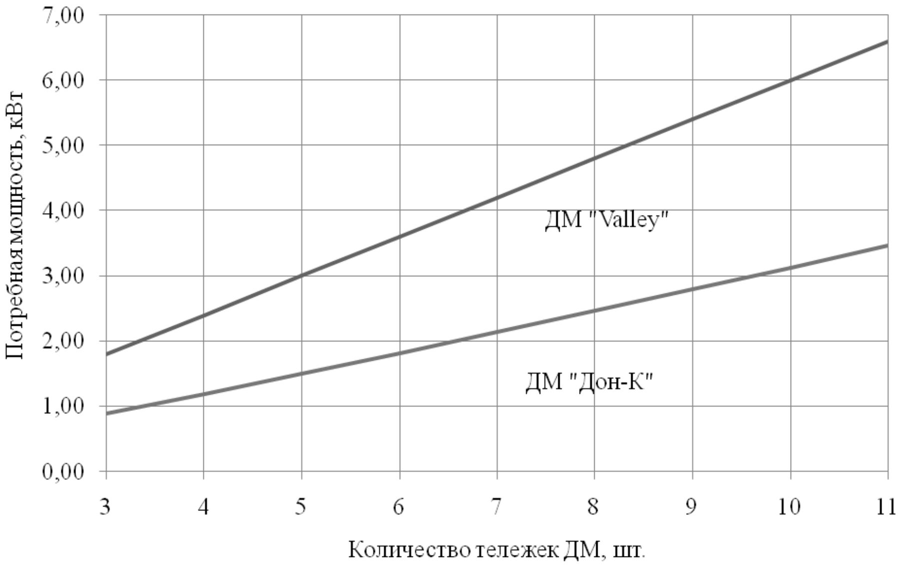


Рисунок 4 – График зависимости потребной мощности ДМ «Дон-К» и Valley

Выводы. Анализ технико-экономических параметров новой широкозахватной ДМ вантовой конструкции «Дон-К» показал, что ее конструкция с системой горизонтальных и вертикальных растяжек и подвесок и трубопроводом, выполненным из композитных стеклопластиковых труб, при сохранении необходимой прочности конструкции имеет меньший вес и меньшую материалоемкость базового модуля (тележка + пролет) по сравнению с известными ДМ «Фрегат» и Valley (таблица 2).

Сравнение зависимостей удельной материалоемкости от длины ДМ «Дон-К» и «Фрегат» (таблица 3) показывает уменьшение удельной материалоемкости ДМ «Дон-К» (длиной от 210 до 450 м) независимо от количества тележек (от 7 до 15) на 15–17 % на 1 га обслуживаемой площади.

Потребная мощность мотор-редукторов базового модуля ДМ «Дон-К» нового поколения в два раза меньше, чем у ДМ Valley. Отсюда при определении технико-экономических параметров ДМ «Дон-К» показатели удельной мощности энергопотребления и удельной стоимости электроэнергии на 1 га обслуживаемой площади соответственно уменьшаются в два раза, или на 50 % (таблица 1).

Список использованных источников

1 Пат. 2631896 Российская Федерация, МПК A 01 G 25/09. Многоопорная дождевальная машина для прецизионного орошения / Щедрин В. Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2016104019; заявл. 08.02.16; опубл. 11.08.17, Бюл. № 28. – 8 с.

2 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.

3 Провести исследования и разработать опытный образец широкозахватной дождевальной машины кругового действия вантовой конструкции: отчет о НИР (заключ.): 2.2.1 / ФГБНУ «РосНИИПМ»; рук.: Щедрин В. Н. – Новочеркасск, 2017. – 175 с. – Исполн.: Чураев А. А. [и др.]. – № ГР ААА-А117-117041910212-7. – Инв. № АААА-Б17-217121850154-7.

4 Чураев, А. А. Обоснование выбора ходовых тележек для многоопорной дождевальной машины нового поколения / А. А. Чураев, Т. А. Погоров, В. Э. Завалюев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1(61). – С. 202–208.

5 Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – 6-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2000. – 447 с.

6 Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 1 / В. И. Анурьев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 736 с.

УДК 631.67(477.72)

Л. Н. Грановская
Институт орошаемого земледелия Национальной академии аграрных наук Украины, Херсон, Украина
П. В. Жужа
Херсонский государственный аграрный университет, Херсон, Украина

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОЙ РИСОВОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В статье приведены результаты научных исследований, которые позволяют определить особенности процесса почвообразования на рисовом поле закрытой чековой оросительной системы в зависимости от условий ее эксплуатации. Цель исследований – анализ этих особенностей путем изучения динамики показателей, характери-

зующих физико-химические, физико-механические и экологические свойства почв рисовых оросительных систем, с учетом условий эксплуатации оросительной системы за период с 1990 по 2017 г. Методика исследований базировалась на использовании современных методов научных исследований. В результате доказано, что на землях рисовой оросительной системы происходит процесс образования и накопления нормальной соды на глубине более 1 м, это приводит в дальнейшем к негативным последствиям для почвы. Установлено, что в условиях закрытой рисовой оросительной системы при невозможности организовать полноценную работу горизонтального дренажа необходимо исключить застойные явления в зоне насыщения первого от поверхности водовмещающего слоя почвы путем создания слабопроточного водного режима.

Ключевые слова: рис, закрытая чековая оросительная система, гидрогеолого-мелиоративное состояние почв, уровень грунтовых вод, солевой стационар, засоление, осолонцевание, содонакопление.

****

L. N. Granovskaya
Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kherson, Ukraine
P. V. Zhuzha
Kherson State Agrarian University, Kherson, Ukraine

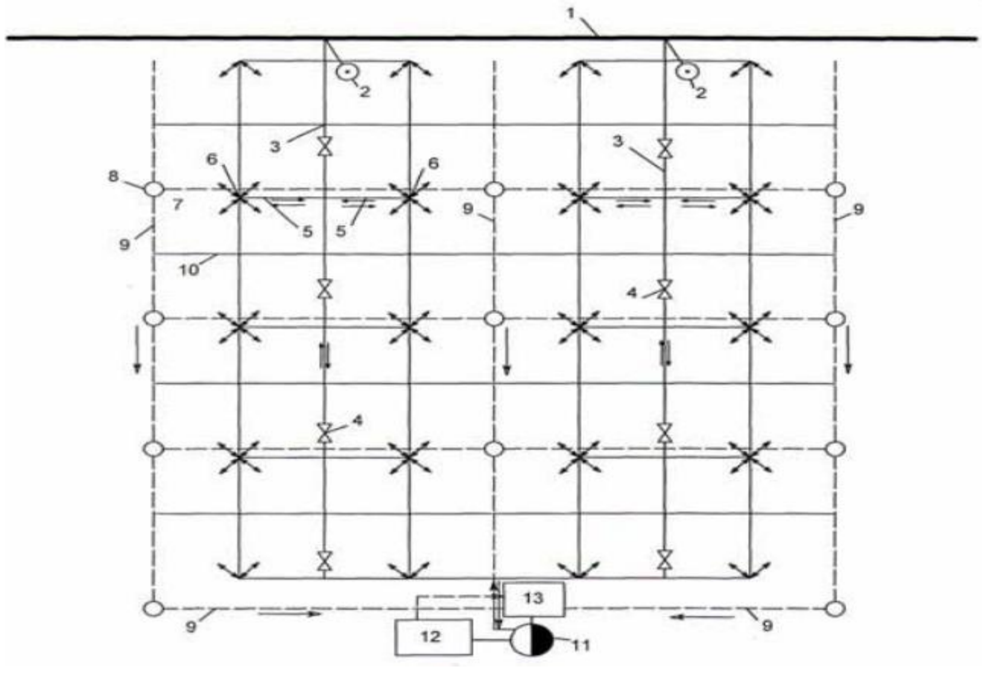
PECULIARITIES OF SOIL FORMATION PROCESS UNDER THE CONDITIONS OF A RICE CLOSED IRRIGATION SYSTEM

The results of a scientific research allowing to determine the features of the process of soil formation in the rice field of a closed check irrigation system depending on the conditions of its operation are presented. The purpose of the research is to analyze these features by studying the dynamics of indicators characterizing the physical-chemical, physical-mechanical and ecological properties of soil of rice irrigation systems taking into account the irrigation system operation conditions for the period from 1990 to 2017. The research methodology was based on the use of modern methods of scientific research. As a resultit has been proved that the process of formation and accumulation of normal soda at a depth of more than 1 m occurs on the lands of rice irrigation system which leads to further negative consequences for the soil. It was found that under the conditions of a closed rice irrigation system if it is not possible to organize an adequate operation of horizontal drainage, it is necessary to eliminate stagnant phenomena in the zone of saturation in the first water-containing soil layer from the surface by creating a low flow water regime.

Key words: rice, closed check irrigation system, hydrogeological-reclamative state of soils, groundwater level, salt stationary, salinity, solonetzation, soda accumulation.

Введение. Первая закрытая рисовая оросительная система площадью 432 га была построена в 1990 г. на землях Института риса, который находится в структуре Национальной академии аграрных наук Украины. На сегодняшний день эта система остается единственной в стране и уникальной как по идее проектирования, так и по техническому уровню своей работы [1]. Она получила название закрытой чековой оросительной системы ЗЧОС-М, поскольку и сама система, и коллекторно-дренажная сеть является закрытой. Междренное расстояние равно 400–500 м, глубина закладки дрен – 2,5 м, диаметр дрен – 100–150 мм, а материал труб – поливинилхлорид (рисунок 1).

На первом этапе своей работы система обеспечивала повторное использование дренажных и сбросных вод после аэрации и детоксикации их в пруду детоксикации для орошения риса и сельскохозяйственных культур рисового севооборота. Однако после внедрения в производство технологии нормативного водопользования с учетом требований ресурсо- и природосбережения необходимость в детоксикации дренажно-сбросных вод отпала. Тем не менее за небольшой период эксплуатации закрытая система доказала свою техническую, технологическую, экологическую и экономическую эффективность. Урожайность риса в пределах закрытой рисовой оросительной системы в среднем за годы ее работы изменялась от 8,0 до 11,0 т/га. Экономия оросительной воды на системе достигала 25–30 % [2, 3]. Начиная с 2010 г. из-за повышения стоимости электроэнергии дренажная насосная станция на системе была переведена в дискретный режим и работала в основном в ночное время. С 2013 г. дренажная насосная станция прекратила свою работу. Остановка работы насосной станции привела к значительному ухудшению гидрогеолого-мелиоративной обстановки в пределах закрытой рисовой системы.



1, 3 – распределительный канал
2, 6 – заслонки водовыпусков
4 – дисковые заслонки
5 – участковые оросители
7 – закрытая дренажная сеть
8 – смотровой колодец
9 – закрытая коллекторно-дренажная сеть
10 – чековые валики
11 – насосная станция
12 – пруд детоксикации
13 – буферный пруд

Рисунок 1 – Схема закрытой чековой оросительной системы

Целью научных исследований является анализ особенностей процесса почвообразования в условиях закрытой рисовой оросительной системы путем изучения динамики показателей, которые характеризуют физико-химические, физико-механические и экологические свойства почв в пределах закрытой рисовой оросительной системы, с учетом условий ее эксплуатации за период с 1990 по 2017 г.

Материалы и методы. Методика исследований базировалась на использовании современных методов научных исследований: анализа, исторического метода и системного подхода, а также полевых и лабораторных методов. Научные исследования включали анализ работы насосной станции на закрытой рисовой системе, которая обеспечивала повторное использование воды. Была выполнена оценка влияния разных режимов работы насосной станции на гидрогеолого-мелиоративное состояние почв. Также проводилась солевая съемка в начале и конце вегетационного периода, при этом отбирались образцы почвы на пяти солевых стационарах, расположенных в пределах закрытой рисовой системы, через каждые 20 см вплоть до уровня грунтовых вод (2,20–2,60 м) в трехкратной повторности. Образцы почвы и воды отбирались для определения минерализации грунтовых вод, уровня засоления и осолонцевания почвы и наличия общих и токсичных солей в почвах закрытой рисовой оросительной системы.

Результаты и обсуждение. Территория Скадовского района Херсонской области, на которой построена закрытая рисовая система, находится в зоне Сухой Степи Причерноморской впадины, а в геоморфологическом отношении – в южной части Причерноморской низины на однолессовой террасе террасово-дельтовой долины Днепра. Территория характеризуется равнинным рельефом с большим количеством подовых понижений, степных блюдец и впадин. На большей ее части, в пределах плиоценовых и высоких аллювиальных террас, почвообразование происходит в автоморфных условиях, и только в пределах прибрежной части – в гидроморфных условиях.

Характерной особенностью почвообразовательного процесса на этом массиве орошения является достаточно активное проявление процесса осолонцевания почвы, активность которого поддерживается за счет опускания территории и повышения базиса эрозии, наличия природного засоления почвы, а также солевой импульверизации с Черного моря. Вследствие присутствия этих факторов задерживается гумусово-аккумулятивный процесс почвообразования и развивается процесс осолонцевания. Почвы представлены темно-каштановыми солонцеватыми, каштановыми солонцеватыми и лугово-каштановыми солонцеватыми группами, однако темно-каштановые почвы являются наиболее распространенными, а каштановые солонцеватые почвы расположены узкой полосой на Присивашско-Причерноморской территории Левобережья Днепра на лессовых и аллювиальных отложениях. По механическому составу почвы легкосуглинистые, для них, особенно в прибрежной части, характерна комплексность с солонцами глубокими. Характерной особенностью зоны рисосеяния Юга Украины является высокий уровень грунтовых вод, природная солонцеватость и засоленность почв. Под рисовые системы всегда отводились территории, на которых выращивание других сельскохозяйственных культур было невозможным без обеспечения промывного водного режима [3, 4].

Отечественные ученые и мировой опыт рисосеяния доказывают, что выращивание риса на засоленных почвах возможно только при условии обеспечения промывного типа водного режима и улучшения природной дренированности с целью выноса солей за пределы сельскохозяйственных земель [4, 5]. Интенсивность выноса солей, создание периодического промывного типа водного режима в условиях близкого к поверхности залегания уровня высокоминерализованных грунтовых вод с практически нулевым базисом эрозии являются основными факторами изменения процесса почвообразования.

Именно на таких принципах была построена модульная закрытая рисовая оросительная система. Ключевым элементом системы является насосная станция, которая в настоящее время практически не работает. В таких условиях сбросы воды из дренажной системы практически отсутствуют, дренаж перераспределяет дренажную воду по системе в самотечном режиме и приводит к подъему уровня грунтовых вод в чеках. Грунтовые воды на момент отбора образцов в 2016 г. находились на глубинах: СС-9 – 1,75 м, СС-7 − 1,8 м, СС-5 − 2,0 м. На закрытой чековой системе при условии неработающей насосной станции и отсутствии откачки дренажного стока за пределы системы создаются условия для формирования уровня грунтовых вод на практически одинаковой отметке и свободного перетекания грунтовых вод по территории чеков в соответствии с напорными градиентами. Солевой состав почвы формируется таким образом:

- солевые стационары СС-1, СС-3, СС-5 размещены на более высоких отметках на севере от Джарылгачского залива и имеют незасоленные или слабозасоленные почвы с содово-сульфатно-натриевым или сульфатно-натриевым типом засоления до глубины 2 м;
- почвы солевых стационаров СС-7, СС-9 на глубине до 40 см не засолены, глубже преобладают почвы, имеющие слабую и среднюю степень засоления при типе засоления содово-сульфатно-натриевом или сульфатно-натриевом. На этих стационарах наблюдается накопление солей сульфатного состава на глубине от 80 до 120 см.

Подобное явление наблюдается в чеках, в которых в предыдущие годы не выращивался рис, что связано с накоплением солей на глубине капиллярной каймы при уровне грунтовых вод 2 м и наличии почв легкосуглинистого механического состава.

Для сравнения существующей гидрогеолого-мелиоративной обстановки на закрытой рисовой системе, которая сложилась в период неработающего дренажа (2013−2017 гг.), с гидрогеолого-мелиоративной ситуацией при эффективной работе дренажа (1990−1995 гг.) построены солевые эпюры (рисунок 2).

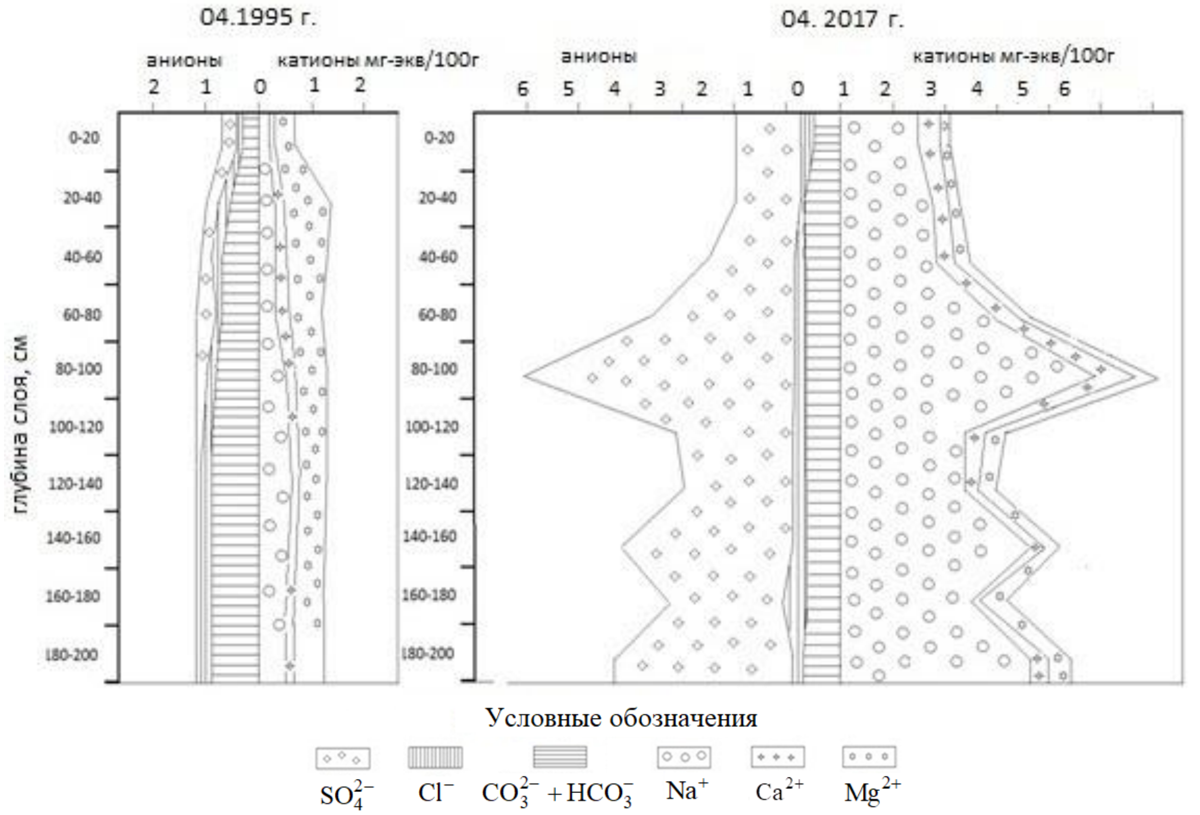


Рисунок 2 – Динамика количества катионов и анионов по профилю почвы на закрытой рисовой системе, солевой стационар СС-9

Особенностью формирования солевого состава почв в условиях неработающего дренажа является наличие в почве на глубине более 1 м, по результатам химических анализов, нормальной соды (граница токсичности < 0,001 %). Образование нормальной соды возможно как за счет обменных процессов почвенного поглощающего комплекса с грунтовыми водами, так и за счет сульфатредукции. Ключевым элементом развития сульфатредукции являются застойные явления, связанные с отсутствием оттока воды с рисового поля. В процессе сульфатредукции происходит восстановление сульфатов до сероводорода и, как следствие, нарушается баланс между кальцием и натрием, что сопровождается образованием нормальной соды. Дальнейшее развитие этого процесса может иметь самые негативные последствия. Кроме этого, отмечается перемещение солей по периферии солевого профиля (2017 г.) на глубине 80–100 см и это является основанием для прогнозирования процессов вторичного засоления почв закрытой рисовой оросительной системы.

Научные исследования, которые были проведены под руководством профессора Д. Г. Шапошникова в начале 70-х гг. прошлого столетия на рисовых системах при условии полного отсутствия вертикальной фильтрации, доказали, что при наличии горизонтального дренажа на глубине 2,5 м и эффективной его работе происходит резкое изменение направленности почвенного процесса [3]. За четыре года работы такого дренажа отмечается изменение типа засоления почв с содово-сульфатного на хлоридно-сульфатный на фоне снижения общего и токсичного засоления. Урожайность риса в вариантах этих исследований повысилась до 9,0 т/га.

Результаты научных исследований О. В. Харченко и Б. И. Лактионова подтвердили, что даже незначительная разница в отметках поверхности рядом расположенных чеков или расположение рядом с чеком сбросного канала существенно влияет на показатели гидрогеолого-мелиоративной обстановки на рисовых оросительных системах и сказывается на урожайности риса [5]. Для ликвидации условий содообразования на рисовом поле при неэффективной работе горизонтального дренажа и отсутствии условий для снижения уровня грунтовых вод необходимым условием для улучшения гидрогеологической обстановки является обеспечение проточности грунтовых вод с целью ликвидации их застойности.

Таким образом, в современных условиях эксплуатации закрытой чековой оросительной системы при условии невозможности обеспечения полноценной работы горизонтального дренажа с целью поддержания расчетной нормы осушения на начало вегетационного периода необходимо исключить застойные явления в зоне насыщения первого от поверхности водовмещающего слоя почвы путем создания слабопроточного водного режима.

Для возобновления работы насосной станции и горизонтального дренажа необходимо обеспечить внедрение энергосберегающих мероприятий:

- установить на насосной станции дренажный насос Pedrollo MCm 10/50 (производства Италии) с такими техническими характеристиками: подача воды – 29 м^3/ч, напор воды – 11 м, номинальная мощность – 0,75 кВт. Удельные затраты электроэнергии на перекачивание воды этим дренажным насосом составят около 23 кВт·ч/тыс. м^3. Насос работает в автоматическом режиме, имеет поплавковый выключатель и тепловую защиту;
- устройство на насосной станции солнечной станции мощностью 1,0–1,5 кВт в качестве альтернативного источника электроэнергии, что обеспечит бесперебойный режим работы дренажного насоса;
- автоматизировать систему контроля за работой дренажной системы с передачей информации на необходимое расстояние с использованием сотового модема;
- заменить силовой трансформатор ТМ 250/10 трансформатором ТМ 25/10, что позволит уменьшить затраты электроэнергии при работе трансформатора.

Выводы. В процессе выполнения научных исследований была проанализирована динамика показателей, которые характеризуют гидрогеолого-мелиоративные условия на закрытой чековой рисовой оросительной системе, сложившиеся в результате неработающего горизонтального дренажа. Результатами исследований доказано, что на землях рисовой оросительной системы происходит процесс образования и накопления нормальной соды на глубине более 1 м. Образование нормальной соды произошло как за счет обменных процессов почвенно-поглощающего комплекса с грунтовыми водами, так и за счет сульфатредукции. Дальнейшее развитие этого процесса может иметь негативные последствия. Интенсивность выноса солей, создание периодического промывного типа водного режима в условиях близкого к поверхности залегания уровня высокоминерализованных грунтовых вод с практически нулевым базисом эрозии являются основными факторами изменения процесса почвообразования.

Результатами исследований доказано, что в условиях закрытой рисовой оросительной системы при невозможности организовать полноценную работу горизонтального дренажа с целью обеспечения расчетной нормы осушения на начало вегетационного периода необходимо исключить застойные явления в зоне насыщения первого от поверхности водовмещающего слоя почвы путем создания слабопроточного режима.

Список использованных источников

1 А. с. 1771602 СССР, МПК А 01 G 25/00. Рисовая оросительная система / В. И. Маковский; заявитель Главное управление научно-технического прогресса Госагропрома УССР. – № 4769405/15; заявл. 19.12.89; опубл. 30.10.92, Бюл. № 40. – 2 с.

2 Грановская, Л. Н. Эколого-мелиоративная эффективности закрытой чековой оросительной системы в условиях Краснознаменского орошаемого массива: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.00.02 / Грановская Людмила Николаевна. – Херсон, 1996. – 25 с.

3 Рис в Украине: коллектив. моногр. / под ред. В. А. Сташука, А. Н. Рокочинского, Л. М. Грановской. – Херсон: Гринь Д. С., 2014. – 976 с.

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

5 Лактионов, Б. И. Удобрение почвы под рис: монография / Б. И. Лактионов, Е. К. Михеев, И. Н. Фрич. – Симферополь: Таврия, 1972. – 38 с.

УДК 628.381.4

С. М. Васильев, А. В. Редина, Ю. Е. Домашенко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

АНАЛИЗ СХЕМ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОДУКТОВ ГИДРОСМЫВА СВИНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВ

Целью работы являлся обзор и анализ существующих схем оросительных систем с применением продуктов гидросмыва свиноводческих хозяйств. Рассмотрены три классические схемы оросительных систем с использованием продуктов гидросмыва свиноводческих хозяйств: общая, раздельно-блочная и раздельная. Анализ схем оросительных систем с использованием продуктов гидросмыва свиноводческих хозяйств позволил установить, что технически привлекательной является схема, основанная на дифференцировании процессов полива продуктами гидросмыва и водой на различных участках. Выбор схемы оросительной системы с использованием продуктов гидросмыва свиноводческих комплексов определяется технико-экономическими расчетами и санитарно-гигиеническими требованиями.

Ключевые слова: продукты гидросмыва свиноводческих хозяйств, оросительные системы, сельскохозяйственные культуры, орошаемый участок, полив, почва.

****

S. M. Vasilyev, A. V. Redina, Yu. E. Domashenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

IRRIGATING SYSTEM SCHEMES ANALYSIS WITH THE APPLICATION OF WATER WASH PRODUCTS FROM HOG-RAISING FARMS

The aim of the work was to review and analyze existing irrigation systems with the use of products washed out of hog-raising farms. Three classical irrigation systems schemes with the use of washout products of hog-raising farms are considered: general, separate-block and separate. The irrigation system schemes analysis with the use of washout products of hog-raising farms made it possible to determine that a scheme based on differentiating the irrigation processes with washout products and water at different sites is technically attractive. The choice of the irrigation system scheme with the use of washout products of hog-raising farms is determined by technical and economic calculations and sanitary and hygienic requirements.

Key words: water wash products of hog-raising farms, irrigation systems, agricultural crops, irrigated area, irrigation, soil.

Введение. По данным службы государственной статистики, на сегодняшний день поголовье свиней в России насчитывает 13258 тыс. голов, что составляет около 2 % всего мирового поголовья. Распределение численности поголовья свиней по регионам выглядит достаточно равномерным. В 18 основных сельскохозяйственных субъектах федерации сконцентрировано от 2 до 3 % поголовья. Выделяют шесть регионов, общая численность поголовья в которых составляет 32 %, а именно Краснодарский край (9 %), Ростовская область (6 %), Республика Татарстан (5 %), Республика Башкортостан, Белгородская и Омская области – по 4 % [1].

В условиях возрастающего дефицита водных ресурсов приобретают актуальность вопросы использования продуктов гидросмыва свиноводческих хозяйств (ПГСХ) для орошения.

Мероприятия по экономному использованию воды в сельском хозяйстве должны осуществляться не только в направлении снижения темпов роста забора воды из водоисточника и сброса возвратных вод, но и с целью вторичного использования сточных вод для орошения. Эффективное использование водных ресурсов непосредственно связано с решением проблемы рационального развития водоемких производств и прежде всего дальнейшего развития орошаемого земледелия на базе водооборотных систем [2, 3].

Основное количество ПГСХ образуется при концентрации животных на ограниченной площади и бесподстилочном их содержании. Бесподстилочный или жидкий навоз образуется непосредственно в помещениях, где содержатся животные, и представляет собой смесь экскрементов животных с остатками корма, питьевой и технологической воды, попавших в каналы навозоудаления [4].

Продукты гидросмыва обладают хорошей текучестью, и при соответствующей подготовке их можно транспортировать по трубопроводам и распределять по полю с помощью поливной техники. При этом оросительная система становится многоцелевой, т. е. позволяет проводить поливы водой, ПГСХ или их смесью с водой. Для удобства транспортирования, уменьшения объема, равномерного распределения по площади, а также в целях обеззараживания животноводческие стоки подвергают предварительной обработке, осуществляя их измельчение, гомогенизацию (перемешивание), разделение на твердую и жидкую части и обеззараживание. Способы обработки животноводческих стоков зависят от вида животных, способов удаления навоза из помещений ферм и его количества [5–10].

Целью работы являлся обзор и анализ существующих оросительных систем с применением продуктов гидросмыва свиноводческих хозяйств.

Результаты и обсуждение. Для утилизации ПГСХ, т. е. для использования их с целью получения дополнительной сельскохозяйственной продукции, разработано несколько способов: внесение ПГСХ с поливной водой с использованием дождевальных машин и внутрипочвенное орошение ПГСХ [11–14].

А. М. Буцыкиным было установлено, что без возможности полива водой система экономически невыгодна, обладает низкой надежностью и не удовлетворяет санитарно-гигиеническим и зооветеринарным условиям внесения органических удобрений [11].

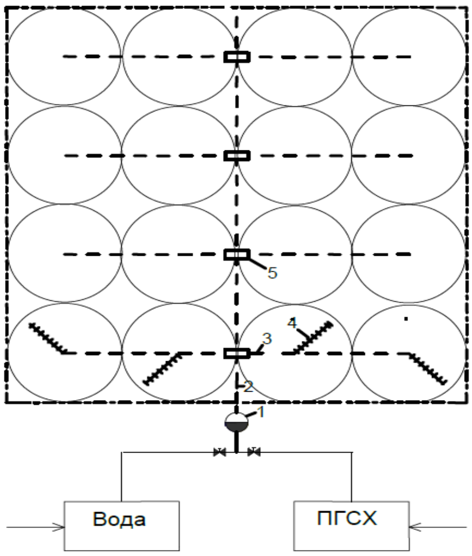
Оросительную систему с применением ПГСХ проектируют для кормовых, технических и зерновых культур. Она должна удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать полную механизацию, автоматизацию и непрерывность технологического процесса, позволять проводить удобрительные и увлажнительные поливы независимо от погодных условий, распределять влагу и удобрения по орошаемому участку с высокой равномерностью, осуществлять дозированный полив стоками в соответствии с режимом орошения, не допускать сбросов стоков с орошаемой площади, удовлетворять требованиям охраны окружающей среды [11].

В связи с большим разнообразием типов животноводческих комплексов, почвенно-климатических и хозяйственно-экономических условий нашей страны единого направления в переработке и использовании ПГСХ нет [13].

Оросительная система включает в себя источники орошения, водозаборные узлы и сооружения, проводящую межхозяйственную сеть с регулирующими и водоучитывающими сооружениями, коллекторно-дренажную сеть, орошаемые земли с элементами полива [5].

При орошении ПГСХ в зависимости от конкретных условий расположения комплекса, водного источника, орошаемых площадей, применяемой техники и санитарно-гигиенических требований полива оросительные сети можно представить в виде трех схем: общей, раздельно-блочной и раздельной.

Общая схема оросительной сети с применением ПГСХ не имеет принципиальных отличий от обычных оросительных сетей для воды, выполняется, как правило, тупиковой и определяется типом дождевальной или поливной техники, планируемой организацией территории, наличием коммуникаций, дорог и лесополос (рисунок 1). Применима для всех типов техники полива, в т. ч. для стационарных сетей с дальнеструйными аппаратами. Однако такая схема позволяет проводить поливы только ПГСХ (или смесью их с водой) или только водой всего орошаемого массива. Поэтому невозможно в одно и то же время подавать на одни севооборотные участки требуемую там воду, а на другие – смесь стоков с водой или ПГСХ. Это существенный недостаток общей схемы оросительной сети [11].



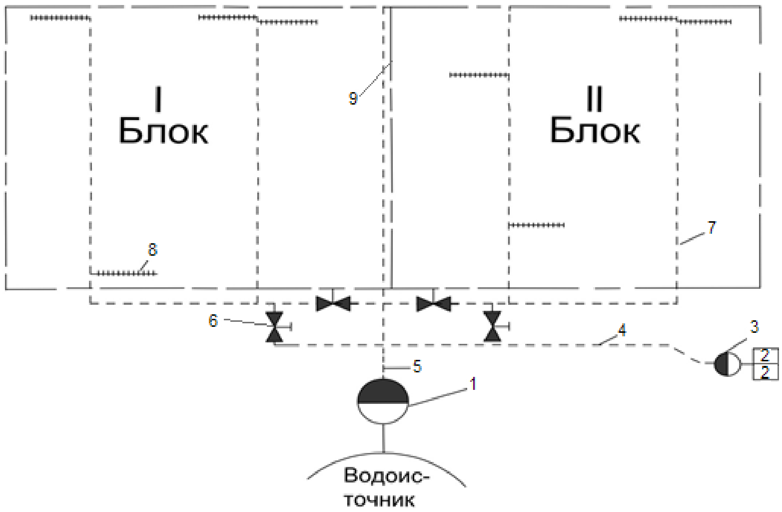
1 – насосная станция для подачи смеси; *2* – распределительный трубопровод;
3 – оросительный трубопровод; *4* – техника полива; *5* – распределительный колодец

Рисунок 1 – Общая схема оросительной сети с применением ПГСХ

Раздельно-блочную схему трубопроводной сети проектируют в основном при напорном вводе ПГСХ. Ее можно также осуществить при вводе ПГСХ со стороны всасывания, если орошаемый массив рассредоточен и блок представляет собой севооборотное поле (рисунок 2). Состоит такая сеть из двух частей: оросительной сети для воды и сети трубопроводов, подающих ПГСХ к блокам. На блоках применяют однотипные машины. Площадь блоков определяется площадью севооборотных участков, кратной сезонной нагрузке полива.

Такая схема позволяет дифференцировать процесс полива ПГСХ и водой различных участков, используемых под различные культуры, вносить стоки в оптимальные сроки, что значительно повышает урожайность сельскохозяйственных культур.

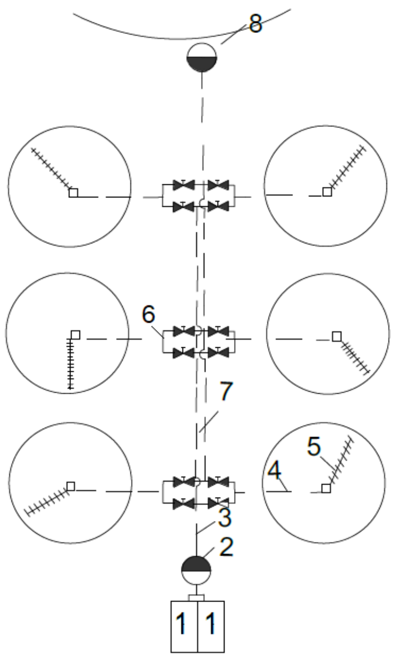
Однако при некоторых условиях может приводить к удорожанию оросительной сети, что можно считать ее недостатком [11].



1 – насосная станция для подачи воды; *2* – животноводческий комплекс; *3* – насосная станция для подачи ПГСХ; *4* – трубопровод для ПГСХ; *5* – распределительный трубопровод; *6* – узел ввода; *7* – оросительный трубопровод; *8* – техника полива; *9* – граница блоков

Рисунок 2 – Раздельно-блочная схема с применением ПГСХ

Раздельную оросительную сеть (рисунок 3) можно применять при внесении ПГСХ с помощью машин кругового действия, когда ПГСХ подводятся непосредственно к неподвижной опоре. Такая сеть наиболее эффективна, когда орошаемое поле находится между водоисточником и животноводческим комплексом с прифермским накопителем, и может быть представлена как раздельно-блочная сеть, если принять, что блок обслуживается одной машиной кругового действия [11].



1 – животноводческое хозяйство; *2* – насосная станция для подачи ПГСХ; *3* – распределительный трубопровод для стоков; *4* – оросительный трубопровод; *5* – техника полива; *6* – узел распределения ПГСХ и воды; *7* – распределительный трубопровод; *8* – насосная станция для подачи воды

Рисунок 3 – Раздельная оросительная сеть с применением ПГСХ

Выбор схемы оросительной системы с использованием продуктов гидросмыва свиноводческих комплексов определяется технико-экономическими расчетами и санитарно-гигиеническими требованиями. Во всех трех схемах оросительных сетей можно применять однотипное трубопроводное оборудование.

Использование классических оросительных систем для транспортирования и распределения ПГСХ без учета особенностей условий функционирования оросительных систем может привести к нарушению нормальной работы системы, ухудшению качества сельскохозяйственной продукции, загрязнению поверхностных и подземных вод, распространению инфекционных заболеваний [14].

Это не стандартная оросительная система, где поливы проводятся в зависимости от потребности сельскохозяйственных культур в воде, здесь присутствуют очистные сооружения, и весь объем ПГСХ, независимо от погодных условий, должен быть принят и равномерно распределен по площади, размеры которой определяются специальными расчетами.

Выводы

1 Максимальное использование ПГСХ в сельском хозяйстве позволяет одновременно решать несколько задач:

- обезвреживание и очистка ПГСХ;
- повышение плодородия почвы и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур;
- защита рек и водоемов от загрязнений.

2 Анализ классических схем оросительных систем с использованием ПГСХ позволил установить, что технически привлекательной является схема, основанная на дифференцировании процессов полива ПГСХ и водой на различных участках.

3 Выбор оросительной системы с использованием продуктов гидросмыва свиноводческих комплексов должен быть основан на детальном обзоре технико-экономических показателей выбранной схемы и выполнен с учетом санитарно-гигиенических требований.

Список использованных источников

1 Полторак, Я. А. Способы утилизации отходов сельскохозяйственного производства и их влияние на экологическое состояние мелиоративных земель / Я. А. Полторак // Труды КубГАУ. – 2008. – № 2. – С. 68–71.

2 Никитин, В. А. Подготовка и орошение животноводческими стоками / В. А. Никитин, В. И. Дмитриева, В. А. Поленина // Сельскохозяйственное использование сточных вод. – М., 1976. – С. 10–17.

3 Поленина, В. А. Обработка животноводческих стоков перед использованием на полях орошения / В. А. Поленина // Сельскохозяйственное использование сточных вод. – 1975. – № 2. – С. 13–18.

4 Орлов, В. П. Земледельческие поля орошения / В. П. Орлов. – 3-е изд. – М., 1961. – 120 с.

5 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

6 Гостищев, Д. П. Техника и технология орошения сточными водами с учетом охраны окружающей среды: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 06.01.02 / Гостищев Дмитрий Петрович. – М., 1994. – 65 с.

7 Гостищев, Д. П. Подготовка животноводческих стоков для орошения / Д. П. Гостищев, В. С. Меркурьев // Сб. науч. тр. НМГА. – Новочеркасск, 1998. – С. 53–55.

8 Семененко, С. Я. Эколого-экономическая оценка орошения сельскохозяйственных культур животноводческими сточными водами / С. Я. Семененко, М. С. Григоров, Т. В. Никифорова // Вестник РАСХН. – 2009. – № 5. – С. 38–40.

9 Домашенко, Ю. Е. Проблемы и перспективы использования сточных вод для орошения / Ю. Е. Домашенко; Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Новочеркасск: Лик, 2017. – 212 с.

10 Домашенко, Ю. Е. Ресурсосберегающие технологии по подготовке животноводческих стоков для орошения сельскохозяйственных культур / Ю. Е. Домашенко,

С. М. Васильев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2015. – № 106. – С. 568–579. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2015/02/pdf/35.pdf.

11 Технология орошения животноводческими стоками / А. М. Буцыкин, В. Г. Луцкий, А. Г. Пономаренко, Л. П. Рева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 160 с.

12 Мусийчук, Н. С. Мелиоративное состояние земель при орошении сточными водами животноводческих комплексов и пути улучшения экологической обстановки / Н. С. Мусийчук, В. И. Шмаков // Хозяйственно-питьевые и сточные воды. Проблемы использования и очистки: сб. науч. тр. – Пенза, 1996. – С. 63–67.

13 Гостищев, Д. П. Орошение сточными водами животноводческого комплекса в Ростовской области / Д. П. Гостищев // Ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии мелиорации, рекультивации и охраны земель: материалы науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2004. – С. 43–47.

14 Морозов, Н. В. Проблема обеззараживания сточных вод животноводческих комплексов и возможные пути ее решения / Н. В. Морозов // Водные ресурсы. – 1983. – № 5. – С. 142–152.

УДК 621.67, 626.83

М. А. Шомайрамов, Ш. Г. Талипов, Н. Р. Насырова
Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

В статье описаны существующие методы оценки риска при эксплуатации насосных агрегатов систем машинного водоподъема и их безопасности, даны новые зависимости для оценки риска аварии и их категории безопасности. Цель исследований – разработка основных мероприятий по повышению эффективности эксплуатации и безопасности сооружений и насосных агрегатов, ликвидации непроизводительных потерь электроэнергии, внедрению новых технологий эксплуатации, совершенствования конструкций основных сооружений напорного бассейна и водовыпусков с переходными процессами.

Ключевые слова: надежность, безопасность, эксплуатация, насосный агрегат, напорный трубопровод, водовыпуск.

****

M. A. Shomayramov, Sh. G. Talipov, N. R. Nasyrova
Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

SAFETY AND SUSTAINABILITY IMPROVEMENT METHODS OF PUMP IRRIGATION SYSTEM OPERATION

The existing methods of risk assessment of pump units operation in pump irrigation systems and their safety are described; new dependencies to assess the risk of accidents and their safety categories are presented. The aim of the research is the development of basic measures to increase the operation and safety efficiency of facilities and pumping units, to eliminate nonproductive losses of electricity, to implement new technologies of operation, to improve the design of main structures of intake basin and outlets with transitional processes.

Key words: reliability, safety, operation, pump unit, pressure pipeline, water outlet.

Правильное и безопасное управление гидротехническими сооружениями (ГТС) насосных станций в Республике Узбекистан становится важной проблемой. Закон Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений» рассматривает их в первую очередь как потенциально опасные объекты для населения, окружающей среды и экономики страны. Существующие ГТС оросительных насосных станций (НС) систем машинного водоподъема (СМВ) страны по сроку службы подходят к этапу износных отказов. Для этого периода эксплуатации характерны возрастание интенсивности отказов и аварий, увеличение объемов ремонтных работ и работ по реконструкции и модернизации сооружений, конструкций и оборудования НС и, соответственно, увеличение затрат и расходов электрической энергии на единицу объема перекачиваемой воды.

Более трех десятилетий на многих республиканских международных форумах по гидравлическим исследованиям НС рассматривается широкий круг эксплуатационных вопросов, связанных с неблагоприятными условиями их работы.

Опыт эксплуатации крупных машинных каналов показывает, что до 29 % отказов в работе насосных агрегатов (НА) вызываются неблагоприятными гидравлическими процессами в сопрягающих сооружениях, перепадами уровня воды (УВ) в каналах.

Это усугубляется тем, что НС работает по графику с широким диапазоном подач, и многочисленные комбинации НА приводят к изменению структуры потока во всех элементах гидротехнического узла.

Рассмотрим некоторые технологические основы управления СМВ в аспекте безопасности [1].

Намеченные к реконструкции крупные СМВ по расходу, энерговооруженности, средствам управления являются крупнейшими в мире. Выход их из строя даже на незначительный промежуток времени может привести к огромным ущербам. Поэтому постановка и решение теоретических задач по эксплуатации этих объектов с учетом показателей надежности является исключительно важной народнохозяйственной задачей. До настоящего времени проектирование СМВ (в т. ч. крупных) велось без учета количественного показателя надежности и безопасности. Значение надежности и безопасности долгое время недооценивали, и исправление ошибок требовало значительных затрат.

Мероприятия по повышению надежности и безопасности должны основываться на накоплении опыта эксплуатации СМВ. Обработка статистических материалов по эксплуатируемым крупным СМВ и их элементам позволяет концентрировать соответствующие данные в такой форме, которая позволяет их использовать эксплуатационному персоналу. Анализ этих статистических данных дает возможность выработать соответствующие мероприятия, резко сокращая исследования, связанные с теорией вероятности и математической статистики.

Внимание, которое уделяется надежности в промышленности, в равной мере относится к объектам гидротехники. Можно отметить рост интереса в последнее время к надежности гидросооружений СМВ [2]. Сложность определения риска при эксплуатации НС, их безопасности и надежности обусловливается недостаточностью исходной информации о воздействиях и нагрузках, свойствах материалов и протекающих в них процессах, неполнотой сведений о поведении объекта на предыдущих стадиях его функционирования, практическим отсутствием информации о состоянии объекта после проведения ремонтно-восстановительных работ.

К важным особенностям НС при оценке риска и безопасности необходимо отнести учет единства конструктивной реализации единого агрегатного комплекса с взаимозависимостью и взаимовлиянием гидравлических процессов в сопрягающих узлах НС. Другая особенность НС – зависимость их безопасности и надежности функционирования от динамики гидравлических процессов, происходящих в гидромеханических системах: «проточная часть – насос», «насос – запорная арматура – напорный трубопровод – водовыпуск», что особенно важно для условий состояния каждого элемента отдельно. В связи с этим целесообразны на начальном этапе сбор из доступных источников и анализ информации об авариях, отказах и дефектах, имевших место на длительно эксплуатируемых НС, частоте возникновения и влиянии на надежность и безопасность НС.

При исследовании безопасности НС точное описание отказов элементов и видов отказов занимает центральное место и с помощью метода дерева отказов выявляются виды отказов. На основе детального анализа возможных событий с помощью методов дерева отказов и дерева событий, а также последовательности опасных ситуаций определим элементы НС, которые подвергаются детальному анализу с целью исключения опасностей, приводящих к возникновению аварии [3].

При оценке риска, используя эксплуатационные или экспериментальные данные, строят графики временных зависимостей для элементов НС. Используя последние, определяют вероятностные параметры, характеризующие надежность элементов для полного цикла их работы.

К основным ГТС по проблемам водосбережения относят сооружения, разрушение которых приводит к нарушению нормальной работы НС (напорные трубопроводы, водовыпуски). К второстепенным сооружениям следует относить пазы ремонтных затворов, отбойные и регуляционные сооружения.

Класс ГТС разрешается повышать на единицу, если их разрушение сопровождается катастрофическими последствиями, или снижать на единицу, если катастрофические последствия не возникают.

Сезонность работы ирригационных НС позволяет снизить эксплуатационные требования, напорные трубопроводы могут быть уложены открыто, нет нужды предусматривать мероприятия по борьбе с шугой, обмерзанием решеток.

Определение их параметров проводится по параметрам НС. Основным параметром водосбережения является подача.

Кроме действительной существует понятие теоретической подачи, которая была бы возможна при отсутствии внутренних обратных утечек воды (перетекание из напорной части трубопроводов во всасывающую через конструктивные зазоры, клапаны и др.). Для сравнительной оценки этих утечек есть понятие объемного КПД (η_0):

$$\eta_0 = Q / Q_{\text{Т}},$$

где Q – действительная подача, м^3/ч;

$Q_{\text{Т}}$ – теоретическая подача, м^3/ч.

Коэффициент условий работы трубопроводов ($\text{К}_{\text{Э}}$) определяется как функция уровня организации эксплуатации трубопроводов (ор), а также оценки состояния объекта по степени его износа ($\text{И}_{\text{з}}$) и его причинам: гидравлическим (Γ), механическим (М), энергетическим (Э):

$$\text{К}_{\text{Э}} = f[\text{ор}, \text{И}_{\text{з}}, \Gamma, \text{М}, \text{Э}]. \tag{1}$$

Изменения напора насоса под воздействием потерь воды, гидроабразивного износа и кавитационной эрозии его элементов и трубопроводов в процессе эксплуатации можно представить в виде произведения параметров:

$$H(t) = H_{\text{т}}(t) \cdot \eta_{\text{об}}(t) \cdot \eta_k(t) \cdot \eta_0(t), \tag{2}$$

где $H_{\text{т}}(t)$ – теоретический напор в функции от t, м;

$\eta_{\text{об}}(t)$ – объемный КПД насоса в функции от t;

$\eta_k(t)$, $\eta_0(t)$ – КПД насоса и трубопроводов в функции от t.

Значения величин в формулах (2) и (1) находят, определяя рабочие точки на характеристиках насоса и трубопровода в соответствии с плановым графиком водоподачи на планируемый период и режимом работы НС.

В формулах добавляется $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трубопровода, учитывающий потери в напорном трубопроводе и на местных сопротивлениях.

Очевидно, что чем менее устойчива работа водохозяйственной системы, т. е. чем больше вероятность отказа, тем больший ущерб может быть нанесен народному хозяйству и большая величина затрат может потребоваться для его компенсации. С другой стороны, очевидно также, что путем придания системе больших коэффициентов запаса и улучшения ее обслуживания можно вероятность ее отказа существенно уменьшить, но для этого требуется больше капитальных вложений и эксплуатационных расходов. Поэтому должна существовать оптимальная величина вероятности отказа, которая соответствует минимуму суммы затрат на сооружение и эксплуатацию системы и затрат на компенсацию ущерба. Эту оптимальную вероятность отказа и предлагается принимать за оптимальную устойчивость работы системы.

Таким образом, под оптимальной устойчивостью функционирования водохозяйственной системы (СМВ) понимается такая вероятность ее отказа, которая соответствует минимуму суммарных затрат на ее создание, эксплуатацию и компенсацию возможного ущерба.

Оптимальная проектная надежность элемента или объекта определяется минимумом суммарных затрат на их создание и эксплуатацию с учетом возможных расходов на ликвидацию или компенсацию последствий отказа.

Режим работы СМВ – случайное событие и рассматривается как иерархическая структура.

Условие устойчивости проектного режима работы с представлением результатов по каждому функциональному режиму записывается в следующем виде:

$$P_S^i = B_{\text{ср}} \begin{Bmatrix} X_1^H & \le & Z_1 & \le X_1^B \\ X_2^H & \le & Z_2 & \le X_2^B \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_j^H & \le & Z_j & \le X_j^B \end{Bmatrix},$$

где P_S^i – вероятность устойчивой работы по 1-му расчетному варианту проектного режима работы СМВ;

$B_{\text{ср}}$ – оператор вероятности;

X_j^H, X_j^B – нижний и верхний пределы изменения j-го проектного функционального режима;

Z – результат создания и поддержания j-го функционального режима.

Современные объекты СМВ представляют собой сложные системы, в состав которых входят механические, электрические и другие элементы.

Сифонные водовыпуски широко применяются при проектировании и эксплуатации крупных ирригационных НС, однако нет конкретных рекомендаций по проектированию, расчету и конструированию сифона НС с гидравлическими устройствами срыва вакуума (ГУСВ). Одним из основных вопросов, которые приходится решать при расчете и проектировании сифонных водовыпусков, является вопрос о распределении скоростей и давлений в его горловине и особенно в сечении, где подсоединяется ГУСВ. От характера распределения скоростей в горловине зависит пропускная способность сифонного водовыпуска и работа клапана срыва вакуума.

При исследованиях сифона НС «Шерабад» рекомендуется зависимость для распределения скоростей [3]:

$$\upsilon = \upsilon_m \frac{r_0}{r}, \tag{3}$$

где υ_m – средняя скорость в горловине сифонного водовыпуска, м/с;

r_0 – радиус оси закругления, м;

r – радиус кривизны струйки, м.

Формула (3) получена из предположения, что поток имеет среднюю скорость по оси сечения. Принимая наш метод распределения скоростей, получаем скорость в рассматриваемой точке:

$$\upsilon = \upsilon_m \frac{\sqrt{r_1} + \sqrt{r_2}}{2\sqrt{r}}, \tag{4}$$

где r_1, r_2 – радиусы смежных исследованных струек в горловине сифона, м.

Исследования ГУСВ, проведенные авторами в натурных условиях на НС «Шерабад», позволили определить величины перепадов горизонтов воды в каналах, при которых ГУСВ обеспечивают зарядку и разрядку сифонов.

Установка ГУСВ положительно сказалась на режиме пуска насоса, обеспечивала спокойный выход воздуха из трубопровода при заполнении его водой. В этом отношении новые ГУСВ при нестационарных режимах движения воды обладают существенными преимуществами перед другими конструкциями клапанов этого назначения [3].

Известно, что разрядка сифонных водовыпусков снижает эффективность работы НС. В сифонном водовыпуске НС при постоянном притоке воздуха, т. е. в случае отсутствия или неисправности ГУСВ, насос подает воду на отметку, определяемую высотой порога сифонного водовыпуска. При этом насос работает с повышенным напором, из-за чего подача его снижается с уменьшенной надежностью [4].

Модернизация водовыпускных сооружений, открытых трубопроводов, обратных клапанов, вантузов соответствует современным нормам проектирования НС и расчету сифонных водовыпускных сооружений [5].

Указанные методы одобрены при рассмотрении передовых основ эксплуатации НА на ирригационных системах специалистами тренинга по повышению квалификации специалистов НС с учетом требований устойчивости и безопасности работы в региональных условиях Республики Узбекистан.

Выводы

1 Современный этап развития машинного водоподъема характеризуется специалистами как период старения сооружений, оборудования и вполне обоснованно снижением безопасности НС.

2 Анализ публикаций в периодической технической литературе в пользу такого пути развития системы методов совершенствования безопасности и устойчивости эксплуатации СМВ подтвержден технической политикой США, Голландии и ряда других стран.

3 Из известных в настоящее время конструкций на водовыпусках НС наиболее надежным и простым в эксплуатации является ГУСВ. В НИИИВП ведется работа по совершенствованию ГУСВ, а результаты расчетов по формулам (3) и (4) достаточно точно совпадают с опытными данными, гарантируя определенный запас в расчетах колебания горизонтов воды верхнего бьефа. Результаты исследований позволяют утверждать, что гидравлический клапан при правильном выборе его размеров обеспечивает работу сифонного водовыпуска при всех режимах работы станции. Опыт эксплуатации его на ряде НС в течение шести поливных сезонов показал, что он может быть рекомендован для применения с максимальной надежностью.

Список использованных источников

1 Гловацкий, О. Я. Оценки безопасности и повышение надежности эксплуатации гидротехнического узла крупных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Р. Р. Эргашев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2(62). – С. 108–113.

2 Гловацкий, О. Я. Новые методы повышения достоверности количественной оценки надежности эксплуатации объектов систем машинного водоподъема / О. Я. Гловацкий, Р. Р. Эргашев, Ш. Р. Рустамов // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства России: Междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения) / ВНИИГиМ, Россельхозакадемия. – М., 2013. – С. 372–376.

3 Гловацкий, О. Я. Совершенствование сифонных водовыпусков насосных станций с гидравлическими устройствами срыва вакуума / О. Я. Гловацкий, М. А. Шомайрамов // Сборник научных трудов, посвященный 25-летию Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии. – Ташкент, 2017. – С. 160–166.

4 Henli, E. Reliability of technical systems and risk assessment / E. Henli, Kh. Kumamoto. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 528 p.

5 Glovatsky, O. Ya. Improvement to usages and studies large pumping station: Monograph / O. Ya. Glovatsky, R. R. Ergashev, Sh. R. Rustamov. – Saarbruken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 170 p.

УДК 631.42.001.57

А. А. Белоусов, А. В. Шевченко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ СОЛЕЙ В ПОЧВОГРУНТАХ И НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящей статье рассмотрены вопросы практического применения физико-математических моделей миграции солей, учитывающих обменные процессы и буферность почв. Показывается, что все эти модели гибки и позволяют учитывать практически все факторы, закономерности действия которых известны. Все необходимые для их реализации параметры поддаются определению в полевых и лабораторных условиях.

Ключевые слова: математическое моделирование, солевой режим, конвективная диффузия, почвогрунт, методы прогноза.

****

A. A. Belousov, A. V. Shevchenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

PHYSICAL-MATHEMATICAL MODELS OF SALTS MIGRATION IN SOIL AND SOME PRACTICAL ISSUES OF THEIR APPLICATION

In the present article questions of practical application of physical-mathematical models of salts migration taking into account exchange processes and soil buffering capacity are considered. It is shown that all these models are flexible and allow us to take into account practically all factors whose laws of action are known. All parameters necessary for their implementation can be determined under field and laboratory conditions.

Key words: mathematical modeling, salt regime, convective diffusion, soil, forecast methods.

Разработка методов прогноза солевого режима почвогрунтов при мелиорации в зоне орошения является в настоящее время одной из важнейших задач [1]. Практически единственная применяемая на практике методика опирается на уравнение:

$$Д^* \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - V \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial t}, \tag{1}$$

где $Д^*$ – коэффициент конвективной диффузии;

c – концентрация рассматриваемого компонента в свободной (гравитационной) влаге, г/дм^3;

x – высота рассматриваемого слоя почвы, м;

V – скорость перемещения раствора, которая, как и $Д^*$, полагается постоянной, м/сут;

t – время, сут.

Эта модель подвергается критике. Утверждается, в частности, что величина $Д^*$, получаемая из опытов и натурных наблюдений, очень сильно зависит от выбора точек и интервалов солевого профиля и времени, используемых для вычислений $Д^*$. Даже в литологически однородных грунтах расхождения могут достигать нескольких порядков, что свидетельствует о неудовлетворительности модели [2].

Действительно, в модели, описываемой уравнением (1), предполагается, что рассматриваемый компонент находится только в свободной влаге. Его наличие в пленочной влаге, твердой фазе, обменные реакции – все это игнорируется. При обычных значениях коэффициента молекулярной диффузии и средней по расходу скорости процесс сводится к замещению подвижной части почвенной влаги оросительными водами. Если бы подобный механизм имел место на самом деле, то, например, для рассоления почвы было бы достаточно однократной промывки. На практике этого не происходит из-за буферности почв, обменных реакций и т. п. Для компенсации этих факторов пришлось ввести фиктивный коэффициент конвективной диффузии, на несколько порядков превышающий молекулярный. Благодаря резкому увеличению коэффициента при промывках как бы появляется мощный встречный по отношению к конвективному диффузионный поток, который и обеспечивает неполное вытеснение рассматриваемого компонента. Предполагается, что если $Д^*$ определять по результатам натурных наблюдений, то в получаемом $Д^*$ автоматически будут учтены все подлежащие компенсации факторы.

Следует отметить, что идеи, обосновывающие уравнение (1), довольно широко используются в почвоведении. Сошлемся в качестве примера на то, что при расчетах промывных норм по способу, предложенному Л. П. Розовым [3], предполагается именно процесс вытеснения одного раствора другим. Совершенствуя этот метод, В. А. Ковда [4] вводит несколько эмпирических коэффициентов. Но, как уже отмечалось, один коэффициент $Д^*$ не справляется со своими компенсационными обязанностями.

Рассмотрим модель, допускающую учет буферности и обменных реакций, описанную в случае одномерного перемещения солей системой:

$$\left.\begin{aligned} &mД \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - mV \cdot \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial N}{\partial t} = m\frac{\partial c}{\partial t}, \\ &\frac{\partial N}{\partial t} = f(c,\, N,\, \ldots) \end{aligned}\right\}, \tag{2}$$

где m – доля площади живого сечения свободной воды в общей площади сечения;

Д – коэффициент молекулярной диффузии рассматриваемого компонента;

N – вес рассматриваемого компонента в единице объема вне свободной влаги, Н/м^3.

Первое уравнение системы является законом сохранения вещества и следует из обычных балансовых соображений. Помимо факторов, учитываемых уравнением (1), в нем рассматривается также обмен заданным компонентом между свободной влагой и остальными частями почвогрунтов. Второе уравнение описывает этот обмен.

Разные авторы по-разному интерпретируют обменный член системы (2). Чаще всего предполагается, что обмен происходит за счет растворения солей, находящихся в твердой фазе, или перемещения их между свободной влагой в сквозных и тупиковых порах [5]. Реже предполагается, что обмен происходит между свободной и пленочной влагой. В большинстве случаев второе уравнение системы (2) записывается в виде:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\alpha \cdot (c_\alpha - c), \tag{3}$$

где смысл α и c_α зависит от принятой модели обмена. Например, при растворении α – коэффициент скорости растворения, а c_α – концентрация предельного насыщения соответствующего компонента. Если предполагается обмен между свободной и связной влагой, α – коэффициент скорости обмена, а c – концентрация в связной влаге и т. д. Возможны и другие формы обмена, например если имеется дисперсное засоление [6]. В принципе не исключено, что одновременно происходит несколько обменов, тогда:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \sum -\alpha \cdot (c_\alpha - c). \tag{4}$$

В целом система (2) представляется достаточно универсальной основой для решения задач солевого прогноза. Она допускает учет различных обменных процессов. Но, учитывая несовершенство знаний об этих процессах, на практике удобнее ее рассматривать как некий эвристический отправной пункт при построении эмпирических формул и решении. Например, весьма вероятно, что все обмены происходят через свободную и связную влагу. Тогда второе уравнение системы (2) примет вид (3), но система должна быть дополнена уравнениями (аналогичными уравнению (3)) солевого обмена пленочной влаги с солями твердой фазы, с активным скелетом и т. д. При таком подходе все параметры системы, в т. ч. и коэффициент диффузии, следует рассматривать как эмпирические, определяемые в результате натурных или лабораторных исследований.

Идеи, лежавшие в основе системы (2), настолько прозрачны, что представляется интересным выяснить причины, по которым эта модель еще не нашла применения. Эти причины, как и возражения против применения системы, разнообразны. Хорошее представление о некоторых из них дает следующий пример.

Н. Г. Минашина [7], критикуя систему (2) из-за того, что она не позволяет учесть буферность и поверхностную активность почв, предлагает чрезвычайно грубую модель, в которую названные факторы входят лишь в виде обмена между связной и свободной водой. Непрерывное время в ней заменяется дискретным, тактами промывок, обмен солями происходит только в те моменты, когда влажность почв равна полной полевой влагоемкости, но раствор не перемещается в порах и т. д. Получаемые результаты нуждаются в корректировке при высокой и низкой проницаемостях. Параметрами модели, подлежащими опытному определению, являются минерализация пленочной влаги, наименьшая и полная полевая влагоемкость, а также поправочные члены. Расчетные формулы для прогноза результатов промывок просты, прогноз вне промывок невозможен.

То, что с содержательной стороны модель, приводящая к системе (2), значительно совершенней и более гибка, чем модель Н. Г. Минашиной, не вызывает сомнения. Преимущества последней заключается, видимо, в простоте расчетов и разработанности методов определения участвующих в ней параметров. Впрочем, простота расчетов – понятие относительное. Применение для реализации решений системы (2) ЭВМ и аналоговой техники делает для исполнителя процедуру решения даже проще, чем расчеты по формулам Н. Г. Минашиной. Что же касается определения параметров моделей, то, действительно, одной из основных причин, по которым в прогнозах не использовалась система (2), являлись имевшие до самого последнего времени трудности с определением параметров системы. Однако предложенный В. Б. Георгиевским метод определения параметров для уравнений параболического типа без решения прямой задачи разрешил многие теоретические трудности. Нахождение параметров сводится к решению систем алгебраических уравнений. В литературе имеются примеры решения этой задачи для системы (2) со вторым уравнением вида (3) или (4) [8]. Практическая применяемость этого метода связана с возможностью получения проб свободной воды из различных точек монолитов, через которые идет фильтрация. Описание успешных опытов такого рода имеется [9]. Отметим, кстати, что и в модели Н. Г. Минашиной получение концентрации солей в пленочной влаге – задача, достаточно сложная, если соли находятся в скелете грунта.

Другая группа возражений сводится к тому, что в системе (2) параметры предполагаются постоянными, а на самом деле они изменяются как во времени, так и в пространстве. Во-первых, это обстоятельство имеет место абсолютно во всех прогнозах, и в частности в гидрогеологических. Тем не менее там практика использования уравнений с постоянными коэффициентами распространена широко и не подвергается критике. Ссылка на то, что в солевых прогнозах изменчивость свойств слишком сильная, основана на опыте использования уравнения (1). Подобного опыта по отношению к системе просто нет. Во-вторых, применение конечно-разностных методов позволяет решать системы, полученные, как система (2), из закона сохранения вещества, но имеющие переменные коэффициенты. Более того, при этом могут быть учтены и закономерности ненасыщенного движения влаги. Метод В. Б. Георгиевского, и это очень важно, позволяет в принципе определять все необходимые параметры модели как функции пространства и времени.

Часто в качестве возражений против применения системы (2) ссылаются на то, что она относится к одному компоненту раствора и что изменение концентраций компонентов может привести к изменению химизма и параметров системы. Однако в этом случае систему просто следует дополнить уравнениями для других компонентов [9]. Применяя к решению этой системы конечно-разностные процедуры, можно учесть все изменения параметров, о которых сейчас известно.

Выводы

1 Разработанные к настоящему моменту математические модели солепереноса в почвогрунтах соответствуют теоретическому состоянию вопроса. Они чрезвычайно гибки и позволяют учитывать практически все эффекты, воздействие которых может быть записано формально.

2 Рассмотрение этих моделей как эвристических обоснований эмпирических методов солевого прогноза позволяет путем сопоставления результатов прогноза для разных законов солеобмена проверить различные модели солеобмена.

3 В настоящее время имеется как возможность реализации вычислений для этих математических моделей, так и опыт определения всех необходимых расчетных параметров.

4 Важнейшей задачей является внедрение этих моделей и методов определения их параметров в практику мелиоративных изысканий вместо дискредитивной модели (1). В конце концов, только практика может решить вопрос о точности этих моделей. Внедрение, видимо, следует начинать с системы с постоянными параметрами, постепенно ее усложняя как путем введения переменных параметров, так и увеличивая размерность модели (переходя последовательно к плоской и трехмерной задачам).

Список использованных источников

1 Барон, В. А. К вопросу прогноза солевого режима почвогрунтов / В. А. Барон // Сборник научных трудов ВСЕГИНГЕО. – 1967. – Вып. 3. – С. 94–109.

2 Иванишин, И. Б. Постановка задачи физического и математического моделирования поведения жидкостей в пористых средах / И. Б. Иванишин, Е. В. Шеляго, И. В. Язынина // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 71–73.

3 Розов, Л. П. Мелиоративное почвоведение / Л. П. Розов. – М.: Госсельхозиздат, 1956. – 440 с.

4 Почвоведение: учеб. для вузов. В 2 ч. Ч. 2. Типы почв, их география и использование / Л. Г. Богатырев [и др.]; под ред. Д. С. Ковды, Б. Г. Розанова. – М.: Высш. шк., 1988. – 368 с.

5 Воеводина, Л. А. Солевой режим почв при капельном орошении водой повышенной минерализации / Л. А. Воеводина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2010. – Вып. 43. – С. 22–27.

6 Почвоведение / Г. Д. Белицина [и др.]. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.

7 Минашина, Н. Г. Физико-химическая модель расчета нормы воды для промывки засоленных почв / Н. Г. Минашина // Почвоведение. – 1972. – № 3. – С. 115–120.

8 Георгиевский, В. Б. Унифицированные алгоритмы для определения фильтрационных параметров: справочник / В. Б. Георгиевский. – Киев: Наукова думка, 1971. – 328 с.

9 Моделирование процесса управления водно-солевым режимом почв в условиях орошения / В. В. Бородычёв [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2(42). – С. 26–33.

УДК 504.062:631.6:368.023.1

Л. Н. Грановская, Р. А. Киселева
Институт орошаемого земледелия Национальной академии аграрных наук Украины, Херсон, Украина

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТРАХОВАНИЯ РИСКОВ В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ

Целью исследования является научное обоснование системы экологического страхования рисков в процессе хозяйственной деятельности в зоне орошения на юге Украины. Предложен методический подход к формированию системы составляющих, а также предусмотрена безусловная франшиза, на размер которой влияет количество лет непрерывного заключения договора между страховщиком и страхователем.

Ключевые слова: экологическое страхование, риски, орошаемое земледелие, водохозяйственная деятельность, мелиорированные земли, страховая сумма, страховой тариф, страховая плата, экологический фонд.

****

L. N. Granovskaya, R. A. Kiseleva
Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kherson, Ukraine

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF THE SYSTEM OF ENVIRONMENTAL RISKS INSURANCE IN THE IRRIGATION ZONE

The purpose of the study is the scientific justification of the system of ecological risk insurance in the process of economic activity in the irrigation zone in the south of Ukraine. A methodological approach to the component system formation is proposed and an unconditional franchise the size of which is affected by the number of years of continuous conclusion of a contract between the insurer and the insured is provided.

Keywords: environment insurance, risks, irrigated agriculture, water-resources activity, reclaimed lands, insurance sum, insurance tariff, insurance payment, ecological fund.

Введение. Орошаемое земледелие является важной отраслью агарного сектора экономики, эффективность которого зависит от процессов трансформации и реформ в управлении земельными и водными ресурсами. На сегодняшний день остаются недостаточно обоснованными факторы, причины и условия предупреждения экологических угроз и рисков в аграрном секторе экономики, в т. ч. и в орошаемом земледелии, что является одним из важных условий обеспечения экологической безопасности в АПК. Для обеспечения экологической безопасности развития агарного сектора в зоне орошения необходимо внедрение экологического страхования рисков.

Методы. В процессе исследования использовались общенаучные и специальные методы, в т. ч. системного анализа (для определения факторов влияния на орошаемые земли), системного подхода (для обоснования и классификации видов рисков, которые возникают в орошаемом земледелии), экономико-математического моделирования (в ходе расчетов составляющих системы экологического страхования).

Результаты исследования. Необходимость осуществления экологического страхования предусмотрена отдельными положениями законов Украины: «О природно-заповедном фонде Украины» (1992 г.) (ст. 50); «О пестицидах и агрохимикатах» (1995 г.) (ст. 9); «Об отходах» (1998 г.) (ст. 14 и 38); «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности» (1995 г.) (ст. 15 и 17); «О перевозке опасных грузов» (2000 г.) (ст. 5, 7, 9, 22); «О страховании» (1998 г.) [1]; «Об охране окружающей природной среды» (1991 г.); Постановлением Кабинета Министров Украины № 1788 «Об утверждении Порядка и правил проведения обязательного страхования гражданской ответственности субъектов хозяйствования за вред, который может быть причинен пожарами и авариями на объектах повышенной опасности, включая пожаровзрывоопасные объекты, хозяйственная деятельность на которых может привести к авариям экологического и санитарно-эпидемиологического характера» (2002 г.) [2] и международно-правовыми актами: конвенцией Совета Европы 1993 г. о гражданской ответственности за ущерб, причиненный осуществлением опасной для окружающей среды деятельности; директивами Европейского союза о гражданской ответственности за ущерб, причиненный отходами.

Все эти законодательно-нормативные акты регулируют вопросы, касающиеся экологического страхования, а именно ответственности за ущерб, причиненный загрязнением окружающей природной среды, возникновения рисков радиационного воздействия и рисков в результате перевозки токсичных грузов.

Но, несмотря на значительное, на первый взгляд, количество законодательных актов, которые якобы создают предпосылки для внедрения этого вида страхования, экологическое страхование на Украине не развивается. Причиной этого является то, что нормы гражданского и страхового законодательства в полной мере не отражают специфику отношений в сфере природопользования и в области охраны окружающей среды, а также не учитывают социальную составляющую экологического страхования.

В результате научных исследований системы экологического страхования в России, Белоруссии и Польши и рассмотрения опыта использования методических подходов к разработке таких систем предложена авторская трактовка формирования процедуры экологического страхования рисков в процессе хозяйственной деятельности на орошаемых землях юга Украины. Предложенная схема процедуры экологического страхования включает объект, страховые риски, страховую сумму, договор страхования, срок действия договора, особенности заключения договора страхования.

Объектом страхования могут быть имущественные интересы страхователя, связанные с риском потери (гибели) или частичной потери сельскохозяйственной продукции, в т. ч. урожая сельскохозяйственных культур, многолетних насаждений, а также посадок многолетних насаждений (виноградников, плодовых, ягодных, орехоплодных насаждений, плантаций хмеля, чая).

Выращивание сельскохозяйственных культур (подсолнечника на зерно, томатов, пшеницы озимой и ячменя озимого, кукурузы на зерно, сои) в южной сухостепной зоне на орошаемых землях сопровождается вероятностью возникновения эколого-экономических рисков [3]. На возникновение рисков влияют природно-климатические и экологические факторы: снижение температуры атмосферного воздуха на стадии кущения до критических показателей; затопление посевов в течение длительного периода (до 40 дней) осенью и весной при глубоком промерзании почвы и избыточном количестве атмосферных осадков; ухудшение фитосанитарного состояния на полях выращивания сельскохозяйственных культур; сельскохозяйственные земли с низкими показателями плодородия (содержанием гумуса и питательных веществ); заморозки в апреле, понижение температуры воздуха до минус 7 – минус 8 °С; заморозки в мае, понижение температуры воздуха до минус 4 – минус 5 °С; выпадение града в период вегетации сельскохозяйственной культуры; чрезмерное количество атмосферных осадков в фазе полной спелости зерна; сильный ветер и пыльные бури [3]. Выращивание сельскохозяйственных культур на мелиорируемых землях с неудовлетворительным экологическим, агрофизическим состоянием и водно-солевым режимом (засолением, осолонцеванием, подтоплением) влияет на общую эффективность ведения сельского хозяйства.

Договором экологического страхования рисков хозяйственной деятельности на орошаемых землях при выращивании сельскохозяйственных культур должна быть предусмотрена франшиза, размер которой зависит от количества лет непрерывного заключения договора между страховщиком и страхователем (таблица 1).

Таблица 1 – Размер франшизы при экологическом страховании рисков хозяйственной деятельности на орошаемых землях при выращивании сельскохозяйственных культур

В %

Количество лет сотрудничества со страховой компанией	Франшиза
1) 1–2	30
2) 3–5	20
3) 6–10	10
4) 11 и более	5

С учетом вышесказанного нами разработана схема формирования составляющих системы экологического страхования хозяйственной деятельности на орошаемых землях (таблица 2).

Таблица 2 – Схема формирования составляющих системы экологического страхования хозяйственной деятельности на орошаемых землях

Показатель	Методика расчета	Основание
1	2	3
1 Страховая сумма	$С_{ст} = C \cdot Ц \cdot S$, где $С_{ст}$ – страховая сумма, грн.; *C* – средняя урожайность сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях за последние 3 года, ц; Ц – цена реализации 1 ц продукции по результатам прошлого года; *S* – площадь посева расчетного периода	Авторские дополнения согласно Постановлению Кабинета Министров Украины № 1000 от 11.07.2002 «Об утверждении Порядка и правил проведения обязательного страхования урожая сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений...»
2 Страховой тариф	От 7,5 до 9,5 % для сельскохозяйственных культур Херсонской области Украины	«Об утверждении Порядка и правил проведения обязательного страхования урожая сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений...»

Продолжение таблицы 2

1	2	3
3 Страховой платеж	В процентах от страховой суммы, для сельскохозяйственных культур Херсонской области Украины от 7,5 до 9,5 %	«Об утверждении Порядка и правил проведения обязательного страхования урожая сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений...»
4 Ущерб	$З = (В_с – В_ф) \cdot S \cdot Ц$, где З – ущерб урожая; $В_с$ – средняя урожайность за 3 года; $В_ф$ – фактическая урожайность расчетного периода; S – площадь посева расчетного периода; Ц – цена реализации 1 ц продукции, определена в договоре страхования, но не выше, чем на момент выплаты страхового возмещения	Авторские дополнения согласно Постановлению Кабинета Министров Украины № 1000 от 11.07.2002 «Об утверждении Порядка и правил проведения обязательного страхования урожая сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений...»
5 Страховая выплата	Процент от страхового платежа (70–95 %)	Авторские разработки
6 Коэффициент повышенного риска	$К_{i.р.} = К_R/К_{R\text{макс}}$, где $К_{i.р.}$ – коэффициент повышенного эколого-экономического риска; $К_R$ – количество эколого-экономических рисков, возникших за период хозяйственной деятельности на мелиорированных землях при выращивании сельскохозяйственных культур; $К_{R\text{макс}}$ – максимальное количество эколого-экономических рисков, которые предусмотрены договором экологического страхования	Авторские разработки
7 Индекс инфляции	11,4 %	Согласно данным Государственного комитета статистики Украины, 2017 г.
8 Доплата к страховой выплате	$Д_с = В_з \cdot I_{инф.} \cdot К_{i.р.}$, где $Д_с$ – страховая доплата после окончания договора страхования; $В_з$ – размер возмещения ущерба в результате возникновения эколого-экономических рисков; $I_{инф.}$ – индекс инфляции расчетного периода; $К_{i.р.}$ – коэффициент повышенного эколого-экономического риска	Авторские разработки
9 Общая сумма страховой выплаты	$С_в = В_з + Д_с$, где $С_в$ – страховая выплата по окончании договора страхования; $Д_с$ – страховая доплата после окончания договора страхования	Авторские разработки

На основе авторского методического подхода к экологическому страхованию рисков хозяйственной деятельности на орошаемых землях были произведены расчеты, определяющие состояние системы экологического страхования (страховую сумму, страховой тариф, страховой платеж, ущерб, страховую выплату в процентах от ущерба, коэффициент повышенного риска, доплату к страховой сумме, общую сумму страховой выплаты). В ООО «Научно-производственная фирма «Дриада» Генического района Херсонской области в процессе сельскохозяйственной деятельности в 2017 г., по результатам расчета, при выращивании озимой пшеницы была установлена страховая сумма 42100,0 грн., сумма страховой выплаты составила 877,34 грн., ячменя озимого – соответственно 34880,0 и 2171,15 грн., томатов – 632570,0 и 231507 грн. При выращивании кукурузы на зерно, сои и подсолнечника на зерно не возникало экономических ущербов из-за отсутствия погодных рисков в расчетном году.

Выводы. Предложенный авторский подход позволил обеспечить разработку методики экологического страхования хозяйственной деятельности на орошаемых землях, которая гарантирует безопасное ведение хозяйственной деятельности на мелиорированных землях Украины.

Список использованных источников

1 О страховании: Закон Украины в ред. от 04.10.2001 // Бюллетень законодательства и юридической практики. – 2001. – № 44.

2 Об утверждении Порядка и правил проведения обязательного страхования урожая сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений государственными сельскохозяйственными предприятиями, урожая зерновых культур и сахарной свеклы сельскохозяйственными предприятиями всех форм собственности: Постановление Кабинета Министров Украины 11 июля 2002 г. № 1000 // Инфодиск «Законодательство Украины».

3 Ушкаренко, В. О. Орошаемое земледелие / В. О. Ушкаренко. – Киев: Урожай, 1994. – 328 с.

УДК 631.67

Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева, А. А. Кузьмичев
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ БЕЛЬБЕК

В статье представлены основные гидрологические характеристики р. Бельбек. Приведены количественные значения годового стока и внутригодового (помесячного) его распределения с вероятностью превышения 50, 75 и 95 %. Во внутригодовом цикле стока р. Бельбек выделены периоды очень высокой потребности в орошении – периоды низкой водообеспеченности. Установлено, что среднемесячный расход воды в данный период при 75 % обеспеченности в нижнем течении р. Бельбек составляет 0,20–0,25 м^3*/с.*

Ключевые слова: створ, расход, объем стока, внутригодовое распределение, водосбор.

****

T. S. Ponomarenko, A. V. Breeva, A. A. Kuz'michev
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE BELBEK RIVER

The main hydrological characteristics of the Belbek river are presented. The quantitative values of the annual runoff and its intra-annual (monthly) distribution with the exceed-

ance probability 50, 75 and 95 % are given. The periods of a very high demand for irrigation – the periods of low water availability in the annual cycle of runoff of the Belbek river are marked. It has been found that the average monthly water consumption in a given period at 75 % availability in the lower reaches of the Belbek river is 0.20–0.25 m^3 per s.

Key words: cross section, discharge, runoff volume, intra-annual distribution, watershed.

Река Бельбек является основной гидрографической единицей юго-западного Предгорья. Длина реки – 55 км, водосборная площадь – 505 км^2. Она начинается на северных склонах главной гряды, между вершинами Биликля и Хуш-Кая. Образуется Бельбек путем слияния Озенбаша и Манаготры, стекающих с северо-западных склонов Главной гряды Крымских гор. Впадает в Черное море в 5 км от Севастопольской бухты у пос. Любимовка.

Среднемноголетний расход воды р. Бельбек у с. Фруктового равен 2,080 м^3/с, среднемноголетний объем годового стока составляет 65,5 млн м^3.

Река Бельбек является самой полноводной из рек Крыма. В верховьях сама река и ее притоки представляют собой бурные, никогда не пересыхающие потоки, с узким руслом, быстрым течением и крутыми высокими берегами [1].

Гидрологические наблюдения за годовым стоком проводились в разные годы на р. Бельбек у с. Счастливого (1947–1984 гг.), с. Куйбышево (с 1924 г. по настоящее время) и с. Фруктового (с 1915 г. по настоящее время), а также на притоках, таких как Биюк-Узенбаш (у с. Счастливого – с 1965 г. по настоящее время), Кучук-Узенбаш (у с. Многоречье – с 1965 г. по настоящее время), на притоке р. Кучук-Узенбаш (с 1965 г. по настоящее время), Манаготра у с. Счастливого (1965–1988 гг.), р. Коккозка у с. Голубинка (1946–1985 гг.) [2]. В таблице 1 представлены среднемноголетние характеристики годового стока, полученные в результате наблюдений на гидрологических постах [2].

Таблица 1 – Среднемноголетние характеристики годового стока

Река, гидропост	Площадь водосбора F, км^2	Расход Q, м^3/с	Объем стока W, млн м^3
Бельбек, с. Счастливое	44	0,437	17,80
Бельбек, с. Куйбышево	270	2,070	65,20
Бельбек, с. Фруктовое	493	2,080	65,50
Биюк-Узенбаш, с. Счастливое	6,55	0,234	7,25
Кучук-Узенбаш, с. Многоречье	10,00	0,203	6,39
приток р. Кучук-Узенбаш, с. Многоречье	2,46	0,214	6,74
Манаготра, с. Счастливое	5,06	0,037	1,16
Коккозка, с. Голубинка	83,6	1,090	34,3

На р. Бельбек расположено одно крупное водохранилище – Счастливенское. Оно находится в Бахчисарайском районе Крыма на притоке р. Бельбек – р. Манаготре. Объем водохранилища составляет 11,8 млн м^3 [3].

Для расчета были выделены шесть створов на основном русле и четыре на крупных притоках. Створы распределены равномерно по всей длине реки, что позволило детально оценить ее стоковый потенциал (рисунок 1).

Расчет годового стока выполнен с учетом влияния различных факторов антропогенного преобразования. Основным таким фактором является наличие в среднем течении р. Бельбек большого количества подпорных гидротехнических сооружений, которые, образуя водоемы, перехватывают значительные объемы стока. Анализ данных стоковых гидрологических постов (гп) наглядно свидетельствует об этом (таблица 1). Так, на гп Куйбышево объем стока составляет 65,2 млн м^3 при площади водосбора 270 км^2, а на гп Фруктовое с площадью водосбора 493 км^2 объем стока составляет 65,5 млн м^3. При этом модуль стока на данном участке варьируется в пределах 7,8–4,2 м^3/(с·км^2).

Рисунок 1 – Линейная схема расположения расчетных створов на р. Бельбек и ее притоках

В таблице 2 приведены среднемноголетние гидрологические характеристики расчетных створов.

Таблица 2 – Расчетные среднемноголетние параметры годового стока р. Бельбек в разрезе створов

Расчетный параметр	Наименование створа									
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 6	Ст. б1	Ст. б2	Ст. б3	Ст. 7
Площадь водосбора, км^2	44	263,52	301,13	419,75	485,31	497,54	75,54	31,59	41,24	21,52
Коэффициент вариации *Cv*	0,72	0,42	0,42	0,42	0,45	0,45	0,42	0,42	0,45	0,72
Коэффициент асимметрии *Cs*	1,30	1,60	1,60	1,60	1,71	1,71	1,60	1,60	1,71	1,30
Среднемноголетние расходы воды, м^3/с	0,92	2,07	2,07	2,07	2,08	2,08	1,09	0,01	0,02	0,37
Среднемноголетние годовые объемы стока, млн м^3	17,58	65,08	65,26	65,32	65,43	65,51	34,26	0,43	0,56	11,52

Основной целью данной работы являлась количественная оценка стока р. Бельбек, степени его изменчивости по годам, месяцам и сезонам для выработки оптимальных решений по использованию местных водных ресурсов для вовлечения в сельскохозяйственный оборот дополнительных площадей орошения. Так как орошение является сезонным явлением, то для решения данной задачи необходимо знать внутригодовое помесячное распределение объемов стока.

Результаты, приведенные в таблице 2, были использованы для расчетов объемов годового стока с различной вероятностью превышения в разрезе створов.

Для обоснования внутригодового помесячного распределения стока использованы многолетние ряды наблюдений по гидропостам реки. Для лет с заданной вероятностью превышения с использованием метода компоновки были определены месячные доли объема стока и количественные значения последних.

С целью оценки водности реки годовой цикл формирования стока разбит на два периода: первый (июль – октябрь) – период потребности сельскохозяйственных угодий в орошении (маловодный); второй (ноябрь – март) – осенне-зимний период. Внутри годового цикла выделен период очень высокой потребности в орошении (очень маловодный). Распределение стока по месяцам при различной вероятности превышения с выделением первичных периодов приведено на рисунках 2–4.

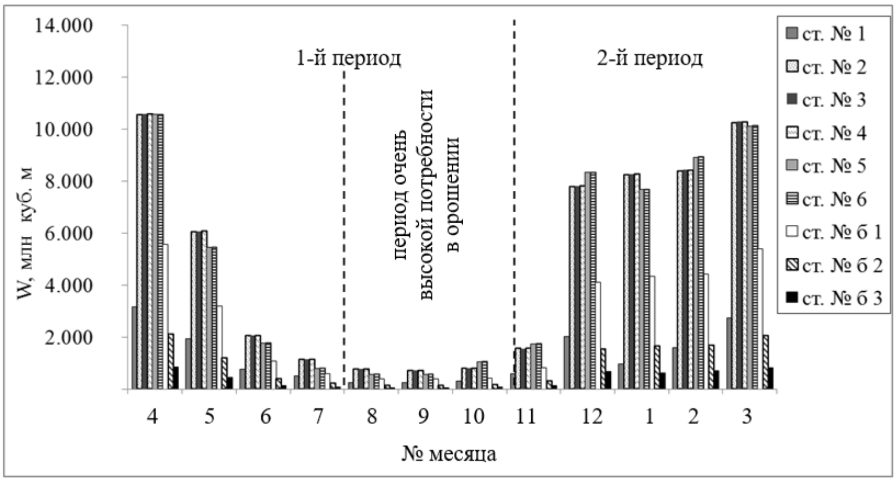


Рисунок 2 – Внутригодовое (помесячное) распределение объемов стока при 50 % вероятности превышения

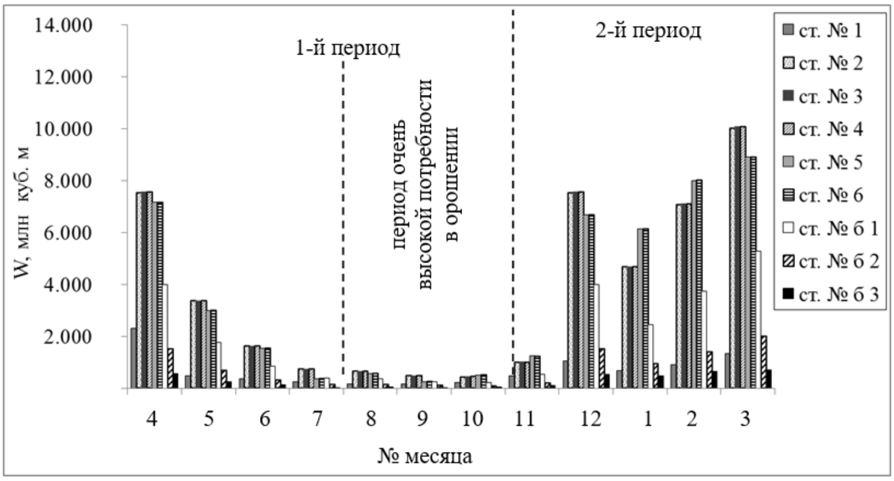


Рисунок 3 – Внутригодовое (помесячное) распределение объемов стока при 75 % вероятности превышения

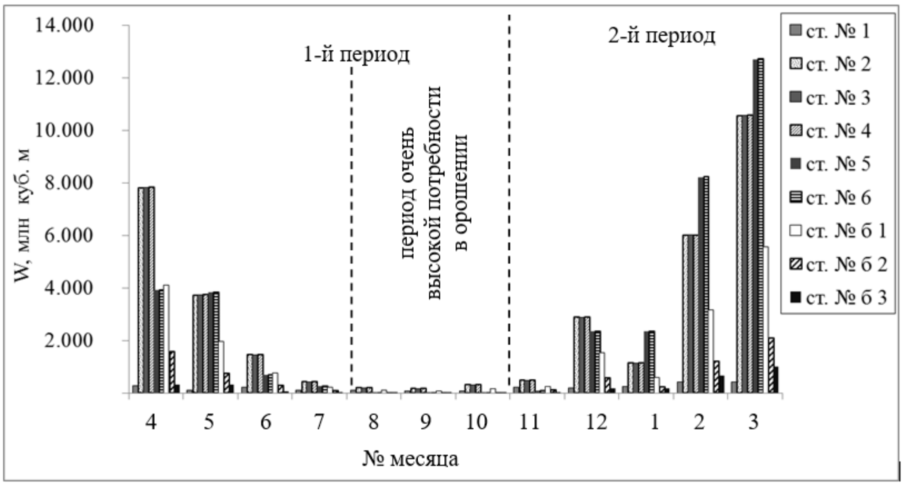


Рисунок 4 – Внутригодовое (помесячное) распределение объемов стока при 95 % вероятности превышения

В таблице 3 представлены количественные данные об объеме стока в каждый из выделенных периодов.

Таблица 3 – Объемы стока за маловодные периоды

В млн м^3

№ створа	Маловодный			Очень маловодный		
	50 %	75 %	95 %	50 %	75 %	95 %
Створ № 1	7,177	3,862	0,926	1,00	0,55	0,26
Створ № 2	22,061	14,841	14,036	2,61	1,88	0,78
Створ № 3	22,123	14,882	14,075	2,62	1,88	0,78
Створ № 4	22,142	14,895	14,088	2,62	1,88	0,78
Створ № 5	20,724	13,333	8,741	1,91	1,16	0,28
Створ № 6	20,749	13,349	8,752	1,91	1,16	0,28
Створ № б1	11,615	7,814	7,390	1,37	0,99	0,41
Створ № б2	4,385	2,950	2,790	0,52	0,37	0,16
Створ № б3	1,646	1,059	0,694	0,15	0,09	0,02

В результате расчета установлены основные гидрологические характеристики р. Бельбек для расчетных гидростворов, размещенных как в руслах рек, так и в их притоках. В качестве исходной информации приняты результаты наблюдений, выполненных гидрометеорологической службой, а также существующий справочно-нормативный материал.

Основные гидрологические характеристики установлены для годового стока и внутригодового (помесячного) его распределения с вероятностью превышения 50, 75 и 95 %.

Установлено, что среднегодовые расходы воды (в скобках – объемы стока) варьируют от 0,92 м^3/с (17,58 млн м^3) в верхнем течении (ст. 1) до 2,08 м^3/с (65,51 млн м^3) в среднем и нижнем течении (ст. 2–6). Коэффициенты водности годового стока для среднего течения 0,42–0,45, в верхнем течении возрастают до 0,72. Отношение коэффициентов асимметрии к коэффициентам вариации колеблется в пределах 2–3 и более.

Внутригодовое распределение стока носит сезонный характер, минимальный объем стока за месяц (50 % обеспеченности) по гидростворам варьирует в пределах 5,79–11,06 млн м^3. Максимальные месячные объемы приходятся на февраль-март. Минимальные месячные объемы стока 50 % обеспеченности приходятся на август-сентябрь и изменяются в пределах 0,44–1,16 млн м^3. Минимальные значения приходятся на верхнее течение, по длине реки месячные объемы возрастают, однако интенсивность возрастания существенно отстает от увеличения площади водосбора.

Во внутригодовом цикле стока р. Бельбек выделены периоды очень высокой потребности в орошении – периоды низкой водообеспеченности (июль – сентябрь). Отмеченный период характерен наиболее низкими расходами воды в реке. Среднемесячный расход воды 75 % обеспеченности в нижнем течении р. Бельбек составляет 0,20–0,25 м^3/с.

Результаты данного расчета послужили гидрологической основой при разработке имитационной модели.

Список использованных источников

1 Влияние агроклиматических ресурсов Республики Крым на оптимизацию размещения столовых сортов винограда / М. Н. Борисенко, В. И. Иванченко, Н. В. Баранова, Е. А. Рыбалко // Виноградарство и виноделие: сб. науч. тр. / ФГБУН «ВННИИВиВ «Магарач» РАН». – Ялта, 2016. – Т. 46. – С. 20–23.

2 Поверхностные водные объекты Крыма: справочник / сост. А. А. Лисовский, В. А. Новик, З. В. Тимченко, У. А. Губска; под ред. А. А. Лисовского. – Симферополь: Крымучпедгиз, 2011. – 242 с.

3 Счастливое водохранилище [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:rostovgid.ru/nature/lake/schastlivoe-vodohranilische.html, 2015.

УДК 519.87; 631.6; 631.95; 626.8

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

РАЗРАБОТКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МЕЛИОРАТИВНО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ НИЖНЕЙ КУБАНИ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В рамках исполнения государственного задания «Разработка модели водоресурсного обеспечения и информационных технологий управления водохозяйственными системами АПК», целью которого является оптимизация водообеспечения и водопользования гидромелиоративных систем водохозяйственного комплекса в условиях маловодья, была разработана гидродинамическая компьютерная модель в среде программного комплекса MIKE 11. Гидродинамическая модель включает: р. Кубань, рук. Протока, Тиховский и Федоровский гидроузлы, Краснодарское, Шапсугское, Крюковское и Варнавинское водохранилища, Варнавинский сбросной канал, Крюковский соединительный канал, водозаборы и водосбросы, обеспечивающие работу мелиоративных систем.

Ключевые слова: водообеспечение, водопользование, мелиоративно-водохозяйственный комплекс, водоресурсное обеспечение мелиоративных систем, гидродинамическое моделирование, MIKE 11, калибровка.

****

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

DEVELOPMENT OF A HYDRODYNAMIC MODEL FOR THE RECLAMATION WATER INDUSTRY COMPLEX MANAGEMENT OF THE LOWER KUBAN AT WATER RESOURCES SCARCITY

As part of the state task "Development of a model of water-supply and information technologies for managing water industry systems of agro-industrial complex", the purpose of which is to optimize water supply and water use of irrigation and drainage systems of a water-industry complex under low-water conditions, a hydrodynamic computer model in software complex MIKE 11 was developed. The hydrodynamic model includes the Kuban river, the Protoka, the Tikhovsky and Fedorovsky hydraulic works, the Krasnodarskiy, the Shapsugskiy, the Kryukovskiy and the Varnavinskiy reservoirs, the Varnavinskiy outlet channel, the Kryukovsky link canal, water intakes and spillways, ensuring the work of ameliorative systems.

Key words: water supply, water use, reclamation-water industry complex, water resource supply of reclamation systems, hydrodynamic modeling, MIKE 11, calibration.

Для регионов, испытывающих дефицит водных ресурсов, необходимо составлять на период вегетации прогнозную оценку водоресурсного обеспечения водопользователей в зависимости от их территориального расположения в бассейне реки и планируемых объемов водопотребления.

Водные ресурсы р. Кубани и ее притоков являются одним из главных жизнеобеспечивающих факторов для Краснодарского края. Они имеют очень высокую степень использования в хозяйственной деятельности, но ограничены по запасам.

В среднем и нижнем течении р. Кубани построены крупные оросительные и оросительно-обводнительные мелиоративные системы, предназначенные преимущественно для нужд рисосеяния. Значительная протяженность участка реки в нижнем ее течении подвержена влиянию Краснодарского, Крюковского и Варнавинского водохранилищ, Федоровского и Тиховского гидроузлов.

Особенностью регулирования стока р. Кубани является слабая предсказуемость поверхностного стока, который создает во время двух ярко выраженных половодий (зимнего и летнего) катастрофические ситуации, связанные с регулярными затоплениями. А в маловодные периоды при дефиците водных ресурсов в бассейне р. Кубани остро стоят проблемы выбора правил управления водохозяйственными системами.

В связи с этим большое значение имеет возможность заблаговременного компьютерного моделирования режимов работы гидроузлов при различной прогнозируемой гидрологической обстановке для принятия обоснованного решения по регулированию стоком и поиска вариантов оптимизации водообеспечения и водопользования гидромелиоративных систем мелиоративно-водохозяйственного комплекса Нижней Кубани.

Для решения этой оптимизационной задачи была создана имитационная компьютерная модель на базе программного комплекса MIKE 11, разработанного Датским гидравлическим институтом. Программный комплекс MIKE 11 – это профессиональный пакет программ для моделирования потоков (включая прорыв плотин), качества воды и транспорта наносов [1–4]. Благодаря модулю «Управляемые сооружения» модель сама подбирает такие сбросы из водохранилища, чтобы удовлетворить требования водопользователей, приоритетным является первое по номеру требование, введенное в модуль.

Для создания гидродинамической модели в среде MIKE 11 была разработана расчетная схема, которая включает гидрографическую сеть Нижней Кубани, водохранилища (Краснодарское, Шапсугское, Крюковское, Варнавинское), Федоровский и Тиховский гидроузлы, все места заборов и сбросов на каналах и насосных станциях оросительных систем.

При разработке модели использовались следующие материалы: карта М 1:100000 Нижней Кубани; план русел р. Кубани и рук. Протока М 1:100000 с нанесенными дамбами обвалования и границами населенных пунктов; продольные профили $М_{гор}$ 1:100000 и $М_{верт}$ 1:100; писанные профили около 200 поперечных сечений; кривые связи уровней и расходов воды $Q = f(H)$ для водомерных постов на р. Кубани и рук. Протока; правила эксплуатации Краснодарского, Варнавинского и Крюковского водохранилища; поперечные профили Крюковского соединительного канала от Абинского ЭмГУ; поперечные профили Варнавинского сбросного канала от Северского ЭмГУ; продольный профиль Варнавинского сбросного канала от Северского ЭмГУ [5–7].

Создание модели выполнялось в несколько этапов.

1 Оцифровка планового положения речной сети на карте-подложке Нижней Кубани, в процессе которой устанавливаются точные значения расстояний между соседними пикетами. На топографической основе была построена трасса р. Кубани, рук. Протока, вдхр. Краснодарского, Шапсугского, Крюковского, Варнавинского, Варнавинского сбросного канала, Крюковского соединительного канала.

2 Для каждого расчетного пикета вводятся координаты поперечных сечений, формируется их конфигурация и выполняется расчет всех гидравлических характеристик поперечных сечений для принятых уровенных режимов (площадь сечения, ширина по верху, гидравлический радиус, гидравлическая расходная характеристика).

3 Граничные условия: приточность и сбросы из водохранилищ, уровни воды в концевых створах р. Кубани и рук. Протока – Азовском море и Темрюкском заливе.

4 Начальные условия и базовые коэффициенты шероховатости, которые в дальнейшем уточнялись при калибровке модели. В процессе калибровки были получены адекватные наблюдениям русловые шероховатости и поправочные коэффициенты для вертикальной составляющей руслового потока по поперечникам.

5 Калибровка модели по имеющимся кривым Q/h в соответствующих водопостах для различных расходов (от 100 до 1700 м^3/с).

На первом этапе калибровки были подобраны базовые коэффициенты шероховатости по всей длине русла р. Кубани и рук. Протока. С этой целью использовались данные функций $Q = f(h)$ по водопостам для больших (400 и 1000 м^3/с) расходов. На втором этапе использовались данные функций $Q = f(h)$ по водопостам для малых (300 до 1700, 100 до 900, 150 до 900 м^3/с) расходов.

На рисунке 1 показана кривая свободной поверхности воды при варианте калибровки для расходов 500 и 200 м^3/с по р. Кубани.

В результате подбора поправочных базовых коэффициентов шероховатости невязка между фактическими наблюденными уровнями воды при заданном расходе и рассчитанными уровнями воды по модели не превышала ±5 см.

6 В разработанную модель вводятся гидротехнические сооружения:

- Краснодарское, Крюковское, Варнавинское и Шапсугское водохранилища задаются батиметрическими функциями для условного поперечника в верхнем бьефе гидроузла;
- Шапсугское водохранилище, находящееся в ближайшие пять лет на реконструкции, работает в настоящее время на прямотоке, т. е. сбросы с гидроузла в данной модели равны притоку к нему. Крюковское водохранилище также находится в транзите;
- Федоровский гидроузел и образуемая им подпорная призма задается поперечными сечениями;
- Тиховский вододелитель задается как управляемое сооружение и располагается на р. Кубани. При регулировании определяется расход воды, поступающий в Кубань. Остальная часть потока поступает в рук. Протока;
- водозаборы и водосбросы на оросительных системах.

На рисунке 2 представлена разработанная в среде MIKE 11 гидродинамическая модель Нижней Кубани с нанесенными поперечными сечениями и гидроузлами.

Для решения оптимизационной задачи сотрудниками ВНИИГиМ разработан следующий алгоритм:

- определяется посуточная прогнозная приточность к водохранилищам (на основе данных Гидрометцентра и СНИП 33-101-2003) [8];
- на основе графиков поливов, которые представляются в ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» по каждому филиалу раз в две недели, формируются требования для насосных станций;
- определяется множество вариантов приоритетов водопользователей;
- для каждого варианта приоритетов водопользователей формируются исходные данные для гидродинамической модели;
- по результатам моделирования для каждого варианта приоритетов определяется дефицит для насосной станции и водохранилища;
- из всех полученных дефицитов строится матрица решений и методом достижимых целей определяется набор границ Парето (рисунок 3). Визуализация результатов процесса принятия «оптимального» решения получена на разработанном в вычислительном центре им. А. А. Дородницына (автор А. В. Лотов) программном комплексе Pareto Front Viewer, реализующем метод достижимых целей [9];
- на основе обсуждения результатов лицом, принимающим решение, с водопользователями выбираем оптимальное решение, определяющее режимы работы водохранилищ;
- уточняются данные о приточности, водопользовании и режимах работы водохранилищ, после чего выполняется новый расчет (раз в две недели в течение всего периода вегетации).

На рисунке 4 приведены видеоматериалы, которые отражают процесс принятия решения на различных этапах обсуждения лицом, принимающим решение, с водопользователями.

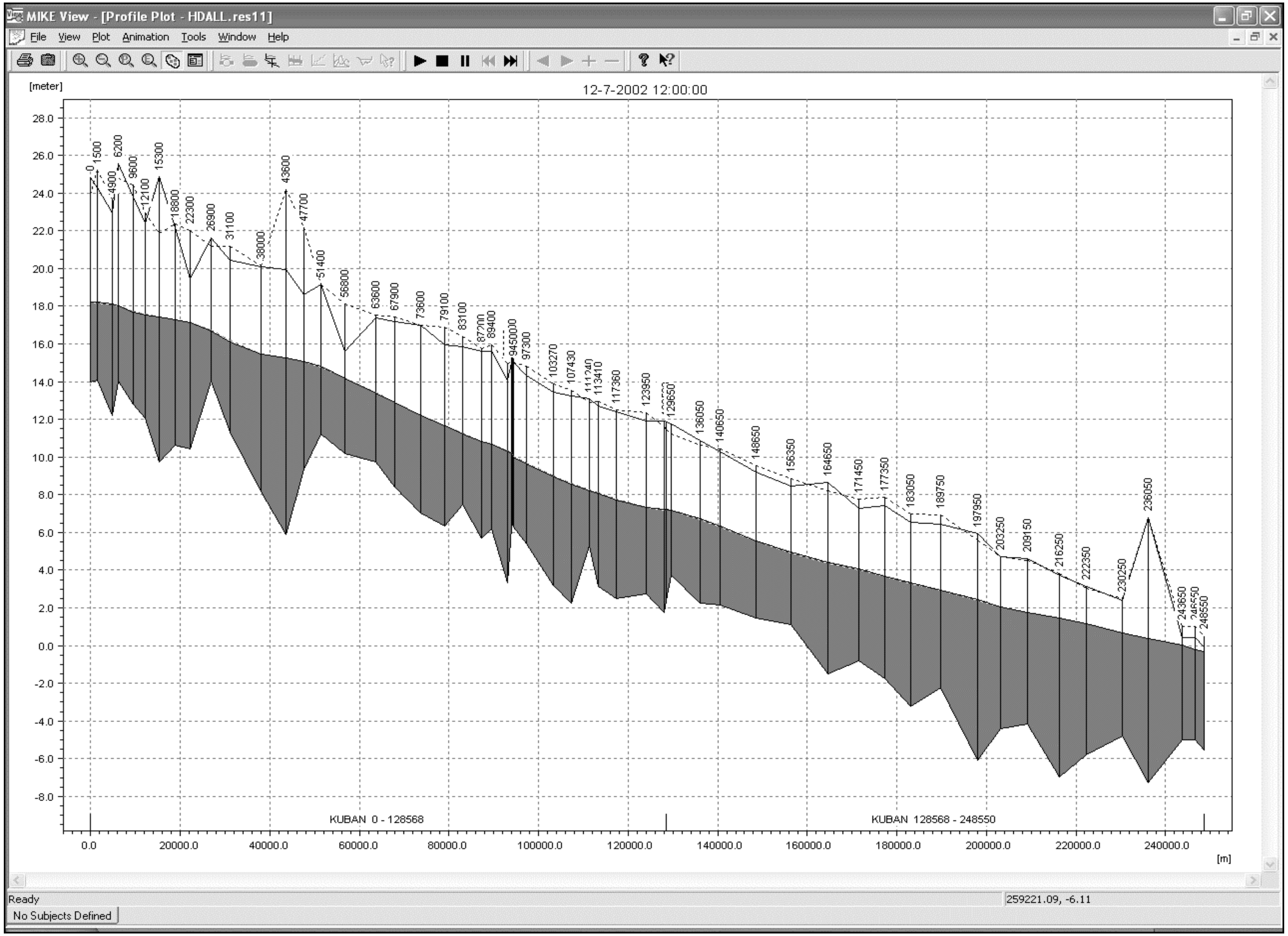


Рисунок 1 – Кривая свободной поверхности воды р. Кубани от Краснодарского водохранилища до Темрюка (расходы 500, 200 м^3/с)

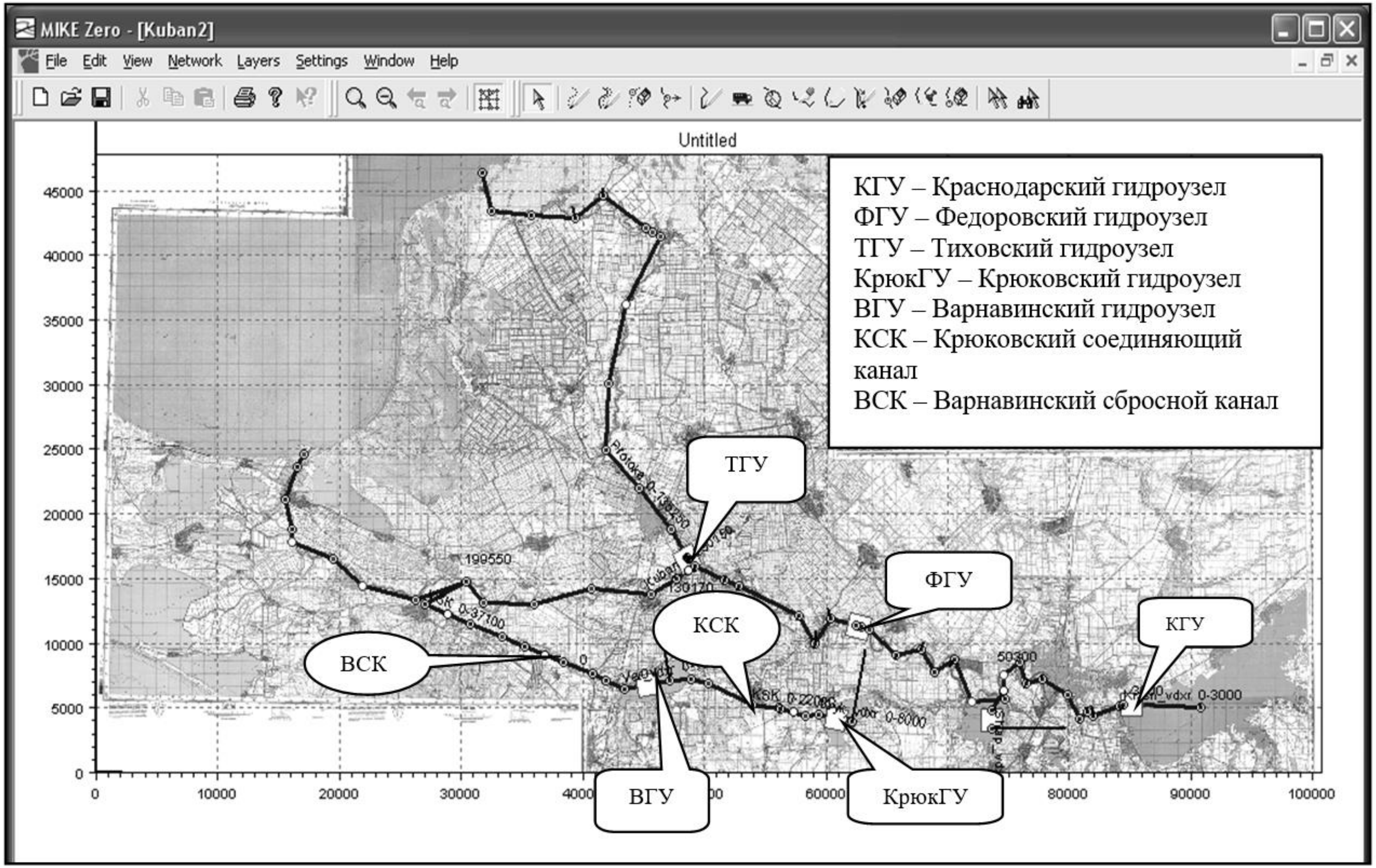


Рисунок 2 – Гидродинамическая модель Нижней Кубани

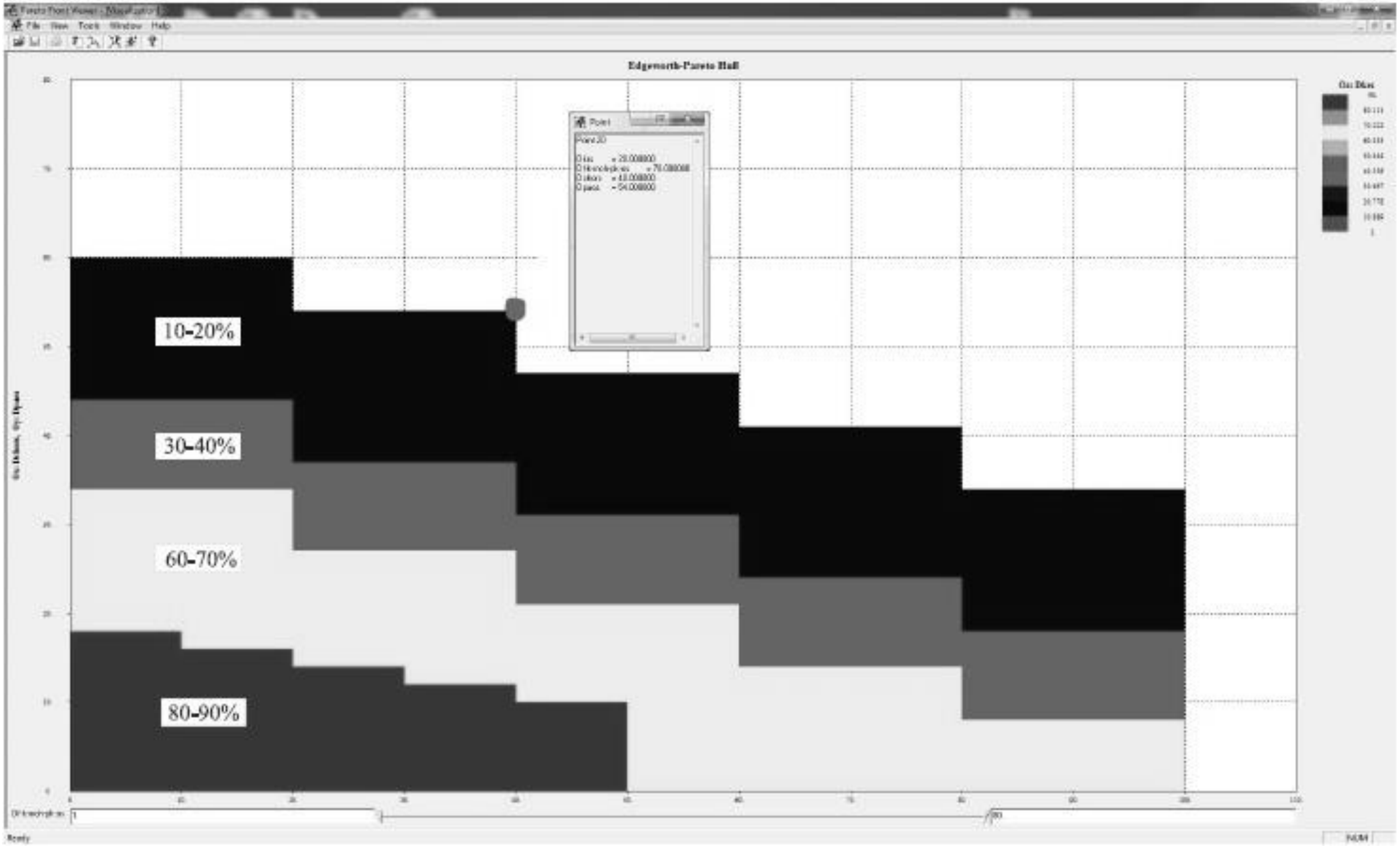


Рисунок 3 – Общая карта границ Парето (недоминируемых решений)

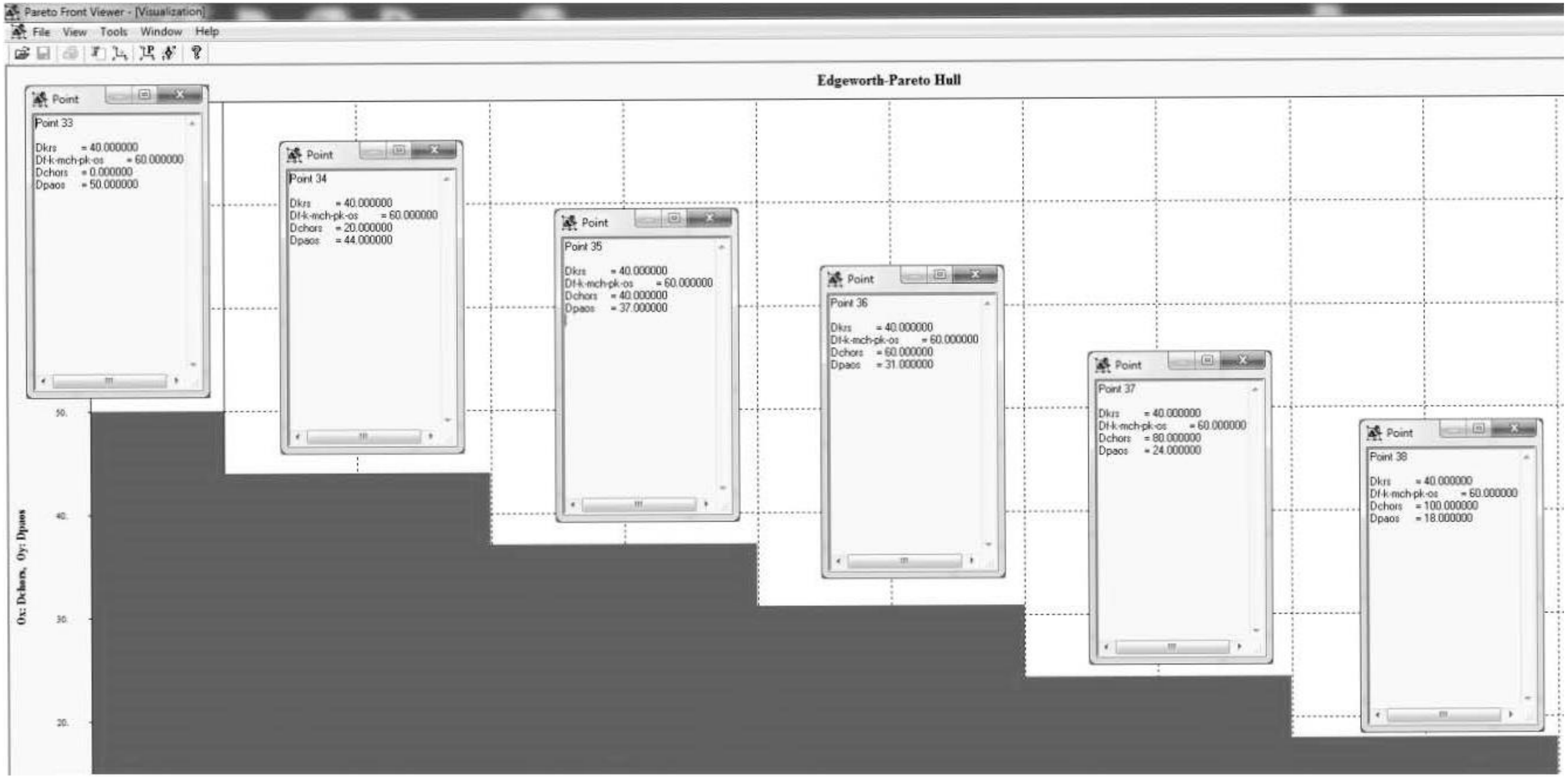


Рисунок 4 – Сработка Краснодарского водохранилища на 40–50 %

В представленном на рисунке 4 варианте разрешена сработка Краснодарского водохранилища на 40–50 %, комплекс из трех оросительных систем выше Федоровского гидроузла урезается на величину не более 60 % (Кубанская, Марьяно-Чебургольская и Понуро-Калининская оросительные системы). Тогда для Петровско-Анастасиевской и Черноерковской оросительной системы могут быть выбраны следующие варианты обеспеченности.

Наличие разработанной гидродинамической модели дает возможность использовать ее как инструмент для оптимального управления подачей воды на оросительные системы Нижней Кубани в период маловодья. Она позволяет оценить различные варианты выхода из сложившейся ситуации в режиме реального времени и принять наиболее приемлемое решение по обеспечению водой потребителей в период вегетации.

Список использованных источников

1 Бубер, А. Л. Использование гидродинамического компьютерного моделирования при анализе прохождения половодных, паводковых и прорывных волн в бассейнах рек / А. Л. Бубер, М. В. Болгов, А. А. Бубер // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Круглый стол: докл. и выступления, 17 сент. 2015 г. – М.: Антистихия, 2015. – С. 85–98.

2 Бубер, А. А. Разработка гидродинамической модели дельты реки Волга и Западных подстепных ильменей / А. А. Бубер, В. В. Бородычёв, А. А. Талызов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 2(46). – С. 271–284.

3 Компьютерное моделирование речных потоков. Теоретические основы / Науч. консалтинговая фирма «Волга». – М., 2013. – 79 с.

4 Компьютерное моделирование систем рек и каналов MIKE 11 / Науч. консалтинговая фирма «Волга». – М., 2013. – 47 с.

5 Бик, И. ван. Планирование и управление водохозяйственными системами. Введение в методы, модели и приложения: монография / И. ван Бик, П. Лаукс. – М.: Юстицинформ, 2009. – 660 с.

6 Основные положения Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Кубань / ОАО «Кубаньводпроект». – Краснодар, 2003. – 427 с.

7 Косолапов, А. Е. Водное хозяйство бассейна Азовского моря / А. Е. Косолапов, С. П. Воловик, А. В. Кувалкин. – Новочеркасск: НГМА, 2001. – 226 с.

8 Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СНиП 33-101-2003. – М.: Госстрой России, 2004. – 47 с.

9 Лотов, А. В. Компьютерная визуализация оболочки Эджворта – Парето и ее применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / А. В. Лотов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2003. – № 1. – С. 83–100.

УДК 631.67.03

С. М. Васильев, О. А. Матвиенко, Ю. Е. Домашенко
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДГОТОВЛЕННЫХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ НА ОРОШАЕМЫХ УЧАСТКАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Целью работы являлось проведение теоретических исследований применения подготовленных животноводческих стоков на орошаемых участках Ростовской области. Оптимальное содержание гумуса в почве (и степень проявления определенных функциональных свойств органических веществ) зависит от сочетания факторов поч-

вообразования и свойств почв, выращиваемой культуры и уровня ведения сельскохозяйственного производства. На основании теоретических расчетов определена норма внесения животноводческих стоков с физико-химическим составом, характерным для свиноводческих хозяйств, которая составила 225 м^3/га по азоту.

Ключевые слова: гумус, урожайность, оросительная норма, плодородие почв, черноземы.

****

S. M. Vasilyev, O. A. Matvienko, Yu. E. Domashenko
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

PECULIARITIES OF PREPARED LIVESTOCK WASTES APPLICATION ON IRRIGATED LANDS OF ROSTOV REGION

The aim of the research was to conduct theoretical studies on the prepared livestock wastes application in irrigated areas of Rostov Region. The optimum content of humus in soil (and the degree of demonstration of certain functional properties of organic substances) depends on the combination of soil formation factors and soil properties, cultivated crops and the level of farming. On the basis of theoretical calculations the rate for introduction the livestock-water effluents with physical-chemical composition typical for pig farms was determined as 225 m^3 per ha for nitrogen.

Key words: humus, yield, irrigation rate, soil fertility, chernozem.

Введение. В Ростовской области под орошение наиболее освоены обыкновенные (предкавказские и северо-приазовские) и южные черноземы. В основном они приурочены к долине р. Дон и его притоков, в результате чего около половины черноземов представлено остаточно-луговыми родами, характеризующимися исходным близким залеганием грунтовых вод (3–8 м), на водоразделах – глубже 15 м. В пределах Нижне-Донской оросительной системы при площади орошения 48,1 % на черноземы южные обыкновенные приходится 19,5 %, на черноземы южные остаточно-луговые с солонцами – 17,1 %, лугово-черноземные почвы однородные – 36,8 %, лугово-черноземные почвы с солонцами – 0,4 % [1].

Гумусовое состояние почв в контуре орошаемого участка можно оценить как нестабильное вследствие снижения количества гумуса за счет потерь кальция и развития процессов ощелачивания, осолонцевания и оглинивания. Интенсивная эксплуатация орошаемых агроландшафтов приводит к деградации плодородного слоя почвы, увеличению содержания фульвокислот и токсичных веществ при общей тенденции к сокращению количества питательных элементов [2, 3].

Наиболее эффективным способом повышения плодородия почв и увеличения содержания гумуса является внесение животноводческих стоков. Как показали исследования Л. М. Докучаевой, содержание гумуса в предкавказских черноземах после первого года внесения составило: при норме внесения 60 т/га – 3,87 %, при норме 100 т/га – 4,2 %. Также наблюдался рост содержания кальция в почвенном поглощающем комплексе [4].

Целью работы являлось проведение теоретических исследований применения подготовленных животноводческих стоков на орошаемых участках Ростовской области.

Материалы и методы. В ходе проведения теоретических исследований применялись аналитический, синтетический, сравнительный и логический методы. Использовались методики и подходы, рассмотренные в работах Н. С. Скуратова [2], Л. М. Докучаевой [4], В. А. Никитина, В. И. Дмитриевой [5] и др.

Результаты и обсуждение. Гипотеза о том, что животноводческие стоки главным образом состоят из органических соединений и при их разложении образуется гумус, выдвинута Тэером в 1797 г. В 1808 г. он высказал мысль, что «плодородие почвы в значительной мере зависит от него (гумуса) так как, за исключением воды, гумус является единственным материалом, доставляющим питательные вещества растениям» [6].

Зауэрланд (Sauerlandt) установил, что при внесении каждые четыре года на 1 га 30 т животноводческих стоков в почву поступает ежегодно 550 кг лигнина. Растительные остатки дают еще дополнительно 300–500 кг лигнина. Содержание гумуса в почве в среднем составляет 2 %, что в сумме дает 60 т/га. Если принять, что ежегодно разлагается 5 % гумуса, то это составит 3 т/га. Как видно из изложенного, только треть этой потери может быть возмещена лигнином навоза и растительных остатков. Эти предположения указывают на то, что должен существовать еще другой источник гумуса кроме лигнина, поэтому представленные ранее результаты не оставляют никакого сомнения в том, что другие составные части животноводческих стоков и растительных остатков также участвуют в создании гумуса либо непосредственно в форме гемицеллюлоз, жиров и протеинов, либо косвенно, путем микробиального синтеза [6].

В гумусе в значительных количествах встречаются следующие четыре группы веществ [6]:

- жиры, воск и смолы, или вещества, растворимые в эфире, алкоголе, бензоле, хлороформе и других аналогичных растворителях. В количественном отношении эта группа является наименьшей, хотя в нее входят кроме вышеуказанных веществ еще стерины, многоатомные алкоголи, жирные кислоты, танины, пигменты и другие подобные соединения;
- углеводы и родственные им вещества. Сюда относятся различные полисахариды: целлюлоза, пентозаны, галактаны, мапиапы и полиурониды растительного и микробного происхождения, крахмал, сахара и глюкозиды;
- протеины и их производные. Эта группа включает настоящие протеины, протеозы и пептоны, аминокислоты, амины, различные основания пуринового, пиридинного и пиримидинового характера и еще ряд других органических азотистых соединений;
- лигнины и их производные. В эту группу входят не только настоящие лигнины высших растений, но и соединения, обладающие свойствами лигнина, как, например, лигниноподобные комплексы, находящиеся во мхах, водорослях и грибах. Они характеризуются нерастворимостью в концентрированных кислотах (72–80 % H_2SO_4, 42 % HCl), растворимостью в щелочах, кольчатым строением молекулы, быстрой окисляемостью различными химическими веществами, различным содержанием метоксила (OCH_3).

Есть определенные данные, указывающие на то, что большая часть этих соединений находится в гумусе не в свободном состоянии, а представляет различные соединения, в которые могут входить и основания почвы. Одни из этих веществ являются определенными химическими индивидуумами, другие же (336, 385) – коллоидными комплексами. Некоторые неорганические вещества, такие как P, S, Fe, Ca и Mg, составляют значительную часть гумуса, иногда даже большую, чем в растительных, животных или микробных веществах.

Так как относительные количества различных органических составных частей гумуса находятся под влиянием ряда факторов, включая климатические и почвенные условия, можно было бы ожидать, что химический состав гумуса и отношение C:N будут различны в тех случаях, когда различны эти факторы.

Гумус черноземов характеризуется малой величиной отношения углерода к азоту, равной приблизительно 10:1, более высоким содержанием лигнинов и протеинов, меньшим количеством как целлюлозы, так и гемицеллюлоз [7].

Оптимальное содержание гумуса в почве (и степень проявления определенных функциональных свойств органических веществ) зависит от сочетания факторов почвообразования и свойств почв, выращиваемой культуры и уровня ведения сельскохозяйственного производства. Оптимальные значения определяются экологическими и экономическими ограничениями [8].

В 70-е гг. прошлого века были разработаны простые методы определения потребности в органическом веществе [9]. На основе обобщения многочисленных результатов длительных полевых опытов были разработаны нормативы для определения потребности почв в органическом веществе в зависимости от вида почв и культур («Reproduktionswinksamer Organischer Substanz» – ROS) (таблица 1).

Таблица 1 – Нормативы для определения потребности в органическом веществе в зависимости от вида возделываемых культур

В т/(га·год)

Культура	Почва			
	песчаная, иловато-песчаная	супесчаная, легкосуглинистая	суглинистая и глинистая	чернозем
Сахарная свекла, картофель, овощи	–3,6	–4,0	–4,4	–2,9
Кукуруза	–2,7	–3,0	–3,3	–2,2
Зерновые, масличные	–1,4	–1,5	–1,6	–1,1
Рожь на зеленый корм	–0,9	–1,0	–1,1	–0,7
Промежуточные	+0,5	+0,5	+0,6	+0,6
Зернобобовые	+0,9	+1,0	+1,1	+1,1
Подпокровный подсев многолетних трав (хорошо развитый)	+1,8	+2,0	+2,2	+2,2
Многолетние травы (клевер, люцерна, злаковые травы)	+2,7	+3,0	+3,3	+3,3

В качестве стандарта была использована сухая масса подстилочного навоза, 1 т которой соответствует 1 т ROS. При использовании других органических удобрений покрытие потребности осуществляется с помощью поправочных коэффициентов, которые учитывают неодинаковое влияние различных органических удобрений на воспроизводство гумуса в почвах (таблица 2) [10].

Таблица 2 – Коэффициенты для пересчета ROS в органические удобрения естественной влажности

Органическое удобрение	Коэффициент
Подстилочный навоз, твердая фракция бесподстилочного навоза	5
Бесподстилочный навоз с 8 % сухого вещества	25
Бесподстилочный навоз с 4 % сухого вещества	50
Солома	1,5
Зеленое удобрение (надземная масса)	25
Компост из бытовых отходов	5,5
Осадок сточных вод	10
Торф, торфяные компосты	4,5

В практике отечественных мелиораций определение требуемой дозы органического вещества, содержащегося в животноводческих стоках, основывается на двух расчетных методах:

- по величине планируемого урожая с учетом естественного плодородия почв;
- по выносу питательных элементов с прибавкой урожая.

Подробнее остановимся на втором методе, так как в первую очередь необходимо восполнить потери биогенных элементов и не создать условия для избыточного внесения биогенных элементов, способствующие накоплению гумуса.

Определение годовых норм внесения животноводческих стоков по выносу питательных веществ с прибавкой урожая проводится по формуле, предложенной В. А. Никитиным, В. И. Дмитриевой [5]:

$$M_{\text{п.ж}} = \frac{B_{n.i}}{K_1 \cdot K_2 \cdot C_1},$$

где $B_{n.i}$ – вынос азота, фосфора и калия с планируемой прибавкой урожая, кг/га;

K_1 – коэффициент использования питательных веществ растениями из удобрений;

K_2 – коэффициент, учитывающий потери аммиачного азота, фосфора и калия из животноводческих стоков в процессе полива, принимается равным соответственно 0,85; 1,0 и 1,0;

C_1 – содержание питательных веществ в животноводческих стоках, кг/м^3.

Рассмотрим норму внесения животноводческих стоков со следующим физико-химическим составом, характерным для свиноводческих хозяйств: азота общего – 0,15 %; фосфора – 0,03 %; калия – 0,06 %. Планируется прибавка урожая кукурузы (зеленной массы) 450 ц/га, при этом из почвы будет вынесено 180 кг азота, 90 кг фосфора и 225 кг калия. В сложившихся условиях годовая норма внесения животноводческих стоков составит:

- по азоту: $M_{\text{п.ж}} = \frac{180}{10 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}15} = 235$ м^3/га;

- по фосфору: $M_{\text{п.ж}} = \frac{90}{10 \cdot 0{,}6 \cdot 1 \cdot 0{,}03} = 500$ м^3/га;

- по калию: $M_{\text{п.ж}} = \frac{225}{10 \cdot 0{,}6 \cdot 1 \cdot 0{,}06} = 625$ м^3/га.

В данном случае годовая норма внесения животноводческих стоков принимается по азоту, и она составит 225 м^3/га.

Выводы

1 На основании проведенных теоретических исследований установлено, что гумус черноземов характеризуется малой величиной отношения углерода к азоту, равной приблизительно 10:1, более высоким содержанием лигнинов и протеинов, меньшим количеством как целлюлозы, так и гемицеллюлоз.

2 Оптимальное содержание гумуса в почве (и степень проявления определенных функциональных свойств органических веществ) зависит от сочетания факторов почвообразования и свойств почв, выращиваемой культуры и уровня ведения сельскохозяйственного производства.

3 Годовые нормы внесения животноводческих стоков рекомендуется определять по выносу питательных веществ с прибавкой урожая, так как это позволит восполнить потери биогенных элементов и не создать условия для избыточного внесения биогенных элементов, способствующие накоплению гумуса.

4 На основании теоретических расчетов определена норма внесения животноводческих стоков с физико-химическим составом, характерным для свиноводческих хозяйств, которая составила 225 м^3/га по азоту.

Список использованных источников

1 Влияние орошения на свойства черноземов Северного Кавказа. Мелиорация и водное хозяйство: обзор. информ. / А. Т. Лисконов, В. А. Омельяненко, Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева. – М.: ЦБНТИ Минстроя СССР, 1990. – 50 с.

2 Эколого-мелиоративные приемы исключения негативных явлений при орошении черноземов водами неблагоприятного состава / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева,

А. Н. Скуратов, О. Ю. Шалашова // Проблемы мелиорации в условиях рыночной экономики. – 1999. – С. 83–89.

3 Ясониди, О. Е. Орошение и засоление почв / О. Е. Ясониди, В. Д. Гостищев // Проблемы мелиорации в условиях рыночной экономики. – 1999. – С. 77–83.

4 Основные принципы подхода к разработке технологий, сохраняющих и восстанавливающих плодородие черноземов / Л. М. Докучаева, Н. С. Скуратов, Г. С. Кулинич, М. Е. Сыпко // Орошаемые черноземы и их рациональное использование. – Новочеркасск, 1990. – С. 11–18.

5 Никитин, В. А. Нормы внесения животноводческих стоков на поля орошения / В. А. Никитин, В. И. Дмитриева // Гидротехника и мелиорация. – 1977. – № 1. – С. 107–111.

6 Ваксман, С. А. Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе / С. А. Ваксман. – М.: Сельхозгиз, 1937. – 470 с.

7 Черноземы СССР. Т. 1 / под ред. В. М. Фридланда. – М.: Колос, 1974. – 560 с.

8 Кёршенс, М. Органическое вещество почвы: динамика – воспроизводство – экономически и экологически обоснованные показатели / М. Кёршенс, Е. Шульц // Методы исследований органического вещества почв. – М.: Россельхозакадемия – ВНИПТИОУ, 2005. – С. 43–86.

9 Empfehlungen zur effektiven Versorgung der Boden mit organischer Substanz / Akademie der Landwirtschaftswissenschaft der DDR. – Leipzig, 1977.

10 Савич, В. И. Агрономическая оценка гумусового состояния почв / В. И. Савич, Е. В. Трубицина, Ж. Норовсурен // Методы исследований органического вещества почв. – М.: Россельхозакадемия – ВНИПТИОУ, 2005. – С. 17–29.

УДК 631.16

С. А. Манжина
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация
Д. В. Белых
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация;
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ СОЗДАНИЯ НА ИХ БАЗЕ АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПАРКОВ С СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКОЙ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ)

Целью исследования являлся анализ возможности применения гибридного электроснабжения перекачивающих воду насосных станций на примере Пригородной оросительной системы Краснодарского края, где в связи с орографическими условиями местности наблюдается высокая энергоемкость орошения, которая при сложившихся тарифах на электроэнергию и ценах на сельскохозяйственную продукцию уменьшает рентабельность орошаемого земледелия. Выходом из этой ситуации может стать использование альтернативных источников энергии – солнечных батарей для обеспечения электричеством перекачивающих воду насосных станций. По нашему мнению, для обеспечения бесперебойной работы последних существует технологическая возможность гибридного энергообеспечения, что обеспечит уровень рентабельности проектов до 7 %. Организация гибридного электроснабжения насосного оборудования мелиоводхозов будет осуществляться на принципах государственно-частного партнерства в рамках реализации проектов агромелиоративных парков.

Ключевые слова: оросительная система, тариф на электроэнергию, солнечный генератор электроэнергии, оросительный канал, насосная установка.

****

S. A. Manzhina
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation
D. V. Belykh
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation;
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

INCRESING THE ENERGY EFFICIENCY OF RECLAMATION SYSTEMS WITHIN THE FRAME OF CREATION AGRO-RECLAMATION PARKS WITH SOLAR ENERGY ON THEIR BASE (ON THE EXAMPLE OF KRASNODAR TERRITORY)

The purpose of the research was to analyze the possibility of using a hybrid electric supply of pumping stations pumping water by the example of the Prigorodnaya irrigation system of Krasnodar Territory, where due to the orographic conditions of the area there is a high energy intensity of irrigation, which with the current tariffs for electricity and prices for agricultural products reduces the profitability of irrigated farming. The way out of this situation can be the use of alternative sources of energy – solar cells to provide electricity pumping stations pumping water. In our opinion, to ensure uninterrupted operation of the latter there is a technological possibility of hybrid power supply which will ensure the level of projects profitability to 7 %. The organization of hybrid power supply for the pumping equipment of water reclamation industries will be performed on the principles of public-private partnership in the frame of agroreclamation park projects implementation.
Keywords: irrigation system, electricity tariff, solar energy generator, irrigation canal, pumping unit.

Введение. Орошаемое земледелие особо широко распространено в южных регионах страны, где в силу сложившегося водного баланса территорий получение стабильно высоких урожаев ряда сельскохозяйственных культур возможно только на поливных землях. С этой целью в Дагестанской, Адыгейской и Чеченской республиках, Краснодарском и Ставропольском краях, Ростовской, Волгоградской, Астраханской и других областях были созданы системы орошения – мелиоративные системы. На оросительных системах страны для транспортировки воды в большинстве случаев применяется энергоемкое насосное оборудование, работа которого в течение поливного сезона ведет к значительному удорожанию услуги по подаче воды ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению. Так, например, стоимость услуги по подаче воды в Краснодарском крае с 2010 г. по настоящее время выросла в 3,7 раза и составила в текущем году порядка 5,5 тыс. руб./га орошаемых площадей. В свою очередь стоимость сельскохозяйственных культур изменилась за этот период в среднем в 2 раза (рисунок 1).

Наибольшую актуальность проблема энергоемкости водоподачи приобретает в рамках рисоводства, которое является наиболее водоемким растениеводством в условиях нашей страны. С учетом специфики оросительных систем Краснодарского края, где подача воды осуществляется при помощи перекачивающих насосных станций, возделывание риса является энергозатратным мероприятием, что сказывается на его рентабельности. Так, с 2012 по 2017 г. тарифы на электроэнергию выросли практически на 64 %, что повлекло увеличение платежей ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» за электроэнергию, потребляемую в процессе оказания услуг по подаче воды на рисовые оросительные системы, в 1,7 раза.

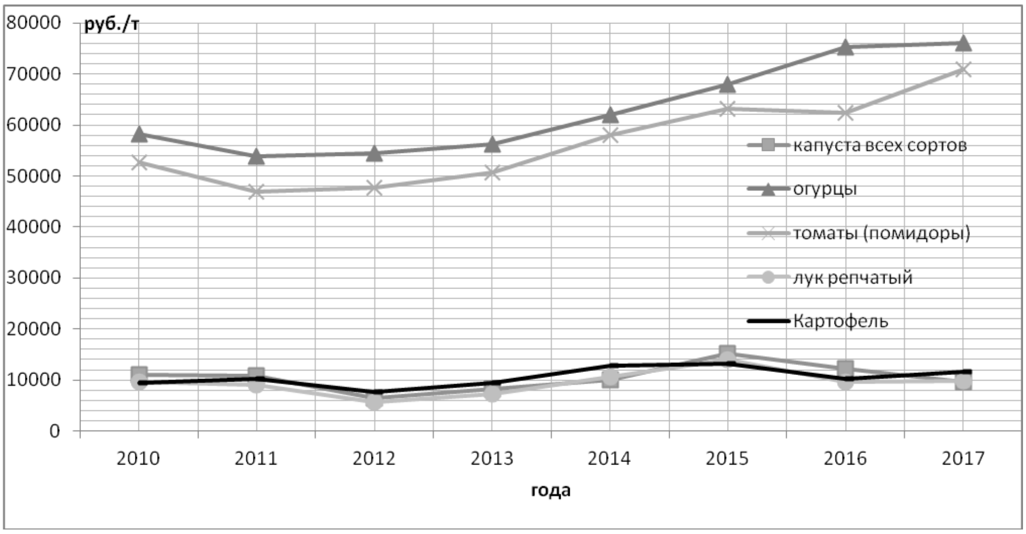


Рисунок 1 – Динамика средних цен производителей овощей за период 2010–2017 гг.

При этом в структуре платежей рисоводов затраты на электроэнергию за рассматриваемый период выросли с 69 % в 2012 г. до 98 % в 2017 г., а затраты на орошение превысили 10 % в себестоимости риса-сырца. С учетом нестабильного уровня цен на сельскохозяйственную продукцию, и в частности падения за последние годы цен на рис, рентабельность производства этой культуры снизилась по сравнению с 2015 г. в 3 раза (рисунок 2).

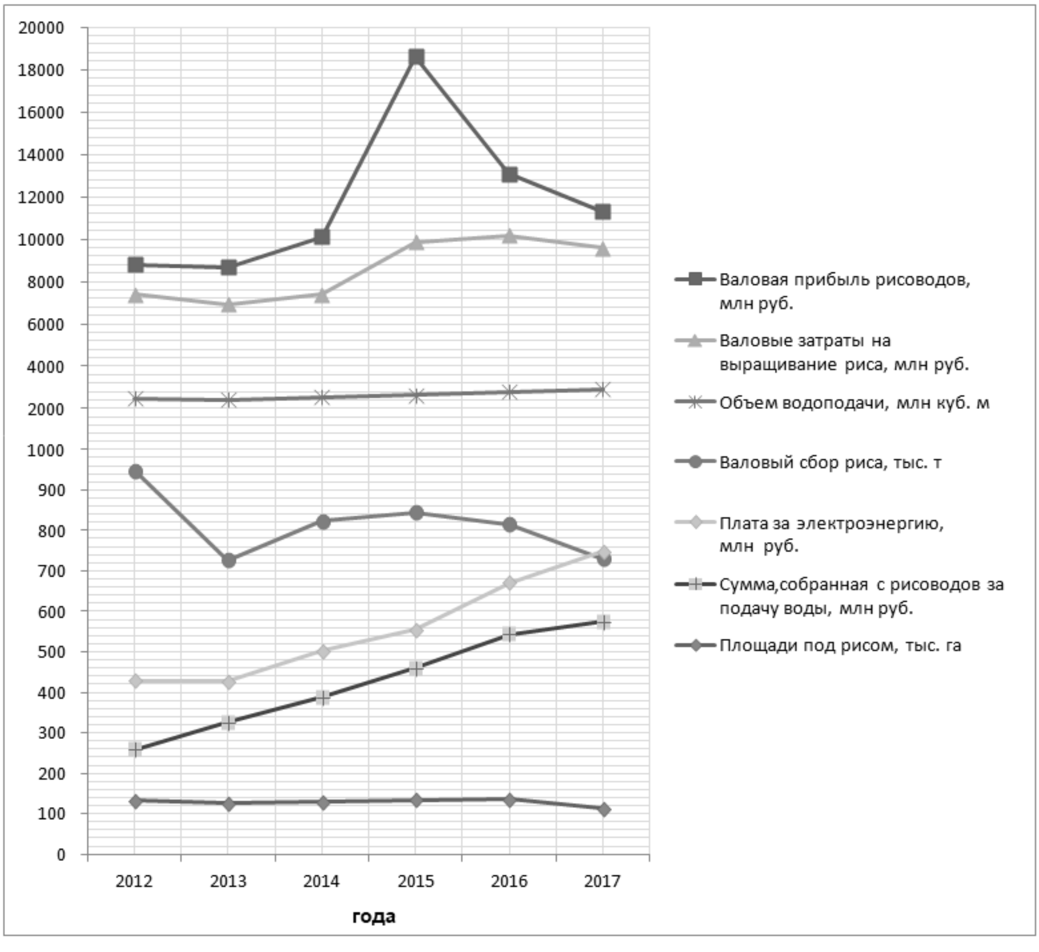


Рисунок 2 – Статистика показателей рисоводства Краснодарского края по годам

Материалы и методы исследования основывались на данных статистических отчетов Росстата, МСХ РФ, данных ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз», материалах интернета, трудах отечественных ученых.

Результаты и обсуждение. В целях понижения себестоимости продукции, выращенной на орошаемых землях Краснодарского края, нами рассмотрен вариант частичной замены электроэнергии, полученной из электросетей, электроэнергией, генерированной фотоэлектрическим способом при помощи солнечных батарей, установленных непосредственно над руслом оросительного канала вблизи перекачивающей насосной станции, на примере Пригородной оросительной системы Краснодарского края (таблица 1) [1–3].

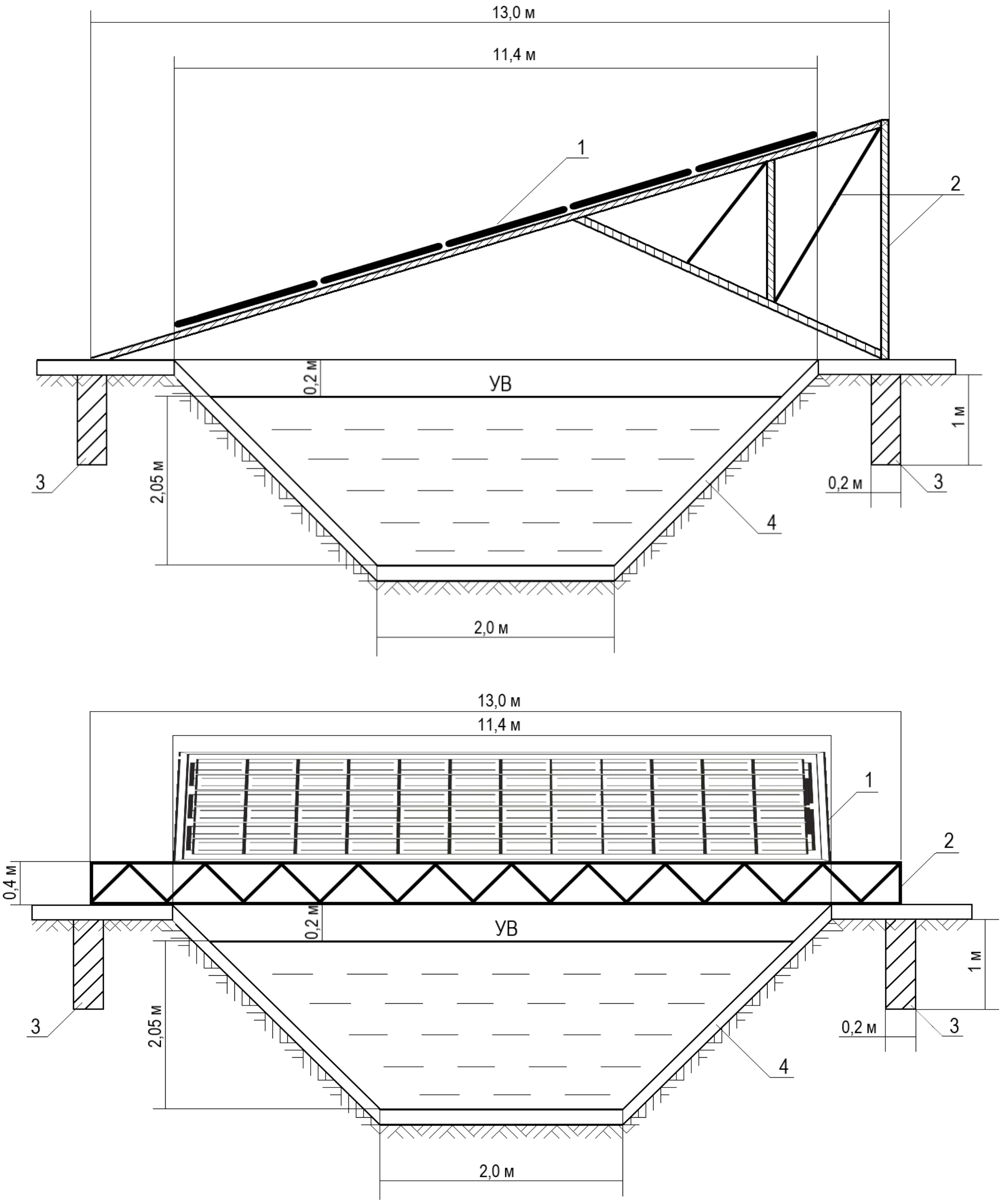
Таблица 1 – Основные характеристики пилотных проектов Индии (Гуджарат) и России (Краснодарский край)

Наименование показателя	Пилотный проект, Индия (штат Гуджарат)		Проект с разным типом СП[1], Россия (Краснодарский край)	
	1 МВт (Cананд)	10 МВт (Вадодара)	КСМ-200 (РФ)	CHN 200W-72M (КНР)
Характеристика канала				
Длина, покрытая СП, м	750	3600	6702	6693
Ширина дна канала, м	3,5	5,5	1,5–2,0	1,5–2,0
Глубина канала, м	1,6	3,7	1,85–2,04	1,85–2,04
Заложение откосов	1:1,5	1:1,5	1:2	1:2
Максимальная ширина русла канала по верху, м	8,3	20,2	12,0	12,0
Облицовка канала	бетонное покрытие	бетонные плиты	бетонная облицовка	бетонная облицовка
Свободный бортик опоры СП, м	0,6	0,9	0,5	0,5
Характеристика конструкции из СП				
Размер СП, мм	1000 × 2000	1956 × 992 × 40	1586 × 806 × 35	1580 × 808 × 35
Количество СП, шт.	3616	33816	8740	8740
Общая площадь СП, м^2	7232	65615	11172,41	11157,83
Получаемая мощность, МВт: - от солнечных панелей - от электросетей	 1,6 в год –	 16,2 в год –	 2721,6 за сезон (1557 ч) 3033,31	 2721,6 за сезон (1557 ч) 3033,31
Стоимость электроэнергии в регионе, у. е.[2]	0,07	0,07	0,09	0,09
Стоимость проекта, у. е.	2800000[3]	18300000[3]	5136452	3664840
Общая экономия электроэнергии, у. е.[4]	–	–	11109294,01	12433744,81
Чистая экономия, у. е.	–	–	5972042,01[5] 5972842,01	8768104,81[5] 8768904,81
Срок окупаемости, лет	–	13	22	17

[1]СП – солнечные панели; [2]у. е. – 62 российских рубля; [3] – стоимость проекта приведена к долл.; [4] – суммарно за 30 лет; [5] – с учетом замены инвертера через 15–20 лет.

За основу были взяты реализованные проекты в штате Гуджарат (Индия) [4, 5]. В качестве потребителей выработанной энергии рассматривался сезонный вариант: в поливной период – насосное оборудование перекачивающей воду насосной станции, вне поливного периода – энергоснабжение теплицы.

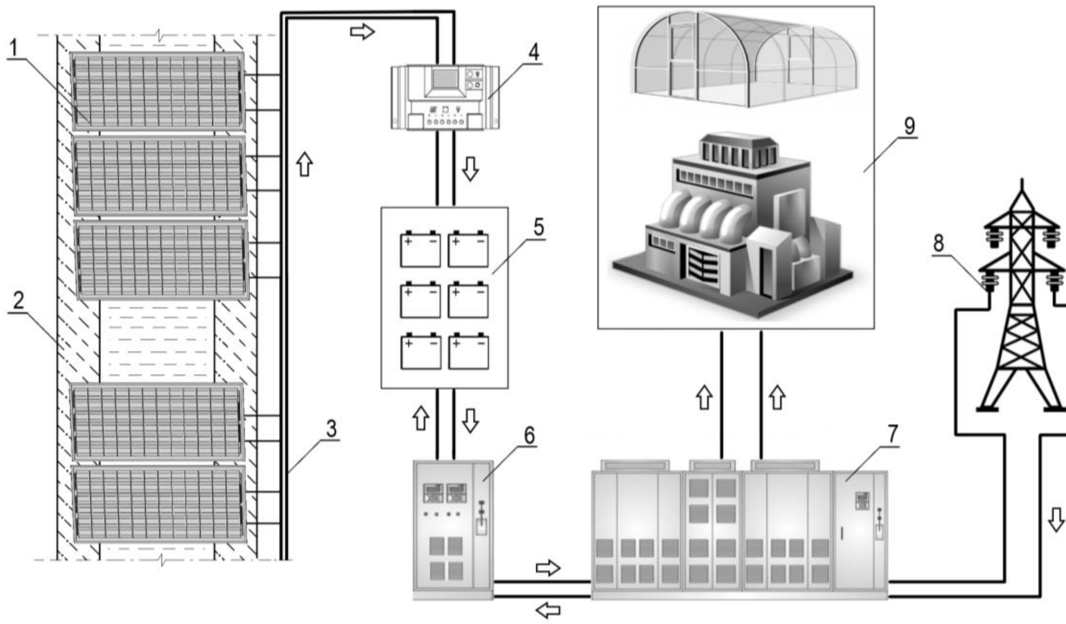
Типы размещения солнечных элементов варьируются в зависимости от ориентации русла канала по отношению к южному направлению (рисунок 3). Оптимальный угол наклона солнечных панелей в зависимости от интенсивности инсоляции территории и угла падения солнечных лучей определен в 35°, ориентация в южном направлении.



1 – солнечные панели; *2* – поддерживающая конструкция (ферма);
3 – фундамент; *4* – облицовка канала

Рисунок 3 – Схемы размещения солнечных панелей в зависимости от ориентации русла канала относительно юга

Схема размещения необходимого оборудования для гибридного энергообеспечения водоподающей насосной станции организации приведена на рисунке 4.



1 – солнечные панели; *2* – площадка для размещения опор солнечных панелей; *3* – токопроводящая система; *4* – контроллер; *5* – аккумулятор; *6* – инвертор; *7* – трансформатор; *8* – линии электропередач; *9* – сезонные потребители электроэнергии (насосная станция и теплица)

Рисунок 4 – Схема размещения оборудования для обеспечения гибридного энергоснабжения оборудования насосной станции и зимней теплицы

На основе полученных в рамках проекта на Пригородной оросительной системе технико-экономических данных был сделан расчет ежегодного объема экономии денежных средств, который возникнет при замене стандартного энергоснабжения гибридным, т. е. с частичной заменой электроэнергии, получаемой от электросетей, электроэнергией, выработанной из солнечной энергии. Расчет велся, исходя из полного объема капитальных затрат, с учетом ожидаемого роста тарифов на традиционный вид электроэнергии в пределах 7 % в год, что соответствует среднему уровню инфляции в России за последние 10 лет (рисунки 5, 6). Стоимость 1 кВт в базовом году была принята на уровне 2018 г. и составила 0,09 у. е. (1 у. е. = 62 руб.). При расчете учитывалось потребление выработанной панелями электроэнергии только на нужды насосной станции в поливной сезон, без синергического эффекта от дополнительной продажи электроэнергии или выращенной в закрытом грунте продукции.

В результате анализа экономического эффекта по обоим вариантам проекта в течение 30 лет после реализации выяснено, что при применении солнечных панелей КСМ-200 внутренняя норма доходности (IRR) составит 3,95 %, а при использовании CHN 200W-72M – 6,94 %. Расчет себестоимости электроэнергии, произведенной солнечными панелями, по методу Levelised Cost of Energy (LCOE) показал, что в первом случае она будет на уровне 0,10 у. е./кВт, а во втором – 0,07 у. е./кВт [6–8].

Проанализировав варианты инвестиционного участия в реализации данного проекта, мы сделали вывод о возможности создания на базе территориальных ФГБУ по мелиорации агромелиоративных парков, интегрирующих структуру мелиоративных систем и сельскохозяйственного производства. Необходимые финансовые активы для создания этих парков могут быть сформированы за счет привлечения частного капитала в рамках партнерской программы ГЧП. При этом одной из сторон ГЧП будет выступать государство в качестве заинтересованного лица и собственника межхозяйственных оросительных систем, а другой – заинтересованные юридические лица, например сельскохозяйственные кооперативы, участники которых имеют интерес в уменьшении стоимости услуг по подаче воды к их внутрихозяйственным оросительным системам [9].

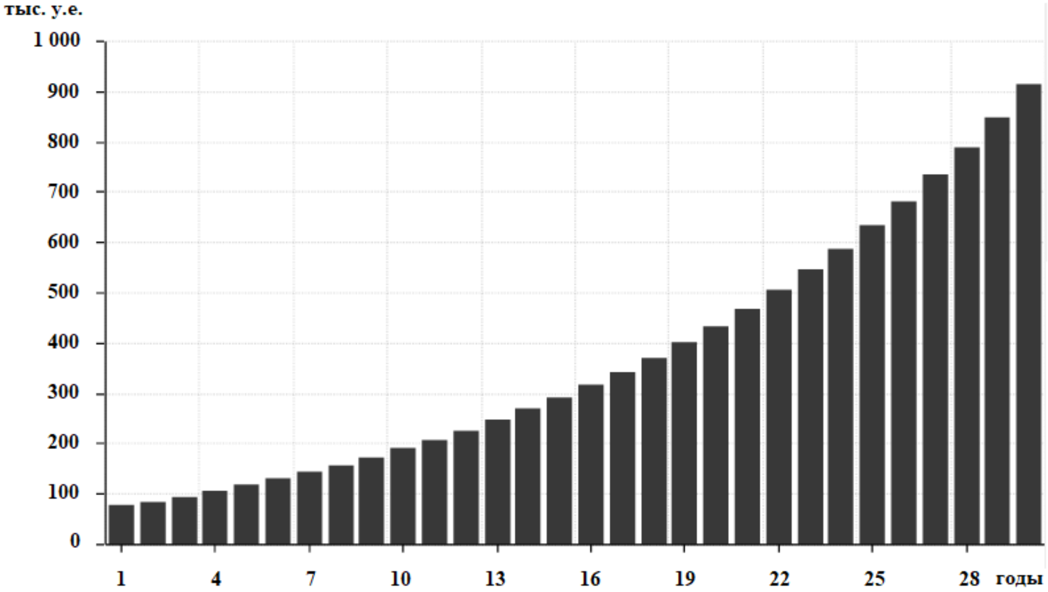


Рисунок 5 – Ежегодные объемы экономии денежных средств после установки солнечных панелей КСМ-200 (окупаемость 22 года)

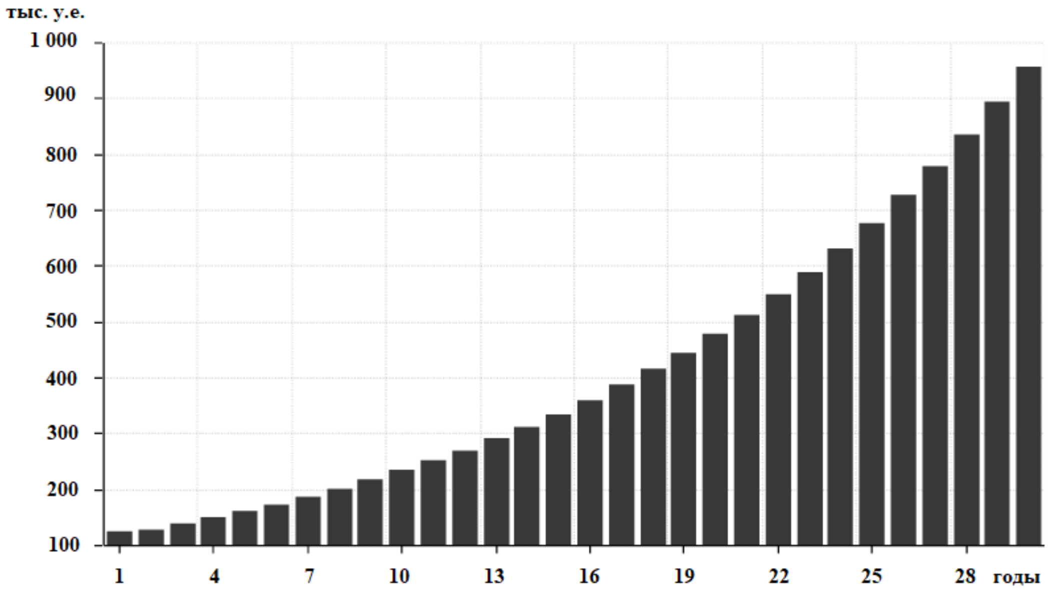


Рисунок 6 – Ежегодные объемы экономии денежных средств после установки солнечных панелей CHN 200W-72M (окупаемость 17 лет)

Выводы. Исследование экономической эффективности внедрения гибридного энергоснабжения оборудования насосных станций оросительных систем показало, что без учета дополнительной доходности от увеличения рентабельности сельскохозяйственного производства и от продажи продукции, которая получена с применением электроэнергии, произведенной вне поливного сезона, в случае применения наиболее дешевых панелей CHN 200W-72M срок окупаемости проекта составит 17 лет (при заявленном сроке службы СП 25 лет). Внутренняя норма доходности (IRR) при использовании этих панелей составит 6,94 %. Стоимость электроэнергии, выработанной с их помощью, будет на две единицы меньше региональной. Чистая экономия денежных средств за 30-летний период составит 8768104,81 у. е.

Несмотря на экономическую эффективность предложенных проектов, их реализация возможна только в рамках партнерской программы с участием государства в качестве заинтересованного лица и собственника межхозяйственных оросительных систем и иных заинтересованных юридических лиц, например сельскохозяйственных кооперативов, участники которых имеют интерес в уменьшении стоимости услуг по подаче воды к их внутрихозяйственным оросительным системам.

Реализация предложенных проектов в Российской Федерации может осуществляться в рамках агромелиоративных и мелиоративных парков, концепцию которых в настоящее время разрабатывают специалисты ФГБНУ «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск, Ростовская область) [9].

Список использованных источников

1 Использование солнечной энергии на объектах мелиорации (на примере Пригородной оросительной системы Краснодарского края) / А. Н. Рыжаков, А. А. Кузьмичёв, Л. Н. Медведева, Д. В. Белых // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 168–181.

2 Манжина, С. А. К вопросу энергоэффективности мелиоративных систем и возможности их модернизации в рамках аграрных и мелиоративных парков (на примере Краснодарского края) / С. А. Манжина, Д. В. Белых // Advances in Science and Technology: сб. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 31 июля 2018 г. – М.: Актуальность.РФ, 2018. – С. 19–23.

3 Технико-экономические решения по использованию возобновляемых источников энергии на площадке пилотного проекта – мелиоративный парк «Веселовский» / Е. Б. Колбачев, А. А. Пахомова, А. С. Роскошная, В. В. Папин, Р. В. Безуглов, А. А. Кузьмичёв, А. А. Куприянов // Материалы 16-й Международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 14–18 мая 2018 г. / ЮРГПУ (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2018. – Ч. 2. – С. 45–51.

4 Canal top solar power plant: an innovative initiative // The world future energy forum – International Conference on Affordable, Reliable and Sustainable Energy for the Future: Materials. – Beijing (China), 2016. – P. 63.

5 Медведева, Л. Н. Зарубежный опыт внедрения инноваций в мелиорацию / Л. Н. Медведева, С. А. Манжина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 1(69). – С. 104–112.

6 Heal, G. The Economics of Renewable Energy / G. Heal; Nat. Bureau of Economic Research. – Cambridge, 2009. – 31 p. – (NBER Working Paper Series. Working Paper 15081).

7 Timmons, D. The Economics of Renewable Energy / D. Timmons, M. Harris, B. Roach; Global Development and Environment Inst. – Tufts Univ. – 2014. – 52 p.

8 Баринова, В. А. Нормирование стоимости электроэнергии в России: ВИЭ против дизельных электростанций [Электронный ресурс] / В. А. Баринова, Т. А. Ланьшина. – Режим доступа: http:ranepa.ru/images/docs/nayka/Barinova_01.pdf, 2018.

9 Экстерналии мелиоративного парка в области использования возобновляемых источников энергии / В. Н. Щедрин, Е. Б. Колбачев, А. А. Пахомова, А. А. Белых, А. А. Куприянов, А. В. Медведев // Друкеровский вестник. – 2018. – № 4. – С. 106–126.

УДК 338.4

М. С. Лукашин, А. Ф. Рогачёв
Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград,
Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИЙ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

На основе построенной экономико-математической модели выясняется, какой из инструментов эколого-экономического регулирования производственных выбросов предприятий – экологические нормативы или продаваемые квоты на производственные выбросы загрязняющих веществ – позволяет минимизировать совокупные затраты стратегии эколого-экономического регулирования. Доказано, что, если затраты на осуществление штрафных санкций различаются между предприятиями, конкурентный рынок квот на производственные выбросы (который обеспечивает единственную равновесную цену квот на производственные выбросы загрязняющих веществ для всех предприятий) не будет минимизировать совокупные затраты на обеспечение совокупного объема выбросов на определенном уровне, допуская определенную степень несоответствия экологическим требованиям.

Ключевые слова экономико-математическое моделирование, оптимальность, стратегии регулирования, экологические нормативы, производственные выбросы.

****

M. S. Lukashin, A. F. Rogachev
Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

MODELING AND OPTIMIZATION OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC REGULATION STRATEGIES OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX ENTERPRISES WHEN CONDUCTING RECLAMATION MEASURES

It is found out on the basis of the constructed economic-mathematical model which of the tools for environmental and economic regulation of enterprises' industrial emissions – environmental standards or sold quotas for production emissions of pollutants – allows to minimize the total costs of strategies for environmental and economic regulation. It has been proved that if the cost of fines differs between enterprises, the competitive market of quotas for production emissions (which provides a single equilibrium price of quotas for industrial emissions of pollutants for all enterprises) will not minimize the total cost of providing total emissions at a certain level, allowing a certain degree of non-compliance with environmental requirements.

Keywords: economic-mathematical modeling, optimality, control strategies, environmental standards, industrial emissions.

Активизация природоохранных мероприятий на агропроизводственных предприятиях, разработка ими эколого-экономической политики обусловлены требованиями повышения роли экологических факторов в процессах строительства, эксплуатации и проведения мелиоративных мероприятий. Хотя предприятия могут ограничить промышленные выбросы путем выбора соответствующей производственной технологии, регулированием потоков используемых ресурсов и готовой продукции и использованием технологий снижения вредных выбросов, контроль за загрязнением не всегда позволяет обеспечивать допустимый уровень промышленных выбросов. Различные случайные факторы, такие как метеоусловия, неисправность оборудования и человеческий фактор, могут приводить к непредсказуемым отклонениям реализованного уровня выбросов от допустимого. Эколого-экономическое регулирование осуществляется с использованием налогообложения производственных выбросов (сообщаемых в отчете предприятия), мониторинга и штрафных санкций (либо фиксированного штрафа для любого нарушения, либо штрафа, величина которого является линейной функцией степени нарушения) в случае, если при проверке устанавливается, что сообщаемый уровень выбросов ниже фактического, для принуждения предприятий к соблюдению экологических требований. Оптимизация параметров таких процессов требует применения экономико-математического моделирования [1].

Как обсуждалось в работах М. С. Лукашина, А. Ф. Рогачева, Н. Н. Лукьянчикова, И. М. Потравного [2–5], в практике эколого-экономического регулирования производственных выбросов часто имеет место ситуация, когда структура штрафных функций находится вне контроля регулятора эколого-экономической политики [6, 7]. Функцию, описывающую затраты предприятия i на снижение вредных выбросов, обозначаем $c_i(e_i)$, где e_i – уровень производимых вредных выбросов. Все величины здесь и далее являются нормированными, т. е. безразмерными. Уровень производимых вредных выбросов предприятия ограничивается экологическим нормативом (максимальным допускаемым объемом выбросов загрязняющих веществ) s_i. Экологическое нарушение v_i возникает, если уровень производимых вредных выбросов предприятия превосходит экологический норматив: $v_i = e_i - s_i > 0$, в противном случае предприятие удовлетворяет экологическим требованиям. Экологический аудит предприятия осуществляется с вероятностью π_i. Предполагаем, что проведение экологического аудита обеспечивает регулятора экологической политики верной информацией относительно статуса соответствия предприятия экологическим требованиям. Если в результате аудита обнаруживается нарушение экологического норматива, на предприятие накладывается штраф, определяемый функцией $f(v_i)$. Структура функции штрафов определяется следующим образом: $f(e_i - s_i) = \phi(e_i - s_i) + \frac{\gamma}{2}(e_i - s_i)^2$, где $\phi > 0$ и $\gamma \ge 0$. Регулятор минимизирует совокупные ожидаемые издержки на реализацию задачи, которые включают затраты на сокращение вредных выбросов предприятий $\sum_{i=1}^{n} c_i(e_i)$, совокупные затраты на мониторинг $\sum_{i=1}^{n} \mu_i \pi_i$, где μ_i – издержки инспектирования предприятия i, и ожидаемые совокупные затраты на осуществление штрафных санкций регулятором $\min\limits_{\substack{(s_1, s_2, \ldots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_n)}} \sum_{i=1}^{n} [c_i(e_i) + \mu_i \pi_i + \beta_i \pi_i f(e_i - s_i)]$, в предположении, что наложение штрафов на предприятие i требует затрат в размере β_i в расчете на рубль штрафа. В такой постановке может ли регулятор эколого-экономической политики обеспечить полное соответствие производственных выбросов предприятий экологическим требованиям или нет, зависит от относительной величины затрат на мониторинг и осуществление штрафных санкций, т. е. от того, выполняется ли неравенство $\mu_i \gamma \le \beta_i \phi^2$ при всех i или нет. Предположим, что $\mu_i \gamma > \beta_i \phi^2$ при всех i. Тогда с точки зрения затрат эффективно определить стратегию, которая позволяет достигать заданного уровня несоответствия производственных выбросов предприятий экологическим требованиям при всех i. В таком случае как затраты на стратегию, основанную на экологических нормативах, соотносятся с затратами на стратегию, основанную на продаваемых квотах на производственные выбросы загрязняющих веществ?

Чтобы ответить на этот вопрос, сначала охарактеризуем эффективную с точки зрения затрат стратегию, основанную на продаваемых квотах на производственные выбросы загрязняющих веществ, которая обеспечивает совокупный объем выбросов на определенном уровне, когда с точки зрения эффективности затрат целесообразно допускать заданную степень несоответствия совокупных производственных выбросов предприятий экологическим требованиям. Далее выясним, минимизирует ли эта оптимальная стратегия совокупные затраты на обеспечение совокупного объема выбросов на определенном уровне, не превышающем Z.

Характеристика эффективной с точки зрения затрат стратегии эколого-экономического регулирования основывается на продаваемых квотах на производственные выбросы загрязняющих веществ. Если оптимально не обеспечивать полное соответствие производственных выбросов предприятий экологическим требованиям для всех предприятий ($v_i > 0$), уравнения из предыдущей работы авторов (2017 г.) [3] могут быть преобразованы в предположении, что $\pi_i > 0$ для всех i, следующим образом:

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial \pi_i} = c_i'(\cdot) + \frac{\mu_i + \beta_i f(v_i)}{\dfrac{\partial l_i}{\partial p^*}\dfrac{\partial p^*}{\partial \pi_i} + \dfrac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} + \lambda = 0,\ i = 1,\dots,n, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial v_i} = c_i'(\cdot) + \pi_i \beta_i f'(v_i) + \lambda = 0,\ i = 1,\dots,n. \qquad (2)$$

Здесь $l_i(p^*, \pi_i)$ представляет собой спрос предприятия i на квоты на производственные выбросы загрязняющих веществ, p^* – равновесную цену квот на производственные выбросы при условии полного соответствия выбросов предприятия экологическим требованиям (т. е. решение уравнения $\sum_{i=1}^{n} l_i(p^*, \pi_i)) = L = Z$, где L – полное число выпущенных квот на производственные выбросы).

Эти уравнения характеризуют оптимальную стратегию регулирования, основанную на продаваемых квотах на производственные выбросы загрязняющих веществ, когда с точки зрения эффективности затрат целесообразно допускать несоответствие совокупных выбросов всех предприятий экологическим требованиям, т. е. $e_i - l_i > 0$.

Аналогично стратегии эколого-экономического регулирования, основанной на экологических нормативах, в оптимальной стратегии эколого-экономического регулирования, основанной на продаваемых квотах на производственные выбросы загрязняющих веществ, регулятор эколого-экономической политики устанавливает π_i и v_i для всех i таким образом, что:

- суммы предельных затрат на снижение вредных выбросов, мониторинг и осуществление штрафных санкций при изменении π_i одинаковы для всех предприятий (уравнение (1));

- суммы предельных затрат на снижение вредных выбросов и осуществление штрафных санкций при изменении v_i одинаковы для всех предприятий (уравнение (2)).

Из уравнений (1) и (2) мы можем также получить уравнение:

$$\frac{\mu_i + \beta_i f(v_i)}{\dfrac{\partial l_i}{\partial p^*}\dfrac{\partial p^*}{\partial \pi_i} + \dfrac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = \pi_i \beta_i f'(v_i),\ i = 1,\dots,n. \qquad (3)$$

Следовательно, для оптимальной стратегии эколого-экономического регулирования, основанной на продаваемых квотах на производственные выбросы загрязняющих веществ, когда с точки зрения эффективности затрат целесообразно допускать несоответствие совокупных выбросов всех предприятий экологическим требованиям, т. е. имеющимся у них квотам на производственные выбросы загрязняющих веществ, регулятор эколого-экономической политики устанавливает сумму предельных затрат на мониторинг и осуществление штрафных санкций при изменении π_i равной сумме предельных затрат на осуществление штрафных санкций при изменении v_i для каждого предприятия i.

Построив эффективную с точки зрения затрат стратегию, основанную на продаваемых квотах на производственные выбросы загрязняющих веществ, которая обеспечивает совокупный объем выбросов на определенном уровне, когда с точки зрения эффективности затрат целесообразно допускать заданную степень несоответствия совокупных производственных выбросов предприятий экологическим требованиям, покажем, что эта стратегия минимизирует совокупные затраты на обеспечение совокупного объема выбросов на определенном уровне, не превышающем Z, только даже при более специальных условиях, чем в случае полного соответствия совокупных производственных выбросов предприятий экологическим требованиям. Чтобы осуществить это, используем тот факт, что каждое предприятие i, которое превышает имеющееся у него количество квот на производственные выбросы на конкурентном рынке квот на производственные выбросы, выбирает свой уровень производственных выбросов таким образом, что $-c_i'(\cdot)=p$, и количество требуемых квот на производственные выбросы загрязняющих веществ так, что $p^*=\pi_i f'(v_i)$. Используя оба эти выражения, можно записать уравнение (2) следующим образом:

$$(-1+\beta_i)p^*=-\lambda \text{ при всех } i=1,\ ...,\ n \text{ или } \beta_i=1-\frac{\lambda}{p^*} \text{ при всех } i=1,...,n.$$

Из полученного выше уравнения очевидно, что если затраты на осуществление штрафных санкций различаются между предприятиями ($\beta_i \neq \beta_j$ для некоторых $i \neq j$, $i, j=1,...,n$), конкурентный рынок квот на производственные выбросы (который обеспечивает единственную равновесную цену квот на производственные выбросы загрязняющих веществ p^* для всех предприятий) не будет минимизировать совокупные затраты на обеспечение совокупного объема выбросов на определенном уровне, не превышающем Z, допуская определенную степень несоответствия экологическим требованиям.

Кроме того, условие $\beta_i=\beta_j$ является достаточным, но не необходимым условием для этого утверждения. Если $\beta_i=\beta_j$ при всех $i \neq j$, но $\mu_i \neq \mu_j$ для некоторых i, j и мы предположим, что рынок квот на производственные выбросы является совершенно конкурентным, так что $\frac{\partial p^*}{\partial \pi_i}=0$, то уравнение (3) может быть переписано следующим образом:

$$\frac{\mu_i+\beta_i f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}}=\pi_i\beta\ f'(v_i) \text{ при всех } i=1,...,n.$$

Используя равенство $\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}=\frac{f'(v)}{\pi f''(v)}$, получаем уравнение:

$$(\mu_i+\beta f(v_i))\frac{f''(v_i)}{(f'(v_i))^2}=\beta.$$

Это условие не будет удовлетворяться, кроме как в специальном случае, когда

$\mu_i = 0$ для всех i, и при условии $f(v_i)\dfrac{f''(v_i)}{(f'(v_i))^2} = 1$. Следовательно, только при условии, что затраты на мониторинг отсутствуют, затраты на осуществление штрафных санкций одинаковы для всех предприятий и имеет место равенство $f(v_i)\dfrac{f''(v_i)}{(f'(v_i))^2} = 1$, система продаваемых квот на производственные выбросы будет минимизировать затраты на обеспечение совокупного объема выбросов на определенном уровне, не превышающем Z, если с точки зрения затрат эффективно допускать определенную степень несоответствия экологическим требованиям.

Представим полученный результат формально в следующем утверждении.

Утверждение. *Если регулятор эколого-экономической политики намеревается установить предел совокупного объема вредных выбросов и с точки зрения затрат эффективно позволять всем предприятиям нарушать экологические требования (* $\mu_i\gamma > \beta_i\phi^2$ *для всех* i*), то регулятор эколого-экономической политики будет минимизировать совокупные затраты такой стратегии эколого-экономического регулирования, применяя систему специфических для предприятия экологических нормативов.*

Кроме того, приведенное в статье авторов 2018 г. [7] утверждение устанавливает, что для минимизации совокупных затрат стратегии эколого-экономического регулирования, обеспечивающей совокупный объем выбросов не выше определенного уровня, регулятор, имеющий контроль над структурой штрафных санкций, должен выбрать эту структуру таким образом, чтобы обеспечить полное соответствие выбросов предприятий экологическим требованиям, и применять стратегию, которая основана на специфических для предприятия экологических нормативах, выбранных в соответствии с предыдущими работами авторов (2016–2018 гг.) [2–4]. Система продаваемых квот на производственные выбросы всегда будет более затратной, чем стратегия, основанная на специфических для предприятия экологических нормативах, если только регулятор не выбирает плоский предельный штраф. Доказанное выше утверждение устанавливает, что если регулятор эколого-экономической политики не может влиять на структуру штрафных санкций и с точки зрения затрат эффективно позволять всем предприятиям нарушать экологические требования, то он оптимально минимизирует совокупные затраты такой стратегии эколого-экономического регулирования, применяя систему специфических для предприятия экологических нормативов, определяемых в трудах авторов 2016–2018 гг. [2–4].

Эта относительная эффективность экологических нормативов с точки зрения затрат по сравнению с системой продаваемых квот на производственные выбросы в обоих случаях находится в некотором противоречии с точкой зрения, защищаемой рядом экономистов. В этом отношении следует отметить, что затраты на мониторинг и обеспечение соответствия предприятий экологическим требованиям не учитывались в исследованиях, которые привели к практическим рекомендациям, устанавливающим приоритет продаваемых квот на производственные выбросы загрязняющих веществ над экологическими нормативами. Учитывались только совокупные затраты на снижение вредных выбросов, которые система продаваемых квот на производственные выбросы, естественно, минимизирует. Но если учитывать затраты на обеспечение соответствия предприятий экологическим требованиям, продаваемые квоты на производственные выбросы загрязняющих веществ не могут всегда использовать различие между затратами на снижение вредных выбросов и затратами на мониторинг. Кроме того, система продаваемых квот на производственные выбросы иногда рассматривается как эффективная с точки зрения затрат регулирования, если сравнивается с одинаковыми (т. е. не специфическими для предприятия) экологическими нормативами. Кроме того, доказанное выше утверждение основано на предположении, что регулятор эколого-экономической политики имеет необходимую информацию для построения стратегии эколого-экономического регулирования, основанной на использовании экологических нормативов в соответствии с работами авторов 2016–2018 гг. [2–4]. Эта информация в основном касается затрат на снижение вредных выбросов предприятий. Конечно, на практике регулятор не может точно знать предельные затраты на снижение вредных выбросов предприятий, поэтому им могут быть допущены неточности при установлении экологических нормативов. Если эта ситуация имеет место, реализованные общественные затраты на установление и обеспечение совокупного предела выбросов посредством специфических для предприятий экологических нормативов могут оказаться более высокими, чем посредством системы продаваемых квот на производственные выбросы. Фактически можно доказать, что только при использовании системы продаваемых квот на производственные выбросы и плоских предельных штрафов регулятор может преодолеть информационную проблему, поскольку на практике регулятор не может точно знать предельные затраты на снижение вредных выбросов предприятий, и достичь эффективности затрат на основе релевантных методов экономико-математического моделирования [1, 8].

Список использованных источников

1 Иванов, П. В. Экономико-математическое моделирование в АПК: учеб. пособие / П. В. Иванов, И. В. Ткаченко. – Ростов н/Д.: Феникс, 2013. – 254 с.

2 Лукашин, М. С. Моделирование эколого-экономического регулирования производственных выбросов на основе экологических нормативов / М. С. Лукашин // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2016. – № 5(87).

3 Лукашин, М. С. Моделирование стратегии эколого-экономического регулирования производственных выбросов с учетом структуры штрафных функций / М. С. Лукашин // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 31 янв. – 3 февр. 2017 г. – Волгоград: Изд-во ВолГАУ, 2017. – Т. 3. – С. 497–502.

4 Лукашин, М. С. Оптимальные стратегии регулирования производственных выбросов предприятий / М. С. Лукашин, А. Ф. Рогачёв // Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий: материалы Междунар. конф. – Волгоград: Изд-во ВолГАУ, 2018.

5 Лукьянчиков, Н. Н. Экономика и организация природопользования: учебник / Н. Н. Лукьянчиков, И. М. Потравный. – М.: Юнити-Дана, 2011. – 687 с.

6 Экология и экономика природопользования: учебник / под ред. Э. В. Гирусова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Юнити-Дана, 2014. – 607 с.

7 Лукашин, М. С. Оптимальные стратегии регулирования производственных выбросов предприятий АПК / М. С. Лукашин, А. Ф. Рогачёв // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1(49). – С. 333–342.

8 Экономико-математическое моделирование и обоснование рационального землепользования в агроландшафтах юга / А. Ф. Рогачёв, А. В. Медведев, Л. Н. Медведева, С. В. Куприянова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 186–208. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec554-field6.pdf.

УДК 631.674.5

В. И. Ляшевский, В. П. Горобей, А. П. Тищенко, Л. Н. Медведева
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ

Целью исследований являлось повышение эффективности использования и надежности устройства для создания искусственного дождя с целью полива сельскохозяйственных культур, совмещающего дополнительную обработку растений при различных технологиях их выращивания, путем создания необходимых условий для образования водовоздушной струи за счет обоснования конструктивных и геометрических параметров его конструкции. Проанализирован наиболее распространенный способ полива – дождевание, показана необходимость повышения экономической эффективности конструкций насадок для улучшения качества дождя. Разработаны принципиальная схема дождевателя для инновационных технологий орошения и математическая модель для обоснования основных параметров: диаметров сопла, водоводного и воздуховодного штуцера, диаметра и длины камеры смешивания, а также необходимых давлений воды и воздуха. Предложенный расчет геометрических и технологических параметров устройства для создания искусственного дождя обеспечит повышение эффективности использования и надежности данного устройства, качество искусственного дождя, возможность регулирования равномерности распределения искусственного дождя в пространстве и снижение энергозатрат.

Ключевые слова: орошение, дождеватель, устройство, модель, расчет, сжатый воздух, камера смешивания, сопло, параметры, водовоздушная смесь.

****

V. I. Lyashevskiy, V. P. Gorobei, A. P. Tishchenko, L. N. Medvedeva
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

SUBSTANTIATION OF DEVICE PARAMETERS FOR CREATING ARTIFICIAL RAIN

The purpose of the research was to increase the utilization and reliability efficiency of the device for creating artificial rain with the aim of irrigating agricultural crops, combining additional treatment of plants at different cultivation technologies by creating the necessary conditions for the formation of a water-jet stream by justifying constructive and geometric parameters of its design. The most common irrigation method – sprinkling – is analyzed, the need to increase the economic efficiency of nozzle designs for improving the quality of rain is shown. A basic sprinkler circuit arrangement for innovative irrigation technologies and a mathematical model for substantiating the main parameters: the nozzle diameters, the water and airway nozzle, the diameter and length of the mixing chamber, as well as the necessary pressures of water and air are developed. The proposed calculation of the geometric and technological parameters of the device for creating artificial rain will ensure an increase in the utilization and reliability efficiency of this device, the quality of artificial rain, the possibility of regulating the uniformity of distribution of artificial rain in space and reducing energy costs.

Key words: irrigation, sprinkler, device, model, calculation, compressed air, mixing chamber, nozzle, parameters, water-air mixture.

Введение. В Российской Федерации до 70 % сельскохозяйственных угодий располагается в недостаточно увлажненных и засушливых районах. Наиболее прогрессивным способом механизированного полива является полив дождеванием. Такой вид орошения наиболее близок к оптимальному попаданию влаги к растению, т. е. природному выпадению осадков. В этом случае увлажняется не только почва, но и листовая поверхность растений, что оказывает благоприятное воздействие на вегетацию растений, снижает температуру и повышает влажность воздуха в жаркие, засушливые периоды. Дождевание – наиболее распространенный способ полива для нормального развития растений и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, который не только обеспечивает увлажнение почвы при сохранении ее структуры при небольшой интенсивности, но и оптимизирует приземный слой воздуха, его температуру и влажность.

В Крыму при относительно развитом садоводстве в начале 1990-х гг. по бороздам поливали 39,6 тыс. га садов. При этом из-за недостатка поливной воды фактическая оросительная норма составляла 1,4 тыс. м^3/га при кратности полива 2,4. Коэффициент использования поливной воды на системах с поверхностным орошением по бороздам – 0,35–0,60. Следовательно, в данных условиях в садах не была обеспечена стабильная оптимальная влажность в течение вегетации, что явилось одной из основных причин недобора урожая. Способ орошения садов дождеванием применялся на площади 2,5 тыс. га, а капельный – на 400 га. По сравнению с поливом по бороздам эти способы более рациональны. Благодаря им значительно (в 2,0–4,4 раза и более) снижаются трудовые затраты на полив 1 га сада, экономится (за счет снижения непроизводительных потерь) 25–50 % и более поливной воды, обеспечивается оптимальный режим влажности активного слоя почвы и оперативная его корректировка, увеличивается в 2 раза сбор плодов [1].

Главными показателями качества работы поливной техники служат равномерность распределения воды по орошаемой площади без образования поверхностного слоя и сохранение структуры почвы, а также динамическое воздействие капель искусственного дождя на почву и растения. При этом целесообразно поливную норму выдать в возможно более сжатые сроки [2]. При оценке качества искусственного дождя имеет значение такая его характеристика, как количество капельной воды в единице объема дождевой массы. Отношение объема капельной воды в дождевой массе к полному объему этой массы равно отношению интенсивности дождя к скорости падения капель и связывает основные параметры искусственного дождя: объем дождевой массы, объем воды, заключенный в этой массе, интенсивность дождя и скорость падения капель. Капля будет устойчивой до тех пор, пока давление воздуха на нее будет меньше, чем давление внутри капли, вызванное силами поверхностного натяжения [3]. Известно, что мелкодисперсное дождевание снижает температуру растений на 6–12 °С за счет равномерно распределенной по растению влаги, что резко увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур. Наиболее перспективны системы с мобильными туманообразующими установками, в которых диспергирование жидкости и подача ее осуществляются за счет высокоскоростного потока воздуха [4].

При строительстве дождевальных систем необходимо стремиться к всемерному уменьшению их стоимости, предусмотрев возможность распределения удобрений с поливной водой, изысканию технических средств и приемов для распределения с поливной водой химических средств защиты растений [5]. Переоборудование поливной техники низконапорными насадками позволяет снизить энергоемкость дождевания на 16–50 % при значительном повышении эффективности использования водных ресурсов [6].

Анализируя характеристики существующих дождевальных машин, можно сделать вывод о том, что дальнейшее их развитие с хорошими показателями материалоемкости и стоимости оборудования следует вести в направлении уменьшения энергозатрат, разработки технологий орошения и конструкций дождевальной техники, обеспечивающих при экономически целесообразном уровне производительности экономию воды, энергии, материально-технических и трудовых ресурсов без негативного воздействия на почву и окружающую среду.

Материал и методы. Анализ конструкций дождевальных машин, технологического оборудования и насадок для получения искусственного дождя. Математическое моделирование для обоснования геометрических и технологических параметров устройства для создания искусственного дождя с целью повышения эффективности использования и надежности устройства, качества искусственного дождя, создания возможности регулирования равномерности распределения искусственного дождя в пространстве и снижения энергозатрат.

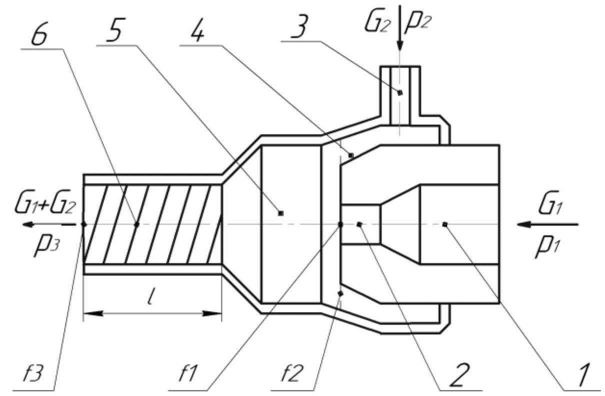
Результаты и обсуждение. Решения по совершенствованию технических средств для орошения направлены на создание высокопроизводительной поливной техники, которая обеспечивала бы искусственный дождь, приближающийся по своим параметрам к качественным характеристикам идеала – естественных дождей средней силы, с каплями, падающими практически вертикально, при среднем диаметре 1,0–1,5 мм, с интенсивностью до 25 мм/мин и равномерностью распределения по площади не менее 0,9 [7]. Главной отличительной особенностью принципиальной схемы и конструкции дождевальных машин является принцип образования дождя (тип насадок) [8].

В секторных насадках разбрызгивание водяной струи на капли происходит за счет ее попадания на дефлектор с образованием сплошной пленки с последующим ее распадом на капли разного диаметра и, соответственно, различной скорости.

Недостатком таких насадок является ограниченная возможность регулирования интенсивности полива и размеров капель воды.

Перспективным с точки зрения расширения диапазона регулирования размеров капель воды, разбрызгиваемых дождевателем, является использование в их конструкции аэраторов с эффектом эжекции. Такие устройства при простоте конструкции позволяют получать водовоздушную смесь, легко распадающуюся на капли при выходе из сопла дождевателя в воздух, без дополнительных затрат механической энергии [9].

Принципиальная схема предлагаемого дождевателя с аэратором показана на рисунке 1.



1 – штуцер подвода воды; *2* – сопло; *3* – штуцер подвода воздуха;
4 – кольцевой зазор; *5* – приемная камера; *6* – камера смешивания

Рисунок 1 − Принципиальная схема дождевателя с аэратором

Вода по водоводному штуцеру *1* подводится к соплу *2*, в котором ее движение ускоряется, и выбрасывается в приемную камеру *5*, а из нее попадает в камеру смешивания *6* с направляющими. Одновременно через воздуховодный штуцер *3* подается воздух, который проходит через зазор *4*, приемную камеру *5* и поступает в камеру смешивания *6*. Водовоздушная смесь из камеры смешивания *6* через рабочее сопло выбрасывается из дождевателя.

Основными исходными данными для расчета дождевателя являются объемные расходы воды Q_1 и воздуха Q_2, а следовательно, объемный коэффициент инжекции $и_о = Q_2 / Q_1$.

Обоснование основных параметров дождевателя заключается в определении диаметров сопла *2* водоводного штуцера *1*, воздуховодного штуцера *3*, диаметра и длины камеры смешивания *6*, а также необходимых давлений воды и воздуха.

Согласно закону сохранения импульсов, выражающему равенство изменения количества движения воды и воздуха изменению импульсов сил давления потоков воды и воздуха на входе и водовоздушной смеси на выходе из дождевателя, запишем уравнения:

$$\begin{cases} \frac{G_1}{g} v_1 + \frac{G_2}{g} v_2 - \frac{G_1 + G_2}{g} v_3 = p_3 f_3 - (p_1 f_1 + p_2 f_2) \\ G_C = G_1 + G_2 \\ f_3 = f_1 + f_2 \end{cases}, \qquad (1)$$

где v_1, v_2, v_3, м/с, p_1, p_2, p_3, Н/м^2, f_1, f_2, f_3, м^2, – соответственно скорости, статические абсолютные давления и площади поперечных сечений потоков воды и воздуха во входном сечении камеры смешивания и водовоздушной смеси в выходном сечении этой камеры;

G_1, G_2, G_C – массовые расходы соответственно воды, воздуха и водовоздушной смеси.

Можно считать, что давление воды p_1 на входе в водяной штуцер *1* равно ее давлению на выходе из сопла *2* сечением f_1, а давление воздуха p_2 равно его давлению в кольцевом зазоре *4* сечением f_2, тогда из уравнений (1) получим выражение для определения необходимой скорости истечения воды из сопла водяного штуцера:

$$v_1 = \frac{g}{G_1}\left[(p_3 - p_2) f_3 - \frac{G_2}{g} v_2 + \frac{G_1 + G_2}{g} v_3 \right].$$

Величина сечения f_3 определяется по значению $[f_3 / f_1]_{опт}$, а скорость v_3 в конце камеры смешивания определяется по величине сечения f_3 и расходу водовоздушного потока Q_3:

$$v_3 = \frac{Q_3}{f_3} = \frac{Q_1 + Q_2}{f_3}.$$

Величина скорости v_2 воздуха находится по формуле:

$$v_2 = \frac{Q_2}{f_2},$$

а f_1 определяется по формуле:

$$f_1 = \frac{Q_1}{v_1}.$$

Скорость v_1 находим методом последовательных приближений.

Необходимое давление воды определяется по следующим выражениям:

$$p_1 = \Delta p_1 + p_2;$$

$$\Delta p = k\left(\frac{v_2}{2g} \rho_1 \right),$$

где Δp_1 – необходимый перепад давлений между потоком воды и потоком воздуха, Н/м^2;

$k = \varphi_Б^{-2}$ – коэффициент, учитывающий потерю скорости потока в рабочем сопле;

$\varphi_Б$ – коэффициент скорости рабочего сопла, принимаемый равным 0,95;

ρ_1 – плотность воды, кг/м^3.

Плотность смешанного водовоздушного потока:

$$\rho_3 = \frac{G_С}{Q_С} = \frac{\rho_1 Q_1 + \rho_2 Q_2}{Q_1 + Q_2},$$

где ρ_1 и ρ_2 – соответственно плотность воды и воздуха, кг/м^3.

Основные размеры дождевателя, в соответствии с рекомендациями для струйных аппаратов [9], определяются из следующих выражений.

Отношение сечений камеры смешивания f_3 к сечению сопла f_1 определяется из уравнения:

$$\left(\frac{f_3}{f_1}\right)_{опт} \approx \frac{\Delta p_1}{\Delta p_3},$$

где Δp_1 – располагаемый перепад давления воды;

Δp_3 – перепад давлений, создаваемый эжектором.

Длина l камеры смешивания должна быть достаточной для завершения смешивания. По данным исследований П. Г. Каннингэма, Р. Ж. Допкина [10], оптимальная длина камеры смешивания находится из соотношения:

$$\left(\frac{l}{d_1}\right)_{опт} = 15\left(\frac{f_3}{f_1} - 1\right).$$

Уравнение характеристик водовоздушного дождевателя согласно Е. Я. Соколову и др. [9] имеет вид:

$$\frac{\Delta p_3}{\Delta p_1} = 1{,}75\frac{f_1}{f_3} - 1{,}07\left(\frac{f_1}{f_3}\right)^2 (1 + и_о)^2. \qquad (2)$$

Из уравнения (2) можно определить основной геометрический параметр дождевателя f_3 / f_1 по заданным давлениям воды, воздуха и соотношению их объемных расходов (коэффициенту инжекции $и_о$).

Выводы. Приведенная модель позволяет в перспективе разработать принципиальную конструкцию макетного устройства для получения искусственного дождя регулируемой дисперсности, проверить ее на адекватность при создании в дальнейшем экспериментального и опытного образцов дождевателей для современных ресурсосберегающих технологий орошения сельскохозяйственных культур.

Список использованных источников

1 Экономика орошаемого земледелия / под ред. В. И. Жминько. – 2-е изд., доп. и перераб. – Киев: Урожай, 1983. – 160 с.

2 Кузнецова, Е. И. Орошаемое земледелие: учеб. пособие / Е. И. Кузнецова, Е. Н. Закабунина, Ю. Ф. Снипич. – М.: РГАЗУ, 2012. – 117 с.

3 Лебедев, Б. М. Дождевальные машины / Б. М. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1977. – 244 с.

4 Справочник мелиоратора / В. А. Анисимов [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 235 с.

5 Винникова, Н. В. Механизация и автоматизация дождевальных систем в соци-

алистических странах / Н. В. Винникова. – М.: Всерос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по сел. хоз-ву, 1970. – 118 с.

6 Droplet size distribution the water application with low-pressure sprinklers. – 1985. – 243 p.

7 Поспелов, А. М. Структура дождя при искусственном дождевании культур / А. М. Поспелов, Ф. Г. Абрамов // Дождевание: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1940. – Т. 3. – С. 117–186.

8 Наумов, Ю. И. Техническое обслуживание и ремонт поливной техники / И. Ю. Наумов. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 173 с.

9 Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

10 Каннингэм, П. Г. Длина участка разрушения струи и смешивающей горловины жидкоструйного насоса для перекачки газа / П. Г. Каннингэм, Р. Ж. Допкин // Теоретические основы инженерных расчетов. – М.: Мир, 1974. – № 3. – С. 128–141.

УДК 626.01:626.21:627.51

А. В. Петроченко
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина

ПРОБЛЕМА ДЕФИЦИТА ВОДЫ И ПАВОДКОВ НА УКРАИНЕ

Целью исследований является обоснование концептуальных направлений комплексного решения проблемы воды на Украине – дефицита воды в юго-восточных областях Украины и ее избытка в виде периодически возникающих паводков в западном Карпатском регионе. В статье приведены основные данные о собственных водных ресурсах Украины. Раскрыты причины снижения объемов орошения на Украине, предложены расчетные зависимости для корректировки коэффициента полезного действия оросительных каналов в условиях уменьшения объемов потребления воды из каналов для орошения и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Предложены основные концептуальные направления возрождения орошения на Украине. Приведена статистика прохождения катастрофических паводков на Западной Украине за прошедшие годы. Предложены основные концептуальные направления превентивной инженерной защиты от паводков в бассейнах рек. В основу комплексного решения проблемы воды на Украине положен интегрированный подход к управлению водными ресурсами по функционально-стоимостным принципам.

Ключевые слова: водные ресурсы, орошение, оросительный канал, коэффициент полезного действия канала, паводок, защита от паводков, бассейн реки.

****

A. V. Petrochenko
Kiev National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kiev, Ukraine

THE PROBLEM OF WATER AND FLOOD DEFICIT IN UKRAINE

The aim of the research is to substantiate the conceptual directions of the integrated solution of the general water problem in Ukraine – the water deficit in the southeastern regions of Ukraine and its excess in the form of recurrent floods in the western Carpathian region. The basic data on Ukraine's own water resources are given. The reasons for the decrease in irrigation volumes in Ukraine are disclosed, the calculation formulas for the correction of the efficiency of irrigation canals under conditions of a decrease in the volume of water consumption from canals for irrigation and domestic and drinking water supply are proposed. The main conceptual directions of irrigation revival in Ukraine are proposed. The sta-

tistics of the catastrophic floods in Western Ukraine over the past years are given. The main conceptual directions of preventive engineering protection from floods in river basins are proposed. The integrated approach to water resources management in the functional-value principle is proposed as a basis for a comprehensive solution of the water problem in Ukraine.

Key words: water resources, irrigation, irrigation canal, channel efficiency, flood, flood protection, river basin.

Введение. Среди глобальных проблем человеческой цивилизации на современном этапе ее развития наиболее важной становится проблема воды. Она имеет две главные и вместе с тем противоположные по характеру влияния на жизнедеятельность человека составляющие – это дефицит воды необходимого качества и избыток ее в виде периодически возникающих паводков. На Украине эти обе составляющие проявляются в весьма острой форме. Первая составляющая проблемы воды обусловлена недостаточной обеспеченностью Украины собственными водными ресурсами, в связи с чем ощущается дефицит воды в юго-восточных областях Украины. Вторая составляющая обусловлена неравномерным распределением водных ресурсов по территории Украины, вследствие чего в западных областях Украины, главным образом в Карпатском регионе, наблюдаются паводки, которые могут повторяться 3–5 раз в год, а некоторые из них имеют катастрофический характер.

Проблема воды актуальна, поскольку вода составляет основу жизни на Земле. Вместе с тем эта проблема сложна и многогранна. Поэтому эффективность решения проблемы воды прежде всего зависит от выбора концептуальных направлений ее решения. В данной работе сделана попытка с позиций системного анализа и с учетом уже полученных результатов исследований выделить основные концептуальные направления и принципы комплексного решения проблемы воды на Украине.

Материалы и методы. В исследованиях использовались статистические данные международной экономической статистики statinfo.biz, Государственного комитета водных ресурсов Украины, Украинского гидрометеорологического центра, а также литературные источники, материалы и результаты ранее выполненных автором исследований. Основной метод исследований – метод анализа и синтеза, обеспечивающий системный подход к изучению и решению проблемы воды на Украине.

Результаты и обсуждение

Анализ обеспеченности регионов Украины собственными водными ресурсами

Обеспеченность стран мира и отдельных регионов собственными водными ресурсами оценивается показателем w, определяющим объем местного речного стока в тыс. м^3/год, приходящийся на одного человека. Согласно базе данных международной экономической статистики statinfo.biz, Украина имеет показатель w = 1,1 тыс. м^3/год на 1 человека, а среди 68 наиболее крупных стран мира по показателю w обеспеченности собственными водными ресурсами занимает 54 место [1]. Среди европейских стран Украина также имеет один из самых низких показателей w (таблица 1).

Таблица 1 – Обеспеченность стран Европы собственными водными ресурсами местного речного стока *w* [1]

В тыс. м^3/год на 1 человека

Страна	w	Страна	w	Страна	w
1	2	3	4	5	6
Норвегия	86,2	Великобритания	5,0	Румыния	2,0
Россия	30,0	Литва	4,6	Польша	1,4
Финляндия	20,4	Беларусь	3,8	Германия	1,3
Швеция	18,9	Португалия	3,6	Бельгия	1,2
Ирландия	11,8	Турция	3,2	Украина	1,1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Эстония	9,4	Италия	3,1	Дания	1,1
Латвия	7,3	Армения	3,0	Азербайджан	1,0
Австрия	6,7	Франция	2,9	Нидерланды	0,7
Швейцария	5,4	Болгария	2,7	Венгрия	0,6
Греция	5,2	Испания	2,6	Молдова	0,3

Согласно стандартам Европейской экономической комиссии ООН, страна, имеющая показатель w менее 1,7 тыс. м^3/год на 1 человека, считается необеспеченной собственными водными ресурсами. Все приведенные в конце таблицы 1 страны Европы, начиная с Польши (w = 1,4) и заканчивая Молдовой (w = 0,3), в числе которых находится и Украина, считаются необеспеченными собственными водными ресурсами.

Ситуация с обеспеченностью собственными водными ресурсами на Украине усугубляется тем, что показатель w обеспеченности собственными водными ресурсами регионов Украины имеет ярко выраженный контрастный характер (таблица 2).

Таблица 2 – Обеспеченность регионов Украины собственными водными ресурсами местного речного стока w

В тыс. м^3/год на 1 человека

Область	w	Область	w	Область	w	Область	w
Херсонская	0,3–0,45	Луганская	0,45–1,0	Полтавская	1,0–2,0	Черниговская	2,0–3,0
Одесская		Харьковская		Винницкая		Житомирская	
Николаевская		Кировоградская		Сумская		Волынская	
Запорожская		Черкасская		Хмельницкая		Ивано-Франковская	3,0–7,0
Донецкая		Киевская		Черновицкая			
Днепропетровская				Тернопольская		Закарпатская	
				Львовская			
				Ровенская			

Показатель w обеспеченности водными ресурсами юго-восточных областей Украины соответствует показателю w Молдовы, а западных областей (Закарпатской и Ивано-Франковской) соответствует показателю w Австрии. Это объясняется тем, что 70 % речного стока припадает на северо-западные области, где проживает 40 % населения, а 30 % речного стока припадает на юго-восточные области, где проживает 60 % населения и находится 70 % агропромышленного комплекса страны [2].

Задача преодоления дефицита воды в юго-восточных областях Украины решается с помощью крупных каналов и групповых водопроводов, по которым осуществляется переброска днепровской воды в эти регионы для орошения, а также для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения [2].

Объемы орошения на Украине, тенденции и причины их снижения

На Украине имеется 2,2 млн га орошаемых земель. Начиная с 1990 г. объемы орошения стали уменьшаться и к настоящему времени сократились приблизительно на три четверти. Сейчас на Украине орошается около 500 тыс. га земель. Оросительные системы на Украине были построены для 12 тыс. коллективных сельскохозяйственных предприятий, которые имели возможность обслуживать и использовать на своих землях внутрихозяйственные оросительные системы. В результате реорганизации орошаемые земли были переданы 192 тыс. мелких сельхозпроизводителей, которые, не имея возможности как индивидуально, так и коллективно обслуживать крупные внутрихозяйственные оросительные системы, отказывались от орошения. Объемы забора воды из магистральных и межхозяйственных каналов значительно сократились.

Корректировка коэффициента полезного действия (КПД) оросительных каналов в условиях уменьшения объемов потребления воды на орошение

В условиях уменьшения объемов забора воды из оросительных каналов и введения платного водопользования, когда вода становится объектом продажи (товаром), между водохозяйственными организациями и контролирующими их финансовую деятельность государственными органами стали возникать разногласия, суть которых можно пояснить на следующем простом примере.

При проектировании оросительной системы для конкретного канала были установлены, например, такие проектные характеристики:

- расход воды нетто $Q_{нт}^{пр}$ = 24,0 м^3/с;
- расход воды брутто $Q_{бр}^{пр}$ = 30,0 м^3/с;
- коэффициент полезного действия $К_{пр} = Q_{нт}^{пр} / Q_{бр}^{пр}$ = 24,0/30,0 = 0,8;
- потери воды $Q_{пт}^{пр} = Q_{бр}^{пр} - Q_{нт}^{пр}$ = 6,0 м^3/с.

В конце оросительного сезона с учетом коэффициента U использования времени расходы (объемы) воды по проекту должны составлять:

- брутто $G_{бр}^{пр} = U\ Q_{бр}^{пр} = U$ 30,0 м^3/год;
- нетто $G_{нт}^{пр} = U\ Q_{нт}^{пр} = U$ 24,0 м^3/год;
- общие потери $G_{пт}^{пр} = G_{бр}^{пр} - G_{нт}^{пр} = U\ Q_{пт}^{пр} = U$ 6,0 м^3/год.

В условиях уменьшения фактического объема забора воды из канала $G_{нт}^{ф}$ относительно $G_{нт}^{пр}$, например, в два раза (коэффициент уменьшения $\beta = G_{нт}^{ф} / G_{нт}^{пр} = 0{,}5$) по итогам оросительного сезона имеем, например, такие фактические данные:

$$G_{нт}^{ф} = \beta\ G_{нт}^{пр} = 0{,}5\, G_{нт}^{пр} = U\ 12{,}0\ \text{м}^3/\text{год},$$

$$G_{бр}^{ф} = U\ 18{,}0\ \text{м}^3/\text{год},$$

$$G_{пт}^{ф} = G_{бр}^{ф} - G_{нт}^{ф} = U\ 6{,}0\ \text{м}^3/\text{год}.$$

На основе сопоставления проектных и фактических данных работы канала органы, проверяющие финансовую деятельность водохозяйственной организации, задают ряд вопросов. В канал подали воду в количестве $G_{бр}^{ф} = U18{,}0$ м^3/год. Почему реализовали только $G_{нт}^{ф} = U12{,}0$ м^3/год. Если КПД канала $К_{пр}$ = 0,8, то должны реализовать воду в количестве $[G_{нт}^{ф}] = 0{,}8U18{,}0 = U14{,}4$ м^3/год. Водохозяйственной организации выставляют претензию относительно незаконной реализации (продажи) воды из канала в количестве $[G_{нт}^{ф}] - G_{нт}^{ф} = U14{,}4 - U12{,}0 = U2{,}4$ м^3/год, а также претензию относительно использования заниженного КПД канала $К_{ф} = G_{нт}^{ф} / G_{бр}^{ф} = 0{,}67$.

Чтобы аргументированно обосновать нормы подачи воды из канала, необходимо более глубоко вникнуть в такое, казалось бы, простое понятие, как КПД оросительного канала. Не только у эксплуатационников, но и у исследователей бытует мнение, что установленный при проектировании КПД канала (системы) является его неизменной технической характеристикой. Например, в публикации Х. М. Якубовой и др. [3] приведено: «Известно, что КПД оросительной системы, определяя ее технический уровень, играет важную роль в сокращении общих потерь воды». Следует отметить, что КПД оросительной системы является функцией, зависящей от потерь воды, а не наоборот. А с тем, что КПД системы определяет ее технический уровень, можно согласиться, но только в случае, если объемы подачи и забора воды в системе будут соответствовать проектным.

КПД канала является не только технической характеристикой канала, зависящей от величины общих потерь, но и его эксплуатационной характеристикой, зависящей от объемов забора воды из канала. Для обоснования технологически оправданных норм потерь воды из каналов в условиях уменьшения объемов забора из них воды определим величину технологически оправданного расчетного КПД канала $К_р$ в виде его функциональной зависимости от проектной величины КПД канала $К_{пр}$ и коэффициента β уменьшения фактического расхода воды $Q_{нт}^{ф}$ относительно $Q_{нт}^{пр}$.

В основу расчетов закладываем принцип независимости проектных $Q_{пт}^{пр}$ и фактических $Q_{пт}^{ф}$ общих потерь воды из канала от расходов $Q_{бр}^{пр}$, $Q_{бр}^{ф}$ подачи воды в канал и расходов $Q_{нт}^{пр}$, $Q_{нт}^{ф}$ забора воды из канала. Это очевидно. По правилам эксплуатации мелиоративных систем канал должен быть постоянно наполнен до нормального подпертого уровня, от высоты которого зависят общие потери воды из канала, но не от эксплуатационных расходов воды брутто и нетто.

Запишем формулы для расчета проектного $К_{пр}$ и фактического $К_{ф}$ КПД канала:

$$К_{пр} = \frac{Q_{нт}^{пр}}{Q_{бр}^{пр}} = \frac{Q_{нт}^{пр}}{Q_{нт}^{пр} + Q_{пт}^{пр}}, \quad (1)$$

$$К_{ф} = \frac{Q_{нт}^{ф}}{Q_{бр}^{ф}} = \frac{Q_{нт}^{ф}}{Q_{нт}^{ф} + Q_{пт}^{ф}}. \quad (2)$$

Определим величину проектных потерь воды $Q_{пт}^{пр}$ из формулы (1) путем преобразований:

$$Q_{пт}^{пр} = Q_{нт}^{пр} \frac{1 - К_{пр}}{К_{пр}}. \quad (3)$$

Учитывая принятый принцип независимости общих потерь воды из канала ($Q_{пт}^{ф}$ = $Q_{пт}^{пр}$), подставим в формулу (2) вместо $Q_{пт}^{ф}$ значение $Q_{пт}^{пр}$ из формулы (3).

После подстановки формула (2) примет вид:

$$К_{ф} = \frac{Q_{нт}^{ф}}{Q_{нт}^{ф} + Q_{нт}^{пр} \dfrac{1 - К_{пр}}{К_{пр}}}. \quad (4)$$

Разделив в формуле (4) числитель и знаменатель на $Q_{нт}^{пр}$ и воспользовавшись значением коэффициента уменьшения расходов нетто β = $Q_{нт}^{ф} / Q_{нт}^{пр}$, получим:

$$К_{ф} = \frac{\beta}{\beta + \dfrac{1 - К_{пр}}{К_{пр}}}. \quad (5)$$

Проверим справедливость формулы (5) на расходах воды из нашего примера:

$$К_{ф} = \frac{0,5}{0,5 + \dfrac{1 - 0,8}{0,8}} = 0,67.$$

Ввиду соответствия значения $К_{ф}$ = 0,67, рассчитанного по формуле (5), значению $К_{ф}$ = 0,67 из вышеприведенного примера, формулу (5) можно рекомендовать для определения расчетных $К_р$ КПД каналов при корректировке проектного $К_{пр}$ КПД в условиях уменьшения фактических эксплуатационных расходов ($Q_{нт}^{ф}$, $G_{нт}^{ф}$) и неизменности (в допустимых пределах) противофильтрационных свойств каналов.

Для оценки характера изменения КПД каналов в условиях уменьшения объемов потребления воды из них ($0 < \beta \le 1{,}0$) на рисунке 1 показаны графики расчетных $К_р = Ф(К_{пр}, \beta)$, построенные по точкам, которые были рассчитаны по формуле (5).

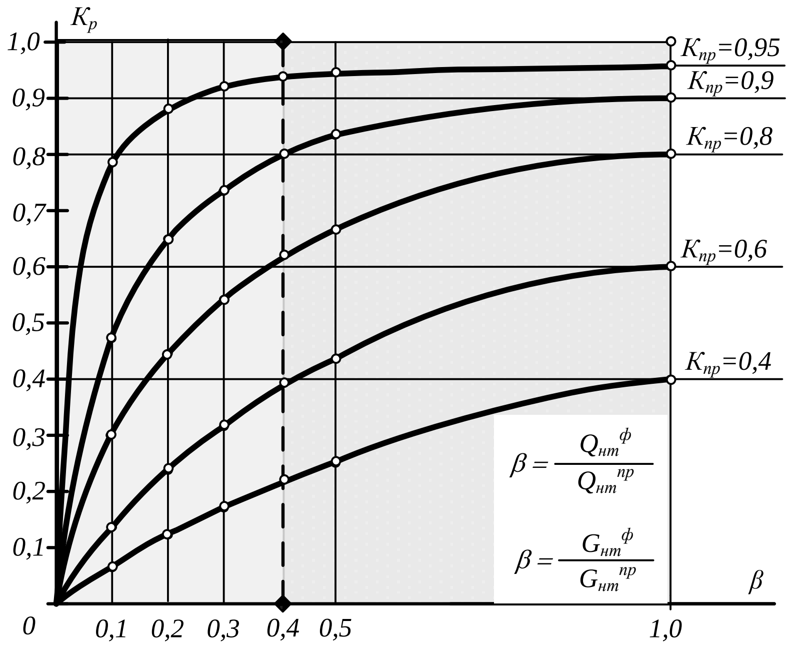


Рисунок 1 – Зависимости значений Кр от β для каналов с различными Кпр

Основные концептуальные направления возрождения орошения на Украине

По характеру осуществления можно выделить такие основные концептуальные направления возрождения орошения на Украине: экономические, технические и организационные. Одним из основных концептуальных направлений экономического характера является разработка и внедрение научно обоснованных методических принципов определения цены на подачу воды на орошение, которая в условиях свободных рыночных отношений становится товаром [4]. В основу концептуальных направлений технического характера положен критерий повышения технической надежности и долговечности оросительных систем. Важным концептуальным направлением организационного характера является разработка и использование методических основ консолидация орошаемых земель, что будет способствовать восстановлению внутрихозяйственных оросительных систем.

Катастрофические паводки на Западной Украине за прошедшие годы

Статистический учет паводковых ситуаций на Украине ведется еще с конца XIX столетия [5]. Так, на р. Прут 2–3 апреля 1897 г. был зафиксирован катастрофический паводок, а 8–9 июля 1911 г. в результате выпадения сильных ливневых дождей уровень воды в р. Прут ниже впадения в нее р. Черемош достиг максимальных, не превзойденных до сих пор значений. В бассейне р. Днестр, Прут и Серет 1–2 сентября 1941 г. прошел чрезвычайно высокий паводок с вероятностью 1 раз в 250–300 лет. Только за последние 20 лет в Карпатском регионе наблюдалось пять паводков, относящихся к разряду катастрофических (в 1995, 1997, 1998, 2001, 2008 гг.).

Основные концептуальные направления превентивной защиты от паводков

Противопаводковые мероприятия по характеру выполнения делятся на два типа: ситуационные и превентивные. Ситуационные мероприятия включают составление краткосрочных прогнозов (менее 12–15 сут) и выполнение комплекса аварийно-спасательных и прочих работ в период приближения, прохождения и после прохождения паводка.

Превентивные мероприятия выполняют путем строительства комплекса гидротехнических объектов (дамб, аккумуляционных водохранилищ, защитных покрытий русел рек и пр.), обеспечивающих долгосрочную противопаводковую защиту территорий и объектов в бассейнах рек. Для достижения высокого уровня превентивной инженерной защиты от паводков на Украине в настоящее время выполняется комплекс методологически скоординированных исследований. Исследования ведутся в таких основных направлениях: прогнозирование паводковых ситуаций по гидрологическим и экономическим показателям, разработка методики определения реального и гипотетического ущерба от паводков, разработка методического инструментария выбора и обоснования проектных решений и параметров защитных сооружений, оценка эффективности защиты от паводков.

Комплексное решение проблемы воды на Украине на основе интегрированного управления водными ресурсами по функционально-стоимостному принципу

Для комплексного решения проблемы дефицита воды и паводков на Украине предложен интегрированный подход к управлению водными ресурсами по показателю эффективности инвестиций, в основу которого положен принцип функционально-стоимостной оценки. На стадии проектирования варианты каждого мероприятия оценивают положительным эффектом, рассчитанным по специальным методикам в денежных единицах (доходом от использования воды, предотвращенным экономическим, экологическим и социальным ущербом от фильтрации, паводков и пр.), который впоследствии сопоставляют с затратами на выполнение мероприятия. Среди альтернативных вариантов при проектировании выбирают вариант с наибольшим показателем эффективности инвестиций. На стадии принятия управленческих решений приоритет реализации предоставляют группе (комплексу) проектов, имеющих наибольшие показатели эффективности инвестиций.

Основной вывод. Для решения проблемы дефицита воды и паводков на Украине необходимо методически доработать и внедрить в практику управления водными ресурсами интегрированный подход по функционально-стоимостному принципу.

Список использованных источников

1 Международная экономическая статистика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:statinfo.biz/data.aspx?act=6467&lang=1, 2018.

2 Петроченко, А. В. Инновационные решения подготовки воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения и орошения / А. В. Петроченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 142–150.

3 Якубова, Х. М. Пути повышения эффективности использования водных ресурсов в бассейне реки Сырдарьи / Х. М. Якубова, И. А. Усманов, С. И. Худайкулов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 177–181.

4 Петроченко, В. И. Основные направления инновационной деятельности по повышению эффективности использования оросительных каналов / В. И. Петроченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 104. – С. 113–118.

5 Швец, Г. И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР / Г. И. Швец. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 512 с.

УДК 519.87:631.587

А. Ф. Рогачёв, Т. А. Рыжова
Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград,
Российская Федерация

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ

Рассматривается когнитивное моделирование и исследование поведения системы орошаемого земледелия региона во внешней среде. Когнитивная модель реализуется с помощью универсальной программы Mathcad, позволяющей производить математические расчеты с использованием аппарата матричных вычислений.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, когнитивные карты, оценка факторов, системы орошаемого земледелия, факторы-индикаторы, факторы среды, программа Mathcad.

****

A. F. Rogachev, T. A. Ryzhova
Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

MATHEMATICAL SUPPORT AND SOFTWARE FOR IMPLEMENTATION OF THE COGNITIVE MODEL OF THE IRRIGATED AGRICULTURE SYSTEM WITH EXTERNAL ENVIRONMENT INTERACTION

The cognitive modeling and the study of the behavior of the region's irrigated agriculture system in the external environment are considered. The cognitive model is implemented with the help of the universal program Mathcad which allows performing mathematical calculations using the matrix calculations apparatus.

Keywords: cognitive modeling, cognitive maps, factor assessment, irrigated farming systems, indicator factors, environmental factors, Mathcad program.

Орошаемое земледелие относится к сложным системам, изучение которых может осуществляться с использованием методов системного анализа [1] и когнитивного моделирования.

Когнитивное моделирование является универсальным научным методом исследования сложных систем [1]. В трудах Г. В. Гореловой [2], В. И. Максимова [3], А. А. Кулинича [4], С. А. Радченко [5], А. Ф. Рогачёва [6, 7] подробно разработаны методы и программные продукты для когнитивного анализа и моделирования.

Успешное применение когнитивных методов для анализа сложных систем, включая взаимовлияние орошаемого земледелия и внешней среды, приведено в работе П. В. Иванова, В. И. Костылева [8].

Стрелки (рисунок 1) отображают направление и взаимовлияние основных факторов. Эколого-экономическая напряженность (v7) отрицательно влияет на природный комплекс (v3), состояние которого является определяющим при функционировании системы орошаемого земледелия (v6). Система орошаемого земледелия заинтересована в охране природы (обратная связь) как одном из важнейших условий обеспечения населения продовольствием (v9). Обеспечение продовольствием (v9) благотворно влияет на общество (v1), является одним из показателей уровня жизни населения (v10), который зависит от объемов производства (v11), планируемых экономикой (v2), при должной политической стратегии (v5).

Политическая стратегия задействует современные технологии и науку (v4) для роста производства (v11), что не отрицает вредного воздействия на природный комплекс, из-за чего повышается эколого-экономическая напряженность (v7).

Когнитивная карта отображает наличие влияний факторов друг на друга. В ней не отражаются временные изменения факторов, детальный характер влияний и динамика в зависимости от ситуации.

Mathcad – универсальная программа, позволяющая производить математические расчеты высокой сложности [9].

Представим кратко методологию когнитивного моделирования:

- разработка модели в виде когнитивной карты;
- исследование саморазвития моделируемой системы и чувствительности модели к входящим факторам.

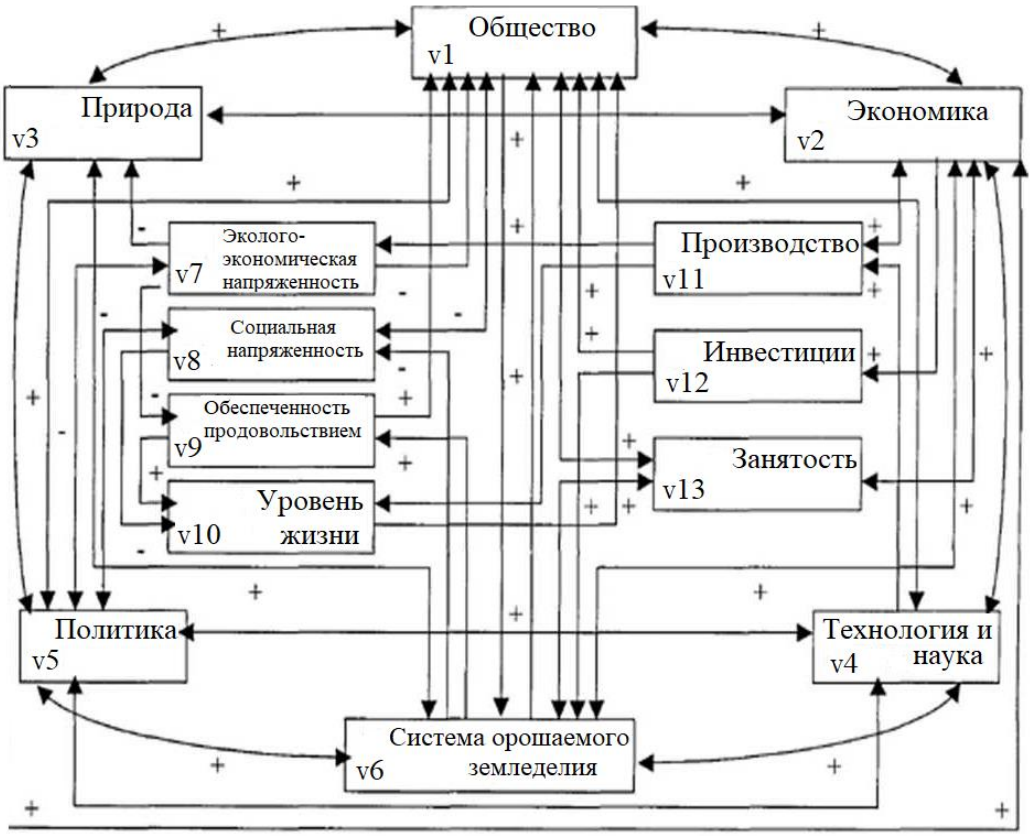


Рисунок 1 – Когнитивная карта взаимодействия системы орошаемого земледелия с внешней средой [2]

На первом этапе строилась когнитивная карта в виде орграфа:

$$G = (V, E, w),$$

где G – знаковый ориентированный граф;

$V = \{V_i\}$ – множество вершин, которыми выступают исследуемые факторы ситуации;

$E = \{E_{ij}\}$ – множество дуг, отражающих причинно-следственные взаимосвязи между вершинами;

$w = \{w_{ij}\}$ – множество весов, которые определяют силу влияния между вершинами, $w_{ij} \in [-1, 1]$.

На основании когнитивной карты строились матрицы взаимовлияний. Расчеты и построение графиков процесса саморазвития велись с помощью программы Mathcad.

Динамика свободного развития модели определяется уравнением:

$$X(t) = (I_N + A + A^2 + \ldots + A^t) \cdot x(0)^\tau,$$

где I_N – единичная матрица размером $n \times n$;

n – количество факторов;

A – матрица взаимовлияния, размерности $n \times n$;

$x(0)$ – вектор начальных значений факторов, размерности $1 \times n$.

Методом матричного анализа нами исследована чувствительность рассмотренной когнитивной модели к входящим факторам, значения параметров которых приведены в таблице 1.

На рисунке 2 представлены результаты моделирования саморазвития ситуации, т. е. изменение параметров сложной многофакторной системы без влияния внешней среды.

$$A := \begin{pmatrix} 0 & 0.14 & 0.14 & 0.14 & 0.14 & 0.14 & 0 & -0.14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.14 \\ 0.14 & 0 & 0.14 & 0.14 & 0 & 0.14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.14 & 0.14 & 0.14 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.16 & 0 & 0.16 & 0.16 & 0 & 0.16 & -0.16 & -0.16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.12 & 0.12 & 0.12 & 0.12 & 0.12 & 0 & 0 & -0.12 & 0.12 & 0 & 0 & 0 & 0.12 \\ -0.33 & 0 & -0.33 & 0 & -0.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.33 & 0 & 0 & 0 & -0.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.33 & 0.33 & 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

$$x_0^{\tau} = (0.6;0.6;0.6;0.6;0.6;0.4;0.4;0.6;0.6;0.6;0.5;0.6;0.6).$$

Таблица 1 – Начальные значения факторов

Фактор среды	Начальное значение	Фактор-индикатор	Начальное значение
v1 – общество	0,6	v7 – эколого-экономическая напряженность	0,4
v2 – экономика	0,6	v8 – социальная напряженность	0,6
v3 – природа	0,6	v9 – обеспеченность продовольствием	0,6
v4 – технологии и наука	0,6	v10 – уровень жизни	0,6
v5 – политика	0,6	v11 – производство	0,5
v6 – система орошаемого земледелия	0,4	v12 – инвестиции	0,6
		v13 – занятость	0,6

Из данных графиков ясно, что почти монотонно возрастают показатели экономического развития региона (v9 – обеспеченность продовольствием, v10 – уровень жизни, v12 – инвестиции, v13 – занятость) на определенном интервале времени с одновременным снижением эколого-экономической и социальной напряженности (v6 и v7 соответственно), небольшим ростом производства (v11) (рисунок 2).

Целью когнитивного моделирования, реализованного в настоящем исследовании, является формирование и уточнение последствий саморазвития ситуации и выявление наиболее существенных факторов, характеризующих взаимодействие объекта и внешней среды, а также установление причинно-следственных связей между ними. Исследуем более детально наличие влияний факторов друг на друга с помощью группы когнитивных моделей, близких к описанной в работе П. В. Иванова, В. И. Костылева [8]. Последовательно будем исключать по одному из факторов среды и рассматривать динамику всех факторов модели (рисунки 3–6).

По оси абсцисс на графиках отложены безразмерные временные последовательности (1, 2, …), соответствующие «эпохам» когнитивного моделирования.

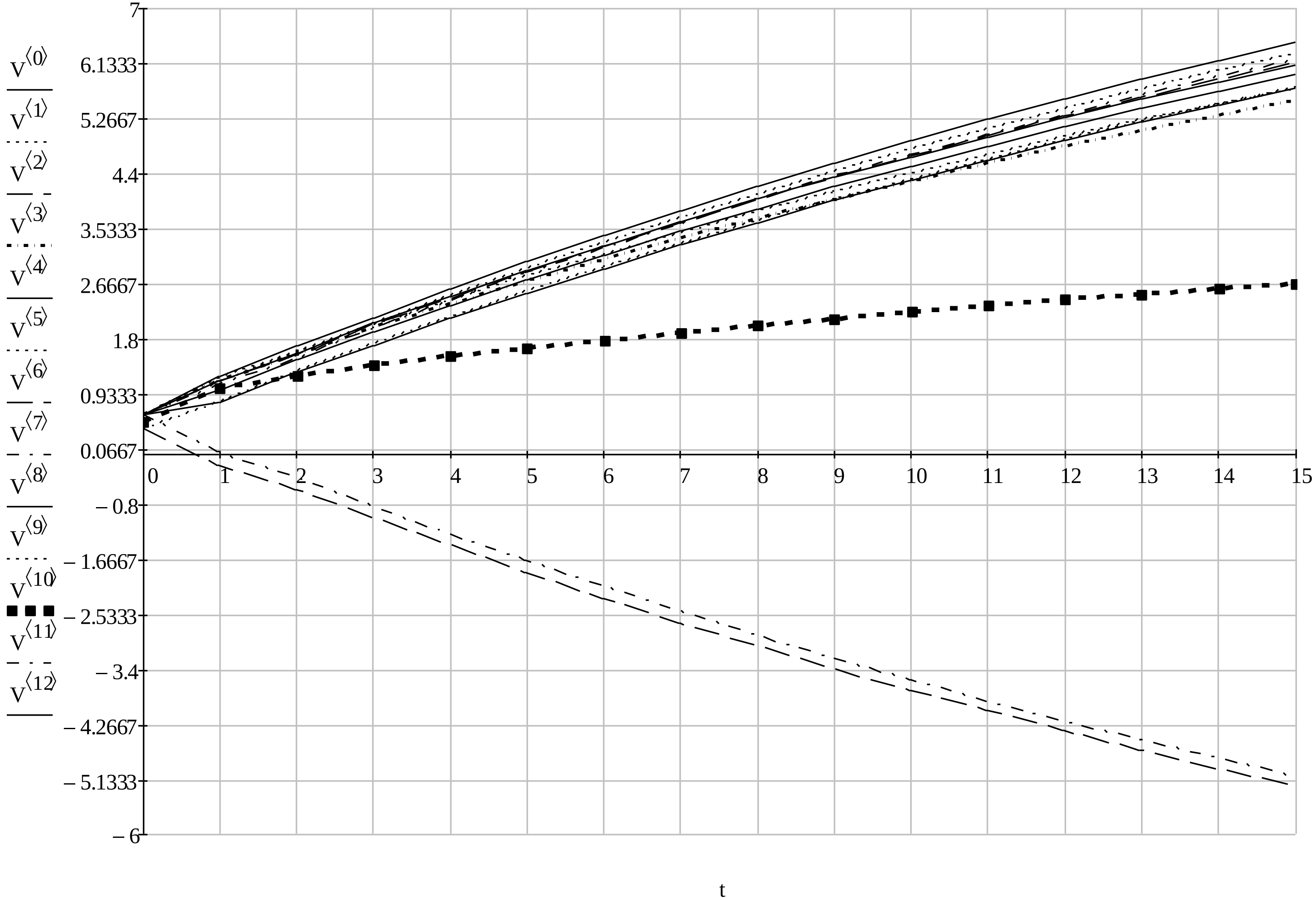


Рисунок 2 – Вариант саморазвития ситуации, присутствуют все факторы

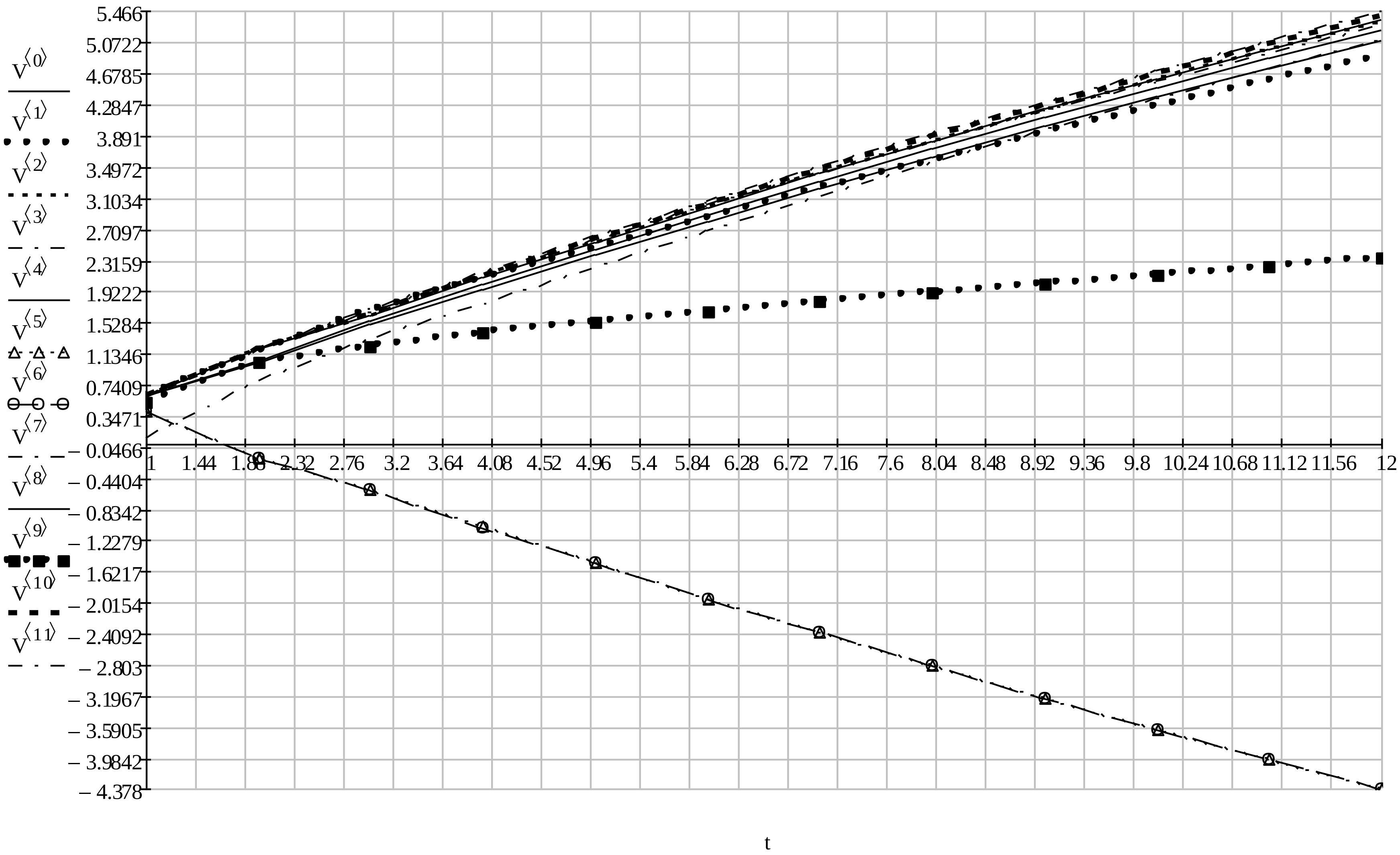


Рисунок 3 – Вариант саморазвития ситуации, отсутствует фактор среды «природа»

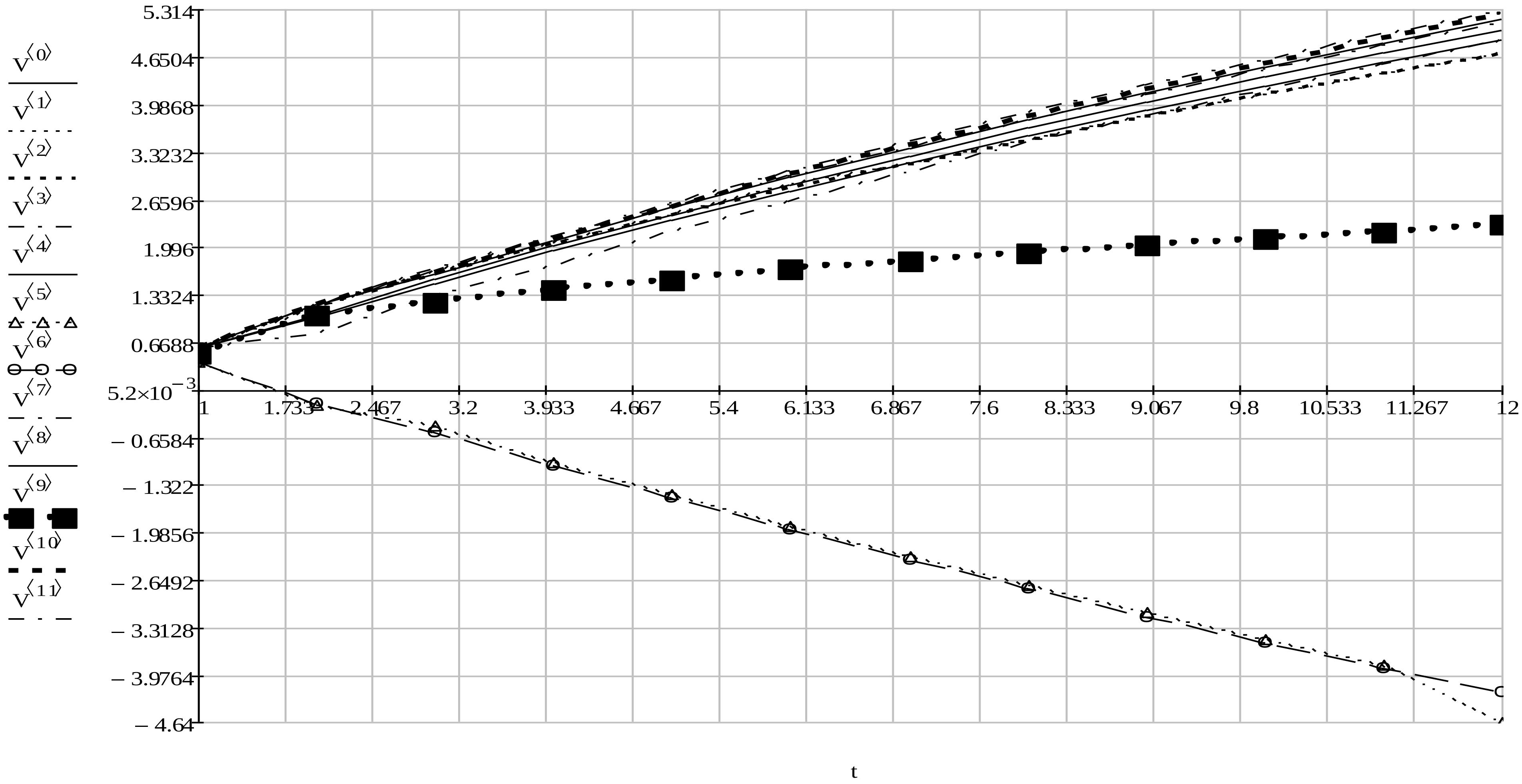


Рисунок 4 – Вариант саморазвития ситуации, отсутствует фактор среды «экономика»

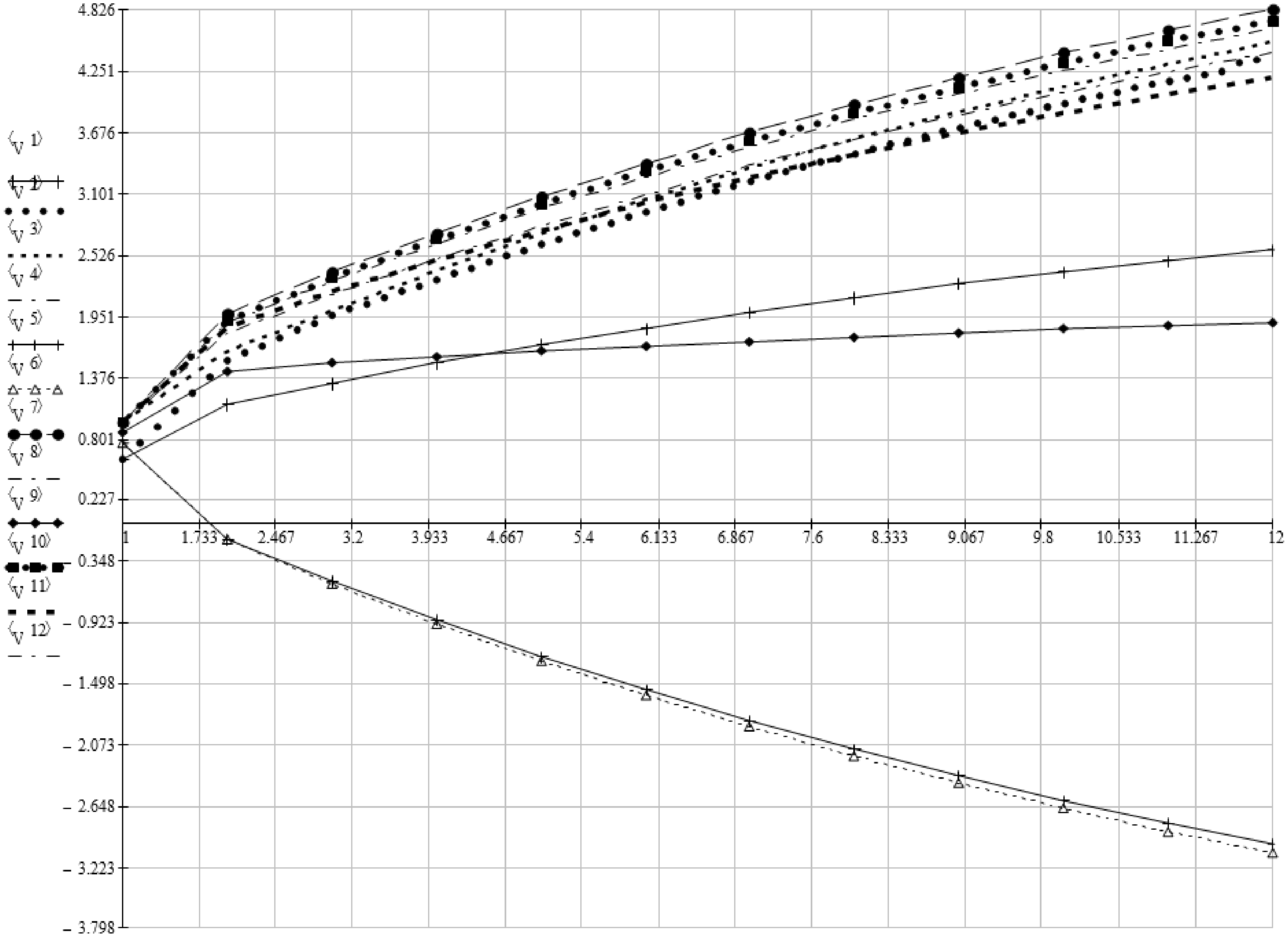


Рисунок 5 – Вариант саморазвития ситуации, отсутствует фактор среды «технологии и наука»

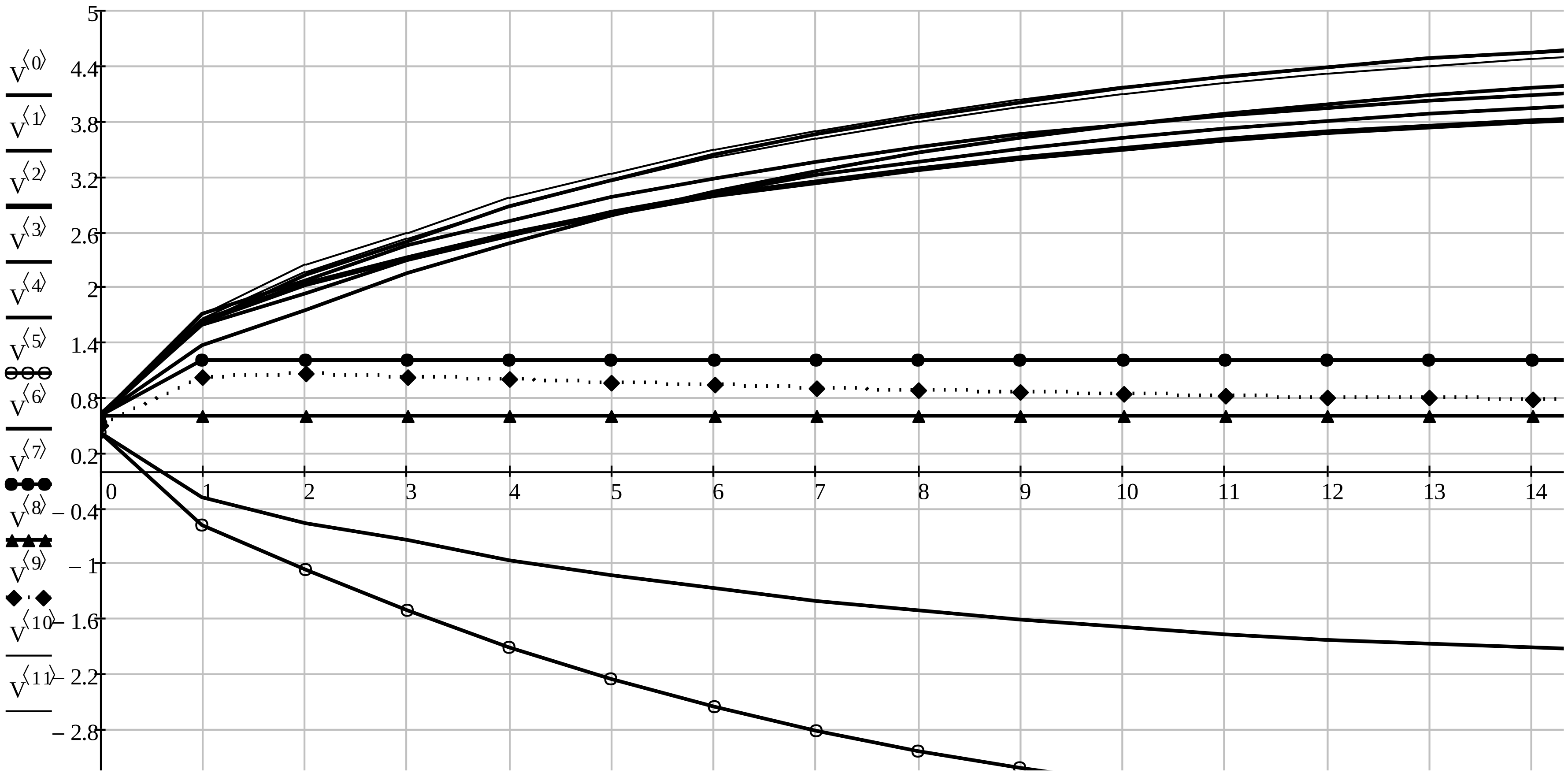


Рисунок 6 – Вариант саморазвития ситуации, отсутствует фактор среды «общество»

В зависимости от поведения графики сценариев развития модели (рисунки 2–6) можно условно разделить на три группы. В первой группе все графики ведут себя примерно одинаково, так же, как в описанной модели [8] (рисунки 3, 4). Во второй группе большинство графиков ведут себя так же, как в описанной модели [8], кроме графиков следующих факторов: производство (v11) и уровень жизни (v10), они возрастают в меньшей мере (отсутствует фактор «технологии и наука» (рисунок 5)). Наибольшее влияние в исследуемой модели оказывает фактор «общество» (v1) (рисунок 6), это третья группа графиков. При его отсутствии факторы «обеспеченность продовольствием» (v9) и «уровень жизни» (v10) ухудшились на 63 и 83 % соответственно, а «производство» (v11) упало на 33 %.

Таким образом, когнитивную модель взаимодействия системы орошаемого земледелия с внешней средой П. В. Иванова, В. И. Костылева [8] можно принять в качестве базовой. Исключение любого из входящих в нее факторов приводит к изменениям, превышающим 5 %, что является нежелательным. В дальнейшем планируется более детально рассмотреть декомпозицию мелиоративного блока с учетом новых технических решений и современных ресурсосберегающих технологий.

Список использованных источников

1 Волкова, В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учебник / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – СПб.: Изд-во СПГГТУ, 2005. – 520 с.

2 Горелова, Г. В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г. В. Горелова, Е. Н. Захарова, С. А. Радченко. – Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.

3 Максимов, В. А. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию / В. А. Максимов // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: материалы 1-й Междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2001. – Т. 1. – С. 4–18.

4 Кулинич, А. А. Система когнитивного моделирования «Канва» [Электронный ресурс] / А. А. Кулинич. – М., 2005. – Режим доступа: http:raai.org/about/persons/kulinich/pages/kanva2003.html, 2018.

5 Радченко, С. А. Разработка когнитивных моделей и программных средств для анализа процесса функционирования социально-экономических систем: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / Радченко Сергей Александрович. – Ростов н/Д., 2007. – 24 с.

6 Математическое моделирование и анализ эколого-экономического регулирования с учетом трансграничного загрязнения окружающей среды / А. Ф. Рогачёв [и др.]. – Волгоград, 2015. – 172 с.

7 Рогачёв, А. Ф. Проблемы статистического оценивания параметров когнитивной карты на основе корреляционного анализа / А. Ф. Рогачёв, Е. В. Мелихова // Физико-математические науки: теория и практика: сб. материалов междунар. науч. конф. / ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. – Волгоград, 2014. – С. 55–62.

8 Иванов, П. В. Когнитивные технологии моделирования системы орошаемого земледелия региона / П. В. Иванов, В. И. Костылев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2012. – № 78(04). – 10 с. – Режим доступа: http:ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/30.pdf.

9 Мелихова, Е. В. Применение комплексов программ Mathcad для решения задач математического моделирования: учеб. пособие / Е. В. Мелихова. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2016. – 140 с.

МЕЛИОРАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.674.6:631.675.2

А. С. Штанько, В. Н. Шкура
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

О СПОСОБЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИВНОЙ НОРМЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ РАСТЕНИЙ

Цель исследования – рассмотрение и анализ способа определения поливной нормы при капельном орошении, представленного в патенте RU № 2204241. В процессе исследования установлены исходные данные и алгоритм определения поливной нормы, изучены примеры расчета. Полученные результаты исследования позволили выявить недостатки предложенного в патенте RU № 2204241 способа определения поливных норм при капельном орошении растений с образованием сплошной полосы увлажнения, которые и предопределяют необходимость разработки новых (более точных, обоснованных и учитывающих выявленные недостатки) предложений и рекомендаций по определению поливных норм капельного орошения растений, обеспечивающих формирование зон увлажнения подкапельного почвенного пространства заданных размеров (объемов) и требуемой влажности для широкого спектра почвенных, фенологических и технологических условий капельного полива.

Ключевые слова: капельное орошение, поливная норма, полоса увлажнения, контур увлажнения, почвенные условия, технологические условия.

****

A. S. Shtanko, V. N. Shkura
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

ON METHOD OF DETERMINING THE IRRIGATION NORM IN DRIP IRRIGATION OF PLANTS

The purpose of the study is to examine and analyze the method for determining the irrigation norm for drip irrigation presented in patent RU no. 2204241. The initial data and the algorithm for determining the irrigation norm were stated during the study, examples of calculation were studied. The obtained results of the research made it possible to reveal the shortcomings of the method of determining the irrigation norms in drip irrigation of plants proposed in patent RU no. 2204241 with the formation of a continuous moistening band, which predetermines the need to develop new proposals and recommendations (more accurate and justified and taking into account the shortcomings) on determining the irrigation norms of drip irrigation of plants that provide the formation of moistening zones of subsurface drip soil space of specified sizes (volumes) and required humidity for a wide range of soil, phenological and technological conditions of drip irrigation.

Key words: drip irrigation, irrigation norm, moistening band, moistening contour, soil conditions, technological conditions.

Введение. Величина поливной нормы при капельном орошении растений является основным фактором, определяющим как урожайность сельскохозяйственных культур, так и экономическую и экологическую эффективность применения систем и технологии капельного орошения. К настоящему времени разработан и предложен ряд методов, способов и зависимостей для определения поливной нормы при капельном орошении растений, рассмотрение и анализ одного из наиболее известных предложений является целью настоящего аналитического исследования.

Материалы и методы. Известен способ определения поливных норм при капельном орошении (патент RU № 2204241 [1]), предусматривающий инструментальное определение почвенных характеристик на орошаемом участке (плотности сложения («объемной массы») почвы $\gamma_{об}$, т/м^3, наименьшей влагоемкости $W_{НВ}$ (или $\beta_{НВ}$), % массы сухой почвы (% МСП), уровня предполивной влажности почвенного слоя $\beta_{д/п}$, % $\beta_{НВ}$) и с учетом указанных параметров расчетное установление предварительного значения поливной нормы («объема водоподачи на одну капельницу») по формуле, которая в наших обозначениях имеет вид, м^3/кап.:

$$(N_{пол})_{кап} = l_{м/к} \cdot b_{увл} \cdot h_{увл} \cdot \gamma_{об} \cdot k_{н} \cdot (\beta_{НВ} - \lambda \cdot \beta_{НВ}), \qquad (1)$$

где $(N_{пол})_{кап}$ – поливная норма или «объем водоподачи» на одну капельницу, м^3/кап.;

$l_{м/к}$ – межкапельное расстояние (шаг размещения капельниц) на капельной линии, м;

$b_{увл}$ – ширина полосы увлажнения или диаметр единичного контура увлажнения $d_{кон}$, формирующегося в подкапельном почвенном пространстве при отсутствии смыкания, а точнее, взаимного наложения части смежных единичных контуров – без образования полосы увлажнения, м;

$h_{увл}$ – расчетная (заданная) глубина увлажняемого слоя почвы или глубина контура капельного увлажнения $h_{кон}$, м;

$\gamma_{об}$ – плотность сложения («объемная масса») почвы в пределах расчетного слоя увлажнения почвы, т/м^3;

$k_{н}$ – коэффициент, учитывающий степень порозности и водопроницаемости увлажняемого почвенного слоя на орошаемом участке при капельном способе полива;

$\beta_{НВ}$ – средняя влажность активного слоя почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости, % МСП;

λ – коэффициент предполивной влажности почвы, соответствующий нижней границе увлажнения, в долях единицы [1].

По заявленному в патенте RU № 2204241 материалу, использование предложенной патентообладателем зависимости позволяет определить предварительное («расчетное») значение поливной нормы («объема водоподачи») на одну капельницу для параллелепипедной формы контура увлажнения. Окончательная («уточненная») величина поливной нормы $(N_{пол})_{кап}$ на одну капельницу выявляется при постановке инструментального ее определения на орошаемом участке с использованием «эталонной» («откалиброванной») капельницы с определенными (соответствующими поливной сети) расходно-напорными характеристиками. При постановке контрольного («полевого») измерения определяются параметры зоны увлажнения, сопоставляемые с предварительно заданными значениями $h_{увл}$ или $h_{кон}$, $b_{увл}$ или $d_{кон}$. В результате сопоставления параметров зоны увлажнения окончательно принимается расчетное или скорректированное значение поливной нормы (объема водоподачи) одной капельницы.

В описании к патенту [1] рассмотрен пример определения поливных норм $(N_{пол})_{кап}$ для нижеследующих почвенных и технологических условий капельного полива посаженных в ряд растений томата. Почвенный покров орошаемого участка представлен светло-каштановыми однородными сильно уплотненными тяжелосуглинистыми почвами с наименьшей влагоемкостью $W_{НВ}$ = 24,2 % МСП и «объемной массой» в пределах увлажняемого почвенного слоя $h_{увл}$ = 0,5 м, составляющей $\gamma_{об}$ = 1,29 т/м^3.

Полив осуществлялся капельницами с расходом $q_{кап}$ = 1,55 л/ч, встроенными в капельную линию с шагом $l_{м/к}$ = 0,4 м. Расчет предварительного объема водоподачи, приходящегося на одну капельницу, выполнен для условий: $h_{увл}$ = 0,5 м; $b_{увл}$ = 0,6 м; $\beta_{п/п} = \beta_{НВ}$ = 24,2 % МСП; λ = 0,9; 0,8; 0,7 и 0,6 (для $\beta_{д/п}$ = 0,9; 0,8; 0,7 и 0,6 $\beta_{НВ}$).

Результаты и обсуждение. Расчеты по предварительному определению величины поливной нормы («объема водоподачи») для разных уровней предполивной влажности авторами патента выполнены при $k_{н}$ = 1,0 (без объяснения и обоснования принятого его значения). Отметим, что в обосновывающих материалах отсутствуют сведения по принятым критериям инструментального определения глубины и ширины зоны увлажнения; используются термины «активный слой почвы» и «активный корнеобитаемый горизонт» без указания, что под этими терминами понимается и какими геометрическими параметрами (размерами) они ограничиваются; отсутствуют данные об уровне влажности законтурного почвенного пространства. По выполненным авторами патента расчетам были получены предварительные («расчетные») значения поливных норм для разных уровней дополивной влажности почвы.

В описании к патенту приведены данные по измеренным параметрам формирующихся в подкапельном почвенном пространстве контуров увлажнения (по глубине и ширине зоны промачивания) при различной продолжительности полива и различных поливных нормах $(N_{пол})_{кап}$ (таблица 1).

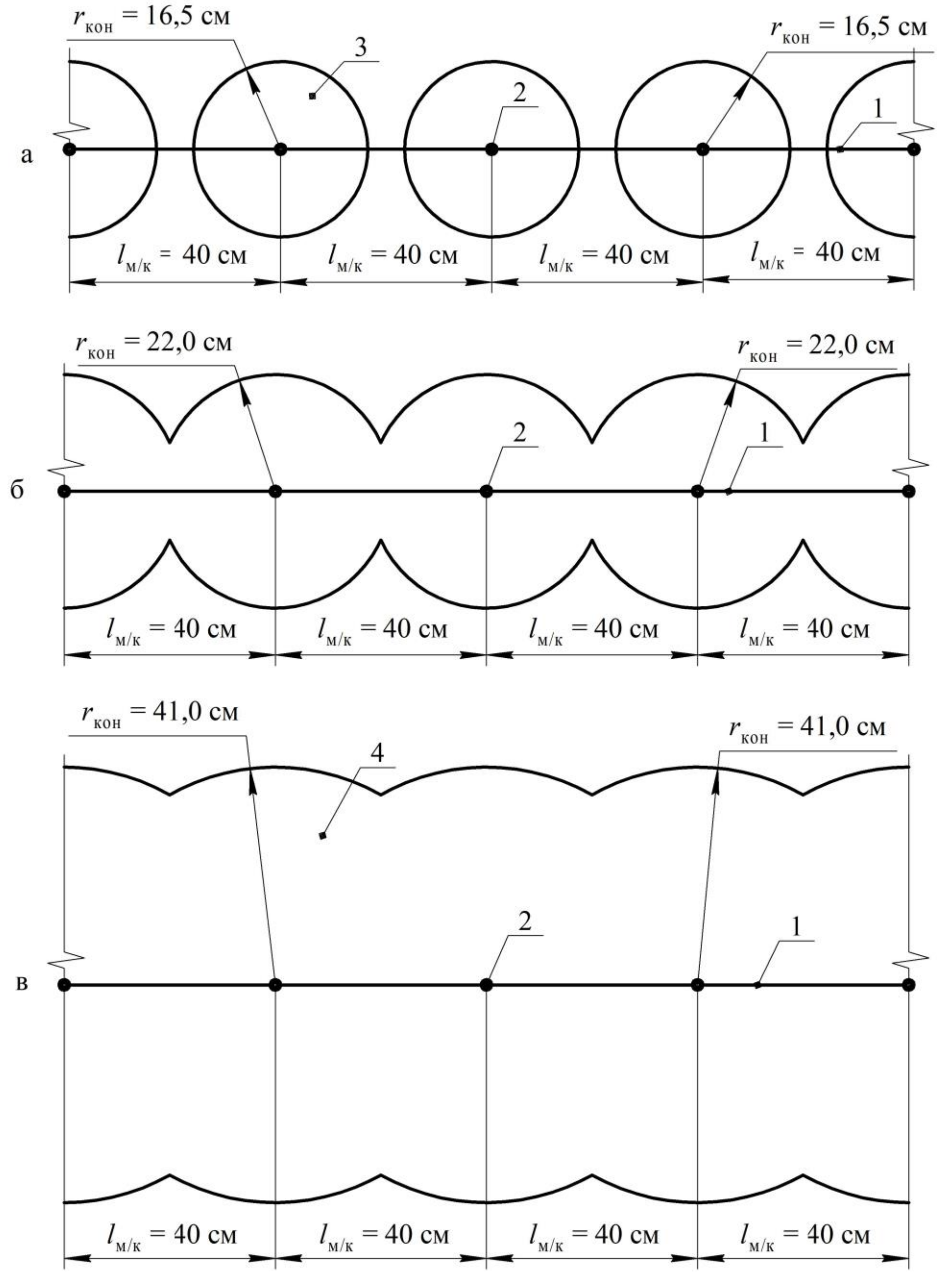
Таблица 1 – Данные первичных измерений параметров контуров капельного увлажнения почвы по патенту RU № 2204241

Параметр	Значение параметра					
Продолжительность полива (каплевания) $t_{кап}$, ч	2	3	4	5	8	10
Поливная норма $(N_{пол})_{кап}$, л	3,10	4,65	6,20	7,75	12,40	15,50
Глубина контура $h_{кон}$, см	16,0	19,0	22,0	26,0	36,0	43,0
Диаметр контура $d_{кон}$, см	33,0	44,0	49,0	54,0	71,0	82,0

В описании к патенту [1] отмечено, что «смыкание контуров увлажнения по длине увлажнителя наступает через 3 часа после полива», но при этом не указывается, при какой поливной норме данное обобщение справедливо. В связи с этим отметим, что, судя по рисунку 1, построенному нами по данным таблицы 1, смыкание единичных (отдельных) контуров увлажнения почвы наблюдается уже в процессе полива при $t_{кап}$ = 3 ч и более.

Нельзя признать обоснованным утверждение авторов патента о том, что при времени водоподачи, превышающем 5 ч, контур увлажнения распространяется за пределы расчетной зоны промачивания, так как глубина промачивания почвы по данным авторов патента при $t_{кап}$ = 5 ч составляла $h_{увл}$ = 0,26 м, а при $t_{кап}$ = 10 ч $h_{увл}$ = 0,43 м, что меньше заданного при расчете значения $h_{увл}$ = 0,50 м. Из приведенных данных неясно, при какой поливной норме, для каких «влажностных» условий полива и за какой период «параметры зоны увлажнения составили: ширина – 0,6 м и глубина – 0,5 м».

С учетом имеющего место увеличения диаметра $d_{кон}$ и глубины $h_{кон}$ контуров в постполивной период для тяжелосуглинистых почв в 1,1 раза прогнозируемые значения этих параметров могут достигнуть приведенных в таблице 2 величин.



а – при $t_{кап}$ = 2 ч, $(N_{пол})_{кап}$ = 3,10 л; *б* – при $t_{кап}$ = 3 ч, $(N_{пол})_{кап}$ = 4,65 л;

в – при $t_{кап}$ = 10 ч, $(N_{пол})_{кап}$ = 15,5 л; *1* – капельная линия; *2* – капельница;

3 – единичный контур увлажнения; *4* – полоса увлажнения; $r_{кон}$ – радиус контура, см

Рисунок 1 – Динамика формирования зон (контуров) увлажнения почвы в процессе капельного полива

Таблица 2 – Прогнозные значения диаметров и глубин контуров увлажнения (по первичным данным патента RU № 2204241)

Параметр	Значение параметра					
Поливная норма $(N_{пол})_{кап}$, л	3,10	4,65	6,20	7,75	12,40	15,50
Глубина контура $h_{кон}$, см	17,6	20,9	24,2	28,6	39,6	47,3
Диаметр контура $d_{кон}$, см	36,3	48,4	53,9	59,4	78,1	90,2

По прогнозируемым значениям $h_{кон}$ и $d_{кон}$ можно заключить, что при всех исследованных величинах поливных норм глубина зоны увлажнения подкапельного почвенного пространства не достигнет заданного значения $h_{увл}$ = 50 см, а диаметр контура (ширина полосы) увлажнения почвы достигнет заданного значения 60 см и превысит его при поливной норме $(N_{пол})_{кап}$ > 7,75 л.

В материалах патента предусмотрено введение в расчетную зависимость (1) корректирующего поливную норму коэффициента $k_н$ = 0,5, что приведет к уменьшению параметров зоны увлажнения как на конец капания, так и в постполивном периоде в сравнении с предварительно принятыми значениями, приведенными в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры капельного полива и контуров увлажнения почвы при рекомендуемом патентом снижении поливных норм

Параметр	Значение параметра			
Продолжительность полива (капания) $t_{кап}$, ч	1,21	2,42	3,63	4,83
Поливная норма $(N_{пол})_{кап}$, л	1,87	3,75	5,62	7,49
Глубина контура $h_{кон}$, см, при $t_{п/п}$ = 0 ч	12,96	17,07	21,17	25,26
Диаметр контура $d_{кон}$, см, при $t_{п/п}$ = 0 ч	31,43	38,50	45,53	52,56
Глубина контура $h_{кон}$, см, при $t_{п/п}$ = 24 ч	14,26	18,78	23,29	27,79
Диаметр контура $d_{кон}$, см, при $t_{п/п}$ = 24 ч	34,57	42,35	50,08	57,82

Судя по данным таблицы 3, ни один из режимов полива не обеспечивает значений зоны увлажнения как по глубине ($h_{увл}$ = 50 см), так и по ширине ($b_{увл}$ = 60 см).

В описании к патенту предпринята попытка обоснования необходимости использования при расчетах поливной нормы $(N_{пол})_{кап}$ коэффициента $k_н$ и его величины. В связи с этим отмечено: «Почвенные разности и различия водопроницаемости на одном и том же орошаемом участке, вызванные различием увлажнения по длине увлажнителей, требуют снижения времени поливов («уменьшения водоподачи») для повышения качества полива путем увеличения равномерности распределения слоя осадков во времени, снижения инфильтрационных потерь и водной эрозии почв». Кроме этого, в части обоснования величины коэффициента $k_н$ (как параметра, учитывающего неоднородность почвенных условий) отмечено, что «для снижения себестоимости получаемой продукции томатов, эрозии почвы и выноса солей из корнеобитаемого слоя в нижележащие горизонты увеличивают интервал времени между поливами, что способствует уменьшению водоподачи на 50 %». Указанные (по нашему мнению, необъясненные и экспериментально необоснованные) утверждения и обобщения положены в обоснование необходимости применения коэффициента $k_н$ и его величины $k_н$ = 0,5.

Выводы. Проведенный выше анализ расчетной зависимости и обосновывающих материалов по патенту RU № 2204241 позволяет заключить нижеследующее.

1 В зависимости (1) используется понятие ширины полосы увлажнения почвы при отсутствии указаний по определению ее границ и осреднения ее значений за счет наличия неувлажняемых зон на участках смыкания единичных контуров.

2 Соотношение $l_{м/к} \times b_{увл} \times h_{увл}$ определяет объем контура увлажнения в форме параллелепипеда, тогда как в реальных формах полосы капельного увлажнения почвы таковая не наблюдается, что приводит к завышению поливной нормы.

3 В процессе капельного полива в исследованном временном периоде каплевания (от 2 до 10 ч) и с соответствующим увеличивающимся во времени $t_{кап}$ объемом водоподачи наблюдается увеличение ширины и глубины зоны увлажнения.

4 В соответствии с данными, приведенными в патенте, ширина зоны увлажнения в среднем вдвое превышает глубину увлажняемого слоя почвы, что не коррелируется с известными данными других исследователей, полученными в сходных почвенных и технологических условиях капельного полива. Одним из возможных обстоятельств, объясняющих указанное в патенте RU № 2204241 соотношение ширины и глубины зоны увлажнения, может быть отмеченное в описании «сильное уплотнение» светло-каштановой тяжелосуглинистой почвы.

5 Судя по патенту, «параметры зоны увлажнения составили: ширина – 0,6 м и глубина – 0,5 м», что возможно только для случаев: $t_{кап}$ = 2 ч и $(N_{пол})_{кап}$ = 3,1 л или $t_{кап}$ = 5 ч и $(N_{пол})_{кап}$ = 7,75 л, так как при $t_{кап}$ > 5,5 ч ширина зоны увлажнения уже достигает заданной ширины зоны $b_{увл}$ = 0,6 м и даже превышает ее.

6 В описании подтверждающих материалов отсутствуют сведения по применяемым критериям определения значений $h_{кон}$ и $d_{кон}$ ($h_{увл}$ и $b_{увл}$), что не позволяет объективно оценить их сходимость с известными данными других исследователей.

7 Величина параметра $k_{н}$ принята без описания обосновывающих данных, что не позволяет оценить его обоснованность. Уменьшенные в связи с использованием этого коэффициента нормы полива не имеют экспериментального подтверждения.

8 Полученные результаты исследования позволили выявить недостатки предложенного в патенте RU № 2204241 способа определения поливных норм при капельном орошении растений с образованием сплошной полосы увлажнения, которые и предопределяют необходимость разработки новых (более точных, обоснованных и учитывающих выявленные недостатки) предложений и рекомендаций по определению поливных норм капельного орошения растений, обеспечивающих формирование зон увлажнения подкапельного почвенного пространства заданных размеров (объемов) и требуемой влажности для широкого спектра почвенных, фенологических и технологических условий капельного полива.

Список использованных источников

1 Пат. 2204241 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/02. Способ определения поливных норм при капельном орошении томатов / Кружилин И. П., Салдаев А. М., Кружилин Ю. И., Ходяков Е. А., Галда А. В.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т орошаемого земледелия. – № 2001128337/13; заявл. 18.10.01; опубл. 20.05.03, Бюл. № 14. – 5 с.

УДК 332.368:502.175

М. Н. Файзуллаева
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан;
Управление по экологии и охране окружающей среды г. Ташкента, Ташкент, Республика Узбекистан

О СОСТОЯНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ОРОШАЕМОЙ ЗОНЕ УЗБЕКИСТАНА

В статье анализируются результаты наблюдений за состоянием окружающей природной среды и степень ее загрязнения на территории деятельности Центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан. За сопоставительный период (1980–2017 гг.) при существующем уровне организации взаимоотношений в системе «общество – окружающая природная среда» в целом наблюдается тенденция к улучшению экологической ситуации. Вместе с тем на территориях отдельных областей *содержание загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы сравнительно выше их предельно допустимой концентрации. Несмотря на некоторое уменьшение степени загрязненности почв, на территориях, расположенных в верхнем и среднем течении р. Сырдарьи (Андижанская, Ферганская и Сырдарьинская области) и верхнем течении р. Амударьи (Сурхандарьинская область), отмечено увеличение содержания пестицидов по сравнению с предельно допустимой концентрацией.*

Ключевые слова: окружающая среда, мониторинг, загрязнение, ретроспективный анализ, водные ресурсы, орошаемые почвы, предельно допустимая концентрация, суммация воздействия загрязняющих веществ, пестициды, устойчивое природопользование.

****

M. N. Fayzullaeva
Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan;
Department of Ecology and Environmental Protection in Tashkent, Tashkent, Republic of Uzbekistan

ON STATE OF THE ENVIRONMENT IN THE IRRIGATED ZONE OF UZBEKISTAN

The observation results of the state of the environment and the degree of its pollution in the area of the Hydrometeorological Service Center activity of the Republic of Uzbekistan are analyzed. For the comparative period (1980–2017) the tendency for improving the ecological situation in general at the existing level of relationships in the system "society – environment" is observed. At the same time the content of pollutants in the surface layer of the atmosphere is relatively higher than their maximum allowable concentration in certain regions. Despite some decrease in the degree of soil pollution, in the territories located in the upper and middle courses of the river Syrdarya (Andigan, Fergana and Syrdarya regions) and the upper course of the river Amurdarya (Surkhandarinskiy region), an increase in the content of pesticides in comparison with the maximum allowable concentration was noted.

Key words: environment, monitoring, pollution, retrospective analysis, water resources, irrigated soils, maximum allowable concentration, summation of effects of pollutants, pesticides, sustainable use of natural resources.

Введение. Экономика страны зависит от ряда факторов, определяющих ее развитие, в т. ч. от состояния окружающей среды. Так, загрязнение экосистем, нерациональное использование природных ресурсов могут привести к высокой заболеваемости и снижению качества жизни населения, истощению природных ресурсов, соответственно, к снижению трудовой производительности, что в конечном итоге предопределяет спад экономического роста.

Основными индикаторами, определяющими экологическое состояние окружающей среды, являются уровень загрязнения атмосферного воздуха, водных, земельных ресурсов, заболеваемость населения и др. Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 3 апреля 2002 г. № 111 «Положение о государственном мониторинге окружающей природной среды в республике» определены функции каждого соответствующего министерства и ведомства, основные принципы организации работ в системе государственного мониторинга. При этом координация деятельности по обеспечению функционирования мониторинга возложена на Государственный комитет по экологии и охране окружающей среды [1].

Материалы и методы. В работе применен сравнительно-аналитический метод исследования с использованием официальных данных Узгидромета.

Результаты и обсуждение. Ретроспективный анализ результатов систематических наблюдений на территории деятельности Центра гидрометеорологической службы

Узбекистана свидетельствует о наличии определенных различий в степени загрязнения окружающей среды в зависимости от состава, структуры и деятельности отраслей народного хозяйства в бассейне основных водотоков.

Так, на территориях, расположенных в среднем и нижнем течении р. Амударьи, наблюдается значительное превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) следующих загрязняющих веществ в атмосферном воздухе: пыли (Бухара, Навои, Самарканд, Нукус), оксида углерода (Бухара), аммиака (Бухара, Навои), диоксида серы (Навои, Самарканд, Нукус), диоксида азота и фенола (Навои), фтористого водорода (Самарканд) [2–5].

Вследствие суммации воздействия загрязняющих веществ может наблюдаться их превышение в случаях, когда в отдельности количество каждого вещества не превышает ПДК. В результате эффекта суммации воздействия загрязняющих веществ[1] за наблюдаемый период 1980–2016 гг. самым загрязненным по бассейну р. Амударьи являлся атмосферный воздух в районе расположения поста Навои и Самарканд (1980 г.) (4,10–6,80 мг/м^3). В целом на постах наблюдается динамика снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха за рассматриваемый период (таблица 1).

В разрезе бассейна р. Сырдарьи также отмечается динамика уменьшения загрязняющих веществ (Андижан, Фергана, Ташкент). Однако в отдельные годы наблюдаются превышения концентрации пыли (Андижан, Фергана, Ташкент), диоксида серы (Андижан, Фергана, Ташкент), оксида углерода (Андижан), диоксида азота (Андижан, Фергана, Ташкент), аммиака (Андижан, Фергана, Ташкент). В результате эффекта суммации загрязняющих веществ высокое загрязнение атмосферного воздуха отмечается в следующих постах: Ташкент, Андижан, Фергана. Следует отметить, что основными загрязнителями атмосферы являются автотранспорт и промышленность, в частности недостаточно очищенные, аварийные или залповые выбросы предприятий.

Существенными источниками поступления фенолов в окружающую среду являются металлургические и коксохимические заводы, предприятия кожевенной и мебельной промышленности, а также производства фенолформальдегидных смол, клеев, пластмасс. Среди разнообразных загрязняющих веществ тяжелые металлы и их соединения выделяются широкой распространенностью, высокой токсичностью, многие из них обладают свойством накопления в живых организмах. Они также поступают в окружающую среду с выбросами промышленных предприятий, с промышленными и бытовыми стоками. Многие металлы образуют стойкие органические соединения, хорошая растворимость этих комплексов способствует миграции тяжелых металлов в природных водах. Источником загрязнения азотной группы могут являться окислы азота в атмосфере, хозяйственно-бытовые стоки, сточные воды пищевых предприятий и животноводческих комплексов, стоки с сельскохозяйственных полей.

За рассматриваемый период 1980–2015 гг. в р. Амударье наблюдается превышение ПДК соединений меди, цинка, нефтепродуктов, хрома и фенолов, в р. Сырдарье – превышение ПДК фенолов, нефтепродуктов, солей хрома VI, азота нитритного, цинка, меди и минерализации (таблица 2) [6–8].

Почвенный покров, как базисобразующая основа устойчивого развития отраслей аграрного сектора экономики, является основным средством производства. Сельскохозяйственная деятельность, связанная со строительством водопроводящей и отводящей сети, водохранилищ, изменением русел рек, забором воды, поднятием уровня грунтовых вод, загрязнением окружающей среды пестицидами оказывает определенное отрицательное воздействие на экосистемы, изменяя как экологические, так и мелиоративные процессы.

[1] Эффект суммации – это однонаправленное неблагоприятное влияние на организм нескольких разных веществ.

Таблица 1 – Загрязнение атмосферного воздуха Узбекистана, среднегодовые показатели

Ствол реки	Наименование метеостанции (города)	Год	Суммация веществ, мг/м^3			Ствол реки	Наименование метеостанции (города)	Год	Суммация веществ, мг/м^3*		
			1	2	3				1	2	3
Бассейн р. Сырдарьи						Бассейн р. Амударьи					
Верхнее течение	Андижан	1980	9,37	7,70	11,20	Среднее течение	Бухара	1980	3,67	0,00	1,25
		2000	0,98	0,31	1,56			2000	2,49	0,82	1,15
		2016	1,58	0,91	2,33			2016	2,56	0,89	1,47
	Наманган	2000	1,69	1,02	1,35		Навои	1980	5,10	4,10	6,35
		2016	1,79	1,12	1,12			2016	2,31	1,31	2,73
	Фергана	1980	9,63	5,30	9,80		Самарканд	1980	6,47	5,80	6,80
		2000	3,51	1,84	2,92			2000	1,35	1,95	1,02
		2016	3,45	1,45	2,37			2016	1,41	1,21	0,83
Среднее течение	Ташкент	1980	5,18	4,85	30,10	Нижнее течение	Нукус	1980	2,48	2,15	2,15
		2000	2,95	3,15	3,53			2000	3,01	1,01	1,34
		2016	2,68	2,55	1,93			2016	2,01	0,68	0,85
	Гулистан	2000	2,14	1,14	1,47		Ургенч	2000	2,01	1,34	1,34
		2016	1,29	0,62	0,95			2016	1,23	1,23	1,23

*Суммация воздействия: 1 – ангидрида сернистого, окиси углерода, двуокиси азота и фенола; 2 – ангидрида сернистого, двуокиси азота, фтористого водорода; 3 – ангидрида сернистого, ангидрида серного, аммиака и окислов азота.

Данные по наблюдениям на метеостанциях Наманган, Гулистан и Ургенч в 1980 г. отсутствуют. Составлено автором по материалам Узгидромета.

Таблица 2 – Загрязнение р. Амударьи и Сырдарьи

Створ наблюдений	Год	Преобладающее загрязняющее вещество (среднегодовая концентрация)									
		Растворенный кислород*, мгO_2/л	БПК$_5$, мгO_2/л	ХПК, мгO_2/л	Азот аммоний-ный, мг/л	Азот нитрит-ный, мг/л	Азот нитрат-ный, мг/л	Железо, мг/л	Медь, мг/л	Цинк, мг/л	Фенолы, мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1) р. Амударья, г. Термез, в черте г. Термеза, в черте порта	1980	9,44	1,01	14,4	0,1	0,009	0,88	0,02	0,0085	0,0282	0,027
	2015	9,52	1,45	8,26	0,02	0,002	0,65	0,01	0,0019	0,0021	0,001
2) р. Амударья, г. Нукус, 1,2 км выше г. Нукуса	1980	9,01	2,36	13,3	0,13	0,016	1,17	0,12	0,0088	0,0388	0,024
	2015	9,54	1,28	13,72	0,04	0,003	0,34	0,01	0,0011	0,0013	0,001
3) р. Сырдарья, пос. Надеждинский	1980	8,85	1,43	13,1	0,27	0,012	1,86	0,05	0,002	0,0044	0,024
	2015	14,36	4,15	13,64	0,15	0,007	1,75	0,01	0,0009	0,002	0,002
4) р. Сырдарья, г. Бекабад (0,25 км выше города)	1980	10,57	1,61	17,4	0,28	0,033	2,37	0,06	0,0058	0,0407	0,037
	2015	14,08	4,19	12,97	0,03	0,011	1,48	0,01	0,0012	0,0023	0,003
ПДК, мг/л				0,39	0,02	9	0,5	0,001	0,01	0,001	

Продолжение таблицы 2

Створ наблюдений	Год	Нефтепродукты, мг/л	СПАВ, мг/л	Взвешенные вещества**, мг/л	Дихлордифенил-трихлорэтан (ДДТ), мг/л	Альфа-ГХЦГ, мг/л	Гамма-ГХЦГ, мг/л	Хром VI, мг/л	Фтор, мг/л	Мышьяк, мг/л	Минерализация, мг/л
1	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1) р. Амударья, г. Термез, в черте г. Термеза, в черте порта	1980	0,19	0,042	352	0,000059	0,000153	0,000052	0,0109	0,19		579,1
	2015	0,01	0	556,7	0	0	0	0,0002	0,24	0	717,7
2) р. Амударья, г. Нукус, 1,2 км выше г. Нукуса	1980	0,12	0,032	724,8	0,000022	0,000053	0,000048	0,0111	0,35	0,0009	1035,6
	2015	0	0	764,8	0	0	0	0,0002	0,3	0	1022,1
3) р. Сырдарья, пос. Надеждинский	1980	0,22	0,018	19,5	0,000006	0,000058	0,000036	0,0164	0,73	0,0112	1449,6
	2015	0	0	3,8	0	0	0	0,0003	0,54	0	1136,7
4) р. Сырдарья, г. Бекабад (0,25 км выше города)	1980	0,3	0,025	30,7	0	0,000084	0,000049	0,016	0,62	0,0047	1391,7
	2015	0	0	3,5	0	0	0	0,0003	0,55	0	1135
ПДК, мг/л		0,05	0,1		отсутствие	отсутствие	отсутствие	0,001	0,75	0,05	1000

*Растворенный кислород в зимний подледный период должен быть не менее 4, в летний (открытый) не менее 6.

**Содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться по сравнению с природным более чем на 0,75 мг/дм^3.

Приняты ПДК для загрязняющих веществ в водных объектах рыбохозяйственного назначения. Составлено автором по материалам Узгидромета.

На сегодняшний день практически невозможно представить развитие аграрного сектора без химизации. Наряду с органическими удобрениями она способствует повышению роста урожаев, борьбе с вредителями, с другой стороны, неполное разложение и смыв различных пестицидов с орошаемых полей и их поступление в окружающую среду с последующей их аккумуляцией в живых организмах приводят к нарушению протекания естественных процессов развития живых организмов.

В результате выборочного исследования почв на загрязнение пестицидами (ДДТ и ДДЭ) на подконтрольной территории Узгидромета в 2003 и 2017 гг. в бассейнах р. Амударьи и Сырдарьи выявлено шесть случаев превышения ПДК: в Андижанской в 1,99 и 2,89 раза, в Ферганской в 2,38 и 2,06 раза в 2003 и 2017 г. соответственно, в Сырдарьинской в 2017 г. в 2,68 раза и в Сурхандарьинской области в 2003 г. в 1,77 раза. В остальных регионах содержание пестицидов не превышает ПДК (таблица 3) [9, 10].

Таблица 3 – Загрязнение почв ДДТ и ДДЭ*

В мг/кг (в долях ПДК)

Ствол реки	Наименование области	Год	Среднее остаточное количество хлорорганических пестицидов (ДДТ + ДДЭ)
Бассейн р. Сырдарьи			
Верхнее течение	Андижан	2003	0,199 (1,99)
		2017	0,289 (2,89)
	Наманган	2003	0,056 (0,55)
		2017	0,039 (0,39)
	Фергана	2003	0,238 (2,38)
		2017	0,206 (2,06)
Среднее течение	Ташкент	2003	0,046 (0,45)
		2017	0,043 (0,43)
	Сырдарья	2003	0,033 (0,33)
		2017	0,268 (2,68)
	Джизак	2003	0,013 (0,13)
		2017	0,025 (0,25)
Бассейн р. Амударьи			
Верхнее течение	Сурхандарья	2003	0,178 (1,77)
		2017	0,017 (0,17)
Среднее течение	Бухара	2003	0,040 (0,39)
		2017	0,077 (0,77)
	Навои	2003	0,019 (0,19)
		2017	0,019 (0,19)
	Самарканд	2003	0,041 (0,40)
		2017	0,023 (0,23)
Нижнее течение	Республика Каракалпакстан	2003	0
		2017	0,009 (0,09)
	Хорезм	2003	0,046 (0,46)
		2017	0,028 (0,28)

*Дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболит дихлордифенилдихлорэтилен (ДДЭ) относятся к 1-му классу опасности, ПДК в почве ДДТ и его метаболита составляет 0,1 мг/кг.

Составлено автором по материалам Узгидромета.

Согласно проведенным в летний период полевым исследованиям (2009–2016 гг.) в пахотном горизонте орошаемых почв хлорорганические пестициды не обнаружены или обнаружены в допустимом количестве. Однако в нижележащих горизонтах, примыкающих к грунтовым водам, обнаружены аккумуляции пестицидов, количество которых превышало их ПДК в 5–10 раз (среднее течение р. Зарафшан и Сурхандарьи) [11]. То есть, несмотря на то, что применение ДДТ более 30 лет назад было запрещено, в некоторых областях республики наблюдается превышение его ПДК в почвенных горизонтах, в поверхностных и грунтовых водах, что свидетельствует о его длительном периоде распада и активной миграции в природной среде.

Выводы. В соответствии с законом Б. Коммонера «Все связано со всем» процессы, происходящие в системе «атмосферный воздух – водные ресурсы – почвы», взаимосвязаны и загрязняющие вещества, подвергаясь рассеиванию, накапливаются в окружающей природной среде, живых организмах и оставляют нежелательные последствия этого взаимодействия.

Следует отметить, что для улучшения экологических систем республики необходимы разработка и внедрение в различные отрасли экономики концептуальных основ устойчивого природопользования, предусматривающих внедрение принципов устойчивого развития, усиление ответственности за правонарушения, внедрение механизмов налогового стимулирования для предприятий, использующих экологически чистые технологии, переход от принципа «загрязнитель платит» к предотвращению загрязнения, утверждение стратегии организации «устойчивых» экологических регионов.

Список использованных источников

1 Об утверждении Положения о государственном мониторинге окружающей природной среды в Республике Узбекистан: Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 3 апреля 2002 г. № 111 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:nrm.uz/contentf?doc=22500_postanovlenie_kabineta_ministrov_respubliki_uzbekistan_ot_03_04_2002_g_n_111_ob_utverjdenii_polojeniya_o_gosudarstvennom_monitoringe_okrujayushchey_prirodnoy_sredy_v_respublike_uzbekistan&products=1_vse_zakonodatelstvo_uzbekistana, 2018.

2 Гигиенические нормативы. Перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест на территории Республики Узбекистан: СанПиН РУз № 0293-11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:minzdrav.uz/documentation/detail.php?ID=47545, 2018.

3 Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах УзССР за 1980 г. – Ташкент, 1981. – 318 с.

4 Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах РУз на территории деятельности Узгидромета за 2000 г. – Ташкент, 2001. – 110 с.

5 Обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в городах РУз на территории деятельности Узгидромета за 2016 г. – Ташкент, 2017. – 152 с.

6 Справочник эколога-эксперта / Гос. ком. Респ. Узбекистан по охране природы. – Ташкент, 2009. – 263 с.

7 Обзор состояния качества поверхностных вод на территории деятельности УзУГКС за 1980 г. – Ташкент, 1981. – 162 с.

8 Ежегодник качества поверхностных вод на территории деятельности Узгидромета за 2015 г. – Ташкент, 2016. – 114 с.

9 Ежегодник загрязнения почв на территории деятельности Узгидромета за 2003 год. – Ташкент, 2004. – 56 с.

10 Ежегодник загрязнения почв на территории деятельности Узгидромета за 2017 год. – Ташкент, 2018. – 45 с.

11 Каримов, Х. Н. Агроэкологическое состояние антропогенно измененных орошаемых почв и пути повышения их плодородия: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Каримов Х. Н. – Ташкент, 2016.

УДК 631.674.6

А. С. Штанько, В. Н. Шкура
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ

Целью исследований поставлена разработка методики расчета геометрических параметров зон увлажнения, формирующихся в почвенном пространстве при капельном поливе. В качестве определяемых геометрических параметров единичных контуров капельного увлажнения почвы приняты их глубина, диаметр, площадь и объем. В качестве факторов влияния рассмотрены почвенные, фитопочвенные и технологические параметры, характеризующие условия формирования контуров. Предложенная методика позволяет определить основные геометрические характеристики формирующихся в подкапельном почвенном пространстве контуров влажности с приемлемой для практического применения точностью (с погрешностью ±12 %).

Ключевые слова: контур увлажнения, геометрические параметры контура, почвенные условия, фитопочвенные параметры, прогнозирование размеров контура увлажнения.

****

A. S. Shtanko, V. N. Shkura
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

METHODOLOGY OF DETERMINING THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF MOISTURE ZONES OF SOIL SPACE AT DRIP IRRIGATION

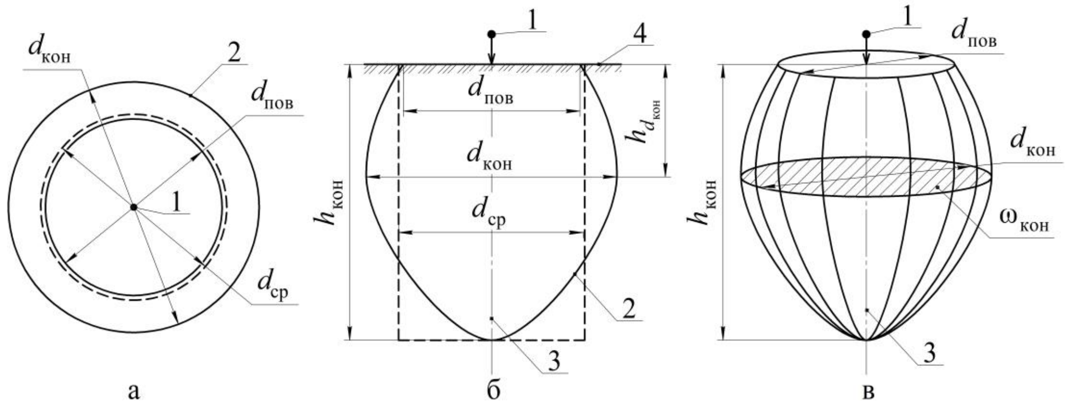
The aim of the research is the development of method for calculating the geometric parameters of moisture zones that are formed in the soil space during drip irrigation. The depth, diameter, area and volume of a single contour of soil drip moistening are taken as their determined geometrical parameters. The soil, phytosoil and technological parameters characterizing the conditions for contours formation are considered as influence factors. The proposed methodology allows to determine the main geometrical characteristics of moisture contours forming in the drip-free soil space with an acceptable accuracy for practical use (with an error of ±12 %).

Keywords: moisture contour, geometrical parameters of the contour, soil conditions, phytosoil parameters, prediction of moisture contour size.

Введение. Геометрические параметры контуров увлажнения подкапельного почвенного пространства, формирующихся при капельном поливе, являются индикатором качества проведенного полива и результирующим фактором его влияния на условия и эффективность функционирования корневой системы растений. Учитывая важность задачи прогнозирования размеров контуров, ее разрешению уделяют должное внимание. Определенный вклад в ее разрешение внесли А. Д. Ахмедов, С. М. Васильев, М. К. Гаджиев, Е. Ю. Галиуллина, А. И. Голованов, Д. Л. Обумахов, М. Ю. Храбров, О. Е. Ясониди [1–7] и другие специалисты-гидромелиораторы. Несмотря на наличие значительного объема данных и экспериментальных разработок теоретической направленности, общепринятая методика расчета геометрических параметров капельно формируемых контуров увлажнения почвогрунтовой толщи отсутствует, что и предопределило актуальность и необходимость настоящего исследования.

Материалы и методы. В качестве исходного материала при разработке методики расчета (прогнозирования) определяющих контуры увлажнения геометрических параметров использованы данные исследований и полученные в результате их обработки экспериментальные зависимости авторов настоящей работы, приведенные в трудах 2017–2018 гг. [8, 9]. В результате аналитического исследования и обобщения данных предшествующих работ разработана соответствующая нижеследующая методика расчета.

Результаты и обсуждение. В качестве основных определяемых расчетом геометрических параметров контура капельного увлажнения почвы (в соответствии со схемами контура увлажнения, приведенными на рисунке 1) определены: диаметр единичного (локального) контура увлажнения почвы $d_{кон}$, м; площадь единичного контура капельного увлажнения почвы $\omega_{кон}$, м^2, определяемая по его максимальному диаметру $d_{кон}$, м; объем контура увлажнения (объем увлажняемого при капельном поливе почвенного пространства) $W_{кон}$, м^3.



а – план контура; *б* – профиль контура; *в* – объемное представление контура; *1* – капельница; *2* – оконтуривающая линия; *3* – ось капания; *4* – поверхность земли; $d_{кон}$ – максимальный диаметр контура увлажнения почвы; $d_{пов}$ – поверхностный диаметр контура увлажнения почвы; $d_{ср}$ – средний по глубине диаметр контура увлажнения почвы; $h_{кон}$ – высота контура увлажнения почвы; $h_{d_{кон}}$ – глубина заложения сечения, соответствующего максимальному диаметру контура; $\omega_{кон}$ – площадь поперечного сечения контура, соответствующего максимальному диаметру контура

Рисунок 1 – Расчетные схемы контура капельного увлажнения почвы

Геометрические размеры контуров капельного увлажнения почвы зависят от почвенных и технологических условий полива и фитопочвенных требований к параметрам увлажняемого пространства. В качестве таковых условий и требований рассмотрены нижеследующие.

В качестве определяющих характеристик почвенного пространства, в пределах которого реализуется формирование контура, приняты содержание в почве физической глины $W_{г/ч}$, определяемое в процентах от массы сухой почвы (% МСП), и наименьшая влагоемкость почвы $W_{НВ}$ в % МСП. При этом обе указанные – физическая и водно-физическая – характеристики почвы (устанавливаемые путем их непосредственных измерений и анализа почвенных образцов по известным методикам) определяются в месте предполагаемого полива как средние (осредненные) величины по заданной глубине увлажняемого почвенного слоя $h_{увл}$, т. е. как $(\overline{W}_{г/ч})_{h_{увл}}$ и $(\overline{W}_{НВ})_{h_{увл}}$. Фитопочвенные требования к основным геометрическим параметрам контура увлажнения определяются потребностями (биологическими особенностями) культивируемых при капельном орошении растений, произрастающих в определенных почвенных условиях. В качестве определяющей требования к параметрам ризосферы характеристики принята глубина увлажняемого слоя («слоя промачивания») $h_{увл}$ или глубина контура увлажнения $h_{кон}$, м. Необходимая (требуемая) глубина слоя увлажнения почвы задается специалистами в области агрономии и устанавливается по размерам (заглубленности в почвогрунтовую толщу) корневой системы, а точнее, определяется глубиной ризосферы, в пределах которой концентрируется (распространяется) основная масса корней растений. Глубина слоя увлажнения может устанавливаться как по величине максимального заглубления основной части ризосферы за весь период вегетации, так и дифференцированно – по характерным фазам роста и развития растений.

Предлагаемая методика предусматривает определение основных геометрических параметров формирующегося при капельном поливе в подкапельном почвенном пространстве контура увлажнения: максимального диаметра контура $d_{кон}$, среднего по глубине контура диаметра $d_{ср}$, площади горизонтального сечения контура, соответствующего максимальному диаметру, $\omega_{кон}$ и объема контура увлажнения $W_{кон}$. Расчеты значений $d_{кон}$, $d_{ср}$, $\omega_{кон}$ и $W_{кон}$ производятся с использованием ряда экспериментальных зависимостей и в соответствии с блок-схемой (рисунок 2).

В соответствии с блок-схемой определения геометрических размеров контура предлагается руководствоваться нижеприведенным алгоритмом расчета.

1 Устанавливаются численные (количественные) значения почвенных характеристик $W_{г/ч}$ и $W_{НВ}$ (позиция 1.1) и фитопочвенного параметра $h_{увл}$ (позиция 1.2).

2 По приведенным в блоке 2 зависимостям определяются значения соотношений: $(d_{кон}/h_{кон})_{W_{г/ч}}$ – по показателю $W_{г/ч}$ (позиция 2.1) и $(d_{кон}/h_{кон})_{W_{НВ}}$ – по показателю $W_{НВ}$ (позиция 2.2).

3 По значениям $(d_{кон}/h_{кон})_{W_{г/ч}}$ и $(d_{кон}/h_{кон})_{W_{НВ}}$ устанавливается среднее значение $(\overline{d_{кон}/h_{кон}})$ в соответствии с позицией 2.3, и по его величине и заданной глубине увлажнения почвы $h_{кон}$ определяется значение диаметра контура $d_{кон}$ (позиция 2.4).

4 Принимая плановое очертание контура капельного увлажнения почвы в форме круга (см. рисунок 1), по величине $d_{кон}$ определяют его площадь $\omega_{кон}$ (блок 3).

5 Определяются значения соотношений среднего диаметра контура $d_{ср}$ и его глубины $h_{кон}$ по почвенным характеристикам $W_{г/ч}$ и $W_{НВ}$: $(d_{ср}/h_{кон})_{W_{г/ч}}$ и $(d_{ср}/h_{кон})_{W_{НВ}}$ (позиции 4.1 и 4.2). В соответствии с позицией 4.3 блок-схемы определяется среднее значение соотношения $(\overline{d_{ср}/h_{кон}})$, а по его величине и значению $h_{кон}$ устанавливается значение среднего по глубине контура увлажнения диаметра $d_{ср}$ (позиция 4.4).

6 Аппроксимируя контур увлажнения до формы цилиндра с диаметром основания $d_{ср}$ и высотой $h_{кон}$, по блоку 5 определяют значение объема контура $W_{кон}$.

Приведенная методика определения основных геометрических параметров контуров капельного увлажнения почвенного пространства и составляющие ее основу экспериментальные зависимости базируются на данных опытных измерений контуров в широком и наиболее реальном диапазоне изменения исходных данных: $W_{г/ч}$ = 15…75 % МСП, $W_{НВ}$ = 10…35 % МСП и $h_{увл}$ = 0,3…1,4 м. Получаемые расчетные значения $d_{кон}$, $\omega_{кон}$ и $W_{кон}$ с точностью ±12,0 % соответствуют опытным величинам контуров увлажнения почвы при капельном поливе почвенного пространства нормами $N_{пол}$, л/кап., рассчитываемыми по нижеприведенной экспериментальной зависимости:

$$N_{пол} = 0{,}00196 \cdot \bar{\gamma}_{об} \cdot h^3_{кон}(0{,}0765 \cdot W^{0,6}_{г/ч} + 0{,}0292 \cdot W_{НВ})^2 \cdot (\beta_{п/п} - \beta_{д/п}),$$

где $\bar{\gamma}_{об}$ = 1,0…1,4 т/м^3 – плотность сложения увлажняемого почвенного слоя;

$\beta_{д/п}$ – уровень дополивной влажности почвы в пределах заданной глубины увлажняемого слоя $h_{увл}$, % МСП, определяемый физиологическими потребностями растений во влажности почвы. Значения $\beta_{д/п}$ задаются земледельцами с учетом влаголюбивости (засухоустойчивости) растений и почвенных условий ризосферы. Минимальное значение дополивной влажности обычно превышает уровень влажности завядания $\beta_{зав}$ определенных видов растений, произрастающих в определенной среде;

$\beta_{п/п}$ – задаваемый агрономической службой уровень постполивной влажности почвы, % МСП, определяемый потребностями растений и величиной влагоемкости почвы. В качестве верхнего предела рассматривается постполивная (послеполивная) влажность почвы на уровне влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости почвы $\beta_{НВ}$. При $\beta_{п/п} = \beta_{НВ}$ в подкапельном почвенном пространстве формируется определенный резерв воды, расходуемый в определенный постполивной (межполивной) период. Величина $\beta_{п/п}$ может быть больше $\beta_{НВ}$ и задаваться дифференцированно с учетом пофазовой требовательности растений к содержанию влаги в ризосфере.

Приведенные выше ограничения определяют условия применения предлагаемой методики определения геометрических параметров контуров капельного увлажнения почвы. Апробация методики расчета проведена по данным экспериментальных исследований контуров капельного увлажнения почвы, выполненных М. К. Гаджиевым [3].

Пример расчета и результаты сопоставления расчетных и опытных значений основных геометрических параметров контуров капельного увлажнения почвы, формирующихся в темно-каштановой тяжелосуглинистой почве, приведены для нижеследующих исходных условий капельного полива, исследованного М. К. Гаджиевым.

1 Почвенные и фитопочвенные характеристики: $\bar{\gamma}_{об}$ = 1,35 т/м^3; $W_{г/ч}$ = = 46,3 % МСП; $W_{НВ}$ = 22,5 % МСП; $\beta_{п/п}$ = 22,5 % МСП; $\beta_{д/п}$ = 13,5 % МСП; $h_{кон}$ = 1,36 м.

2 Технологические параметры капельного полива характеризуются поливной нормой $N_{пол}$ = 112 л/кап. и расходом капельницы $q_{кап}$ = 2 л/ч.

Расчет параметров проведен в нижеследующей последовательности.

1 Определение значения поливной нормы $(N_{пол})_{расч}$, обеспечивающей в заданных почвенных условиях ($\bar{\gamma}_{об}$, $W_{г/ч}$ и $W_{НВ}$) увлажнение слоя почвы глубиной $h_{увл}$ = 1,36 м:

$$(N_{пол})_{расч} = 0{,}00196 \cdot \bar{\gamma}_{об} \cdot h^3_{кон}(0{,}0765 \cdot W^{0,6}_{г/ч} + 0{,}0292 \cdot W_{НВ})^2 \cdot (\beta_{п/п} - \beta_{д/п}) =$$
$$= 0{,}00196 \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}36^3 \cdot (0{,}0765 \cdot 46{,}3^{0,6} + 0{,}0292 \cdot 22{,}5)^2 \cdot (22{,}5 - 13{,}5) = 0{,}121 \text{ м}^3.$$

Опытное значение поливной нормы, зафиксированное М. К. Гаджиевым, составило $(N_{пол})_{опыт}$ = 112 л. Расчетное значение $(N_{пол})_{расч}$ превышает опытное значение на $\Delta_{N_{пол}}$ = 121 – 112 = 9 л, или на $\delta_{N_{пол}}$ = 8,0 %, что для практических условий допустимо.

2 Определение расчетного значения диаметра контура капельного увлажнения.

2.1 $(d_{кон}/h_{кон})_{W_{г/ч}}$ = 0,51 + 0,009 · $W_{г/ч}$ = 0,51 + 0,009 · 46,3 = 0,93.

2.2 $(d_{кон}/h_{кон})_{W_{НВ}}$ = 0,073 + 0,038 · $W_{НВ}$ = 0,073 + 0,038 · 22,5 = 0,93.

2.3 $\overline{(d_{кон}/h_{кон})}$ = (0,93 + 0,93) · 0,5 = 0,93 и $d_{кон}$ = 0,93 · 1,36 = 1,26 м.

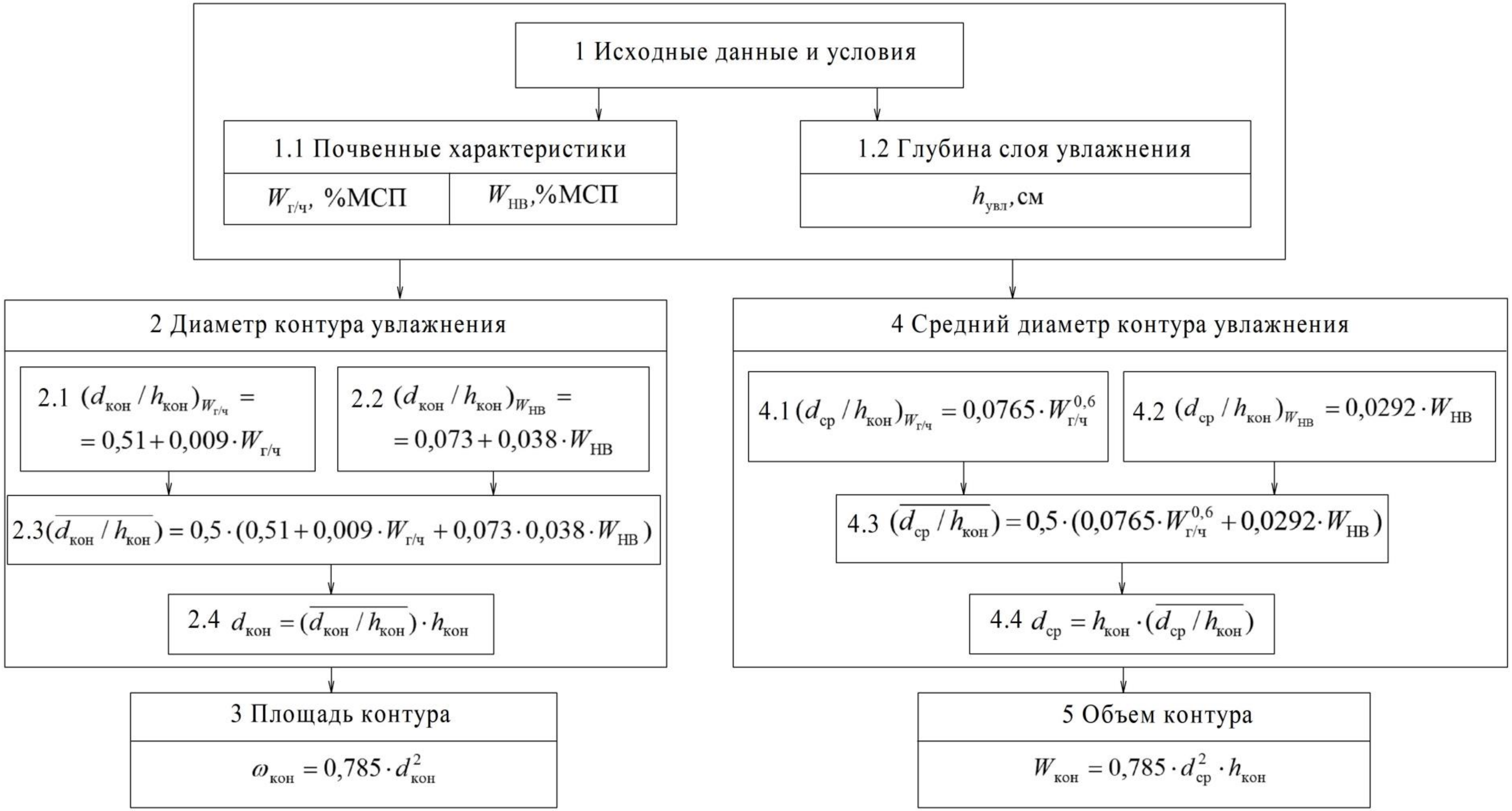


Рисунок 2 – Схема последовательности расчета геометрических параметров контуров увлажнения, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве при капельном поливе

Фактическое значение соотношения $(\overline{d_{кон} / h_{кон}})_{опыт}$ в зафиксированном М. К. Гаджиевым контуре увлажнения составляет 0,86, а диаметр контура $(d_{кон})_{опыт}$ = = 1,17 м. Расчетная величина диаметра контура $(d_{кон})_{расч}$ = 1,26 м превышает опытное его значение на $\Delta_{d_{кон}}$ = 1,26 – 1,17 = 0,09 м, или на $\delta_{d_{кон}}$ = +7,7 %, что вполне допустимо.

3 Расчетное значение площади контура составляет: $(\omega_{кон})_{расч} = 0{,}785 \cdot d_{кон}^2$ = = 0,785 × 1,26^2 = 1,25 м^2, а по данным М. К. Гаджиева $(\omega_{кон})_{опыт}$ = 1,07 м^2. Превышение расчетного значения над опытным составляет $\Delta_{\omega_{кон}}$ = 1,25 – 1,07 = 0,18 м^2.

4 Определение среднего расчетного значения соотношения $(\overline{d_{ср} / h_{кон}})_{расч}$ и расчетной величины среднего диаметра контура капельного увлажнения почвы $(d_{ср})_{расч}$.

4.1 $(d_{ср} / h_{кон})_{W_{г/ч}} = 0{,}0765 \cdot W_{г/ч}^{0,6} = 0{,}0765 \cdot 46{,}3^{0,6} = 0{,}76$.

4.2 $(d_{ср} / h_{кон})_{W_{НВ}} = 0{,}0292 \cdot W_{НВ} = 0{,}0292 \cdot 22{,}5 = 0{,}66$.

4.3 $(\overline{d_{ср} / h_{кон}})_{расч} = 0{,}5 \cdot \left[(d_{ср} / h_{кон})_{W_{г/ч}} + (d_{ср} / h_{кон})_{W_{НВ}} \right] = 0{,}5 \cdot (0{,}76 + 0{,}66) = 0{,}71$.

4.4 $(d_{ср})_{расч} = 0{,}71 \cdot h_{кон} = 0{,}71 \cdot 1{,}36 = 0{,}97$ м.

Опытное значение соотношения $(d_{ср} / h_{кон})_{опыт}$ = 0,68, а величина $(d_{ср})_{опыт}$ = = 0,92 м. Расчетное значение среднего диаметра контура увлажнения почвы $(d_{ср})_{расч}$ превышает опытное на $\Delta_{d_{ср}}$ = 0,97 – 0,92 = 0,05 м, или на $\delta_{d_{ср}}$ = +5,4 %, что соответствует требованиям точности практических расчетов геометрических параметров контуров.

5 Расчетное значение объема контура увлажнения почвы составит $(W_{кон})_{расч} = 0{,}785 \cdot (d_{ср})_{расч}{}^2 \cdot h_{кон} = 0{,}785 \cdot 0{,}97^2 \cdot 1{,}36 = 1{,}00$ м^3. Опытное значение объема контура $(W_{кон})_{опыт}$ = 0,90 м^3, оно меньше расчетного на $\Delta_{W_{кон}}$ = 0,10 м и $\delta_{W_{кон}}$ = 11,1 %.

Заключение. Резюмируя приведенные данные расчета основных геометрических параметров контура увлажнения, формирующегося в темно-каштановой тяжелосуглинистой почве с указанными почвенными и фитопочвенными характеристиками и технологическими параметрами капельного полива, и результаты сопоставления опытных и расчетных размеров контура капельного увлажнения, можно сделать заключение о приемлемости предложенной методики и рекомендовать ее к использованию на практике.

Список использованных источников

1 Ахмедов, А. Д. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении / А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3. – С. 183–188.

2 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 197 с.

3 Гаджиев, М. К. Особенности капельного орошения виноградников в условиях Дагестанской АССР: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Гаджиев Магомед Кебедович. – Новочеркасск, 1985. – 24 с.

4 Голованов, А. И. Основы капельного орошения / А. И. Голованов, Е. И. Кузнецов. – Краснодар: КГАУ, 1996. – 96 с.

5 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обумахов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

6 Храбров, М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении / М. Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34–35.

7 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: монография / О. Е. Ясониди; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

8 Штанько, А. С. Геометрические параметры локальных контуров капельного увлажнения почвы / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 214–218.

9 Штанько, А. С. Способ графоаналитического построения очертания контуров капельного увлажнения почв / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 67–85. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=531.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 626.25

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РУСЛОВОГО КАРЬЕРА НА РАЗМЫВ ДНА РЕКИ В РАЙОНЕ ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Рассмотрен вопрос влияния русловых карьеров на устойчивость русла в районе подводного перехода трубопровода. Проведены расчеты интенсивности заносимости карьеров для конкретной реки с высокой транспортирующей способностью. Показано, что разработка русловых карьеров оказывает существенное влияние на изменение русловых процессов и приводит к значительным русловым деформациям на значительном удалении от них. Полученные результаты расчетов указывают на необходимость строгого соблюдения правил выбора местоположения карьеров в районе подводного инженерного сооружения, что позволит обеспечить его надежную эксплуатацию.

Ключевые слова: карьер, подводный переход, русловые процессы, наносы, расход воды, паводок.

****

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

EVALUATION OF CHANNEL QUARRY IMPACT ON THE RIVER BED SCOUR IN THE AREA OF MAIN PIPELINE UNDERWATER PASSAGE

The issue of the channel quarries impact on the river bed stability in the area of the underwater pipeline passage is considered. Calculations of the intensity of quarries logging for a specific river with a high transport capacity were made. It is shown that the development of channel quarries has a significant effect on changes in river bed processes and leads to significant river bed deformations at a considerable distance from them. The results of calculations indicate the need for strict compliance with the rules for choosing the quarries location in the area of underwater engineering structure which will ensure its reliable operation.

Key words: quarry, underwater crossing, river bed processes, sediment, water discharge, flood.

Введение. Многие магистральные трубопроводы находятся в эксплуатации уже несколько десятков лет. Общий износ конструкций, внешние факторы приводят к аварийным ситуациям. К таким факторам относятся размыв дна и плановые деформации русла, которые могут привести к оголению, провисанию и повреждению трубопроводов на участках подводных переходов.

В период проведения изыскательских работ по мониторингу русловых процессов в районе подводного перехода магистрального газопровода (ППМГ) на р. Белой (Краснодарский край) в 150–200 м ниже ППМГ производилась разработка руслового карьера, а в 150–200 м выше разработка подобного карьера началась.

На рисунке 1 представлена схема района проведения работ.

Проведены расчеты возможного воздействия разрабатываемых карьеров на деформацию русла в районе ППМГ по методике, используемой при проектировании карьеров и планировании мероприятий по предотвращению понижения уровней [1].

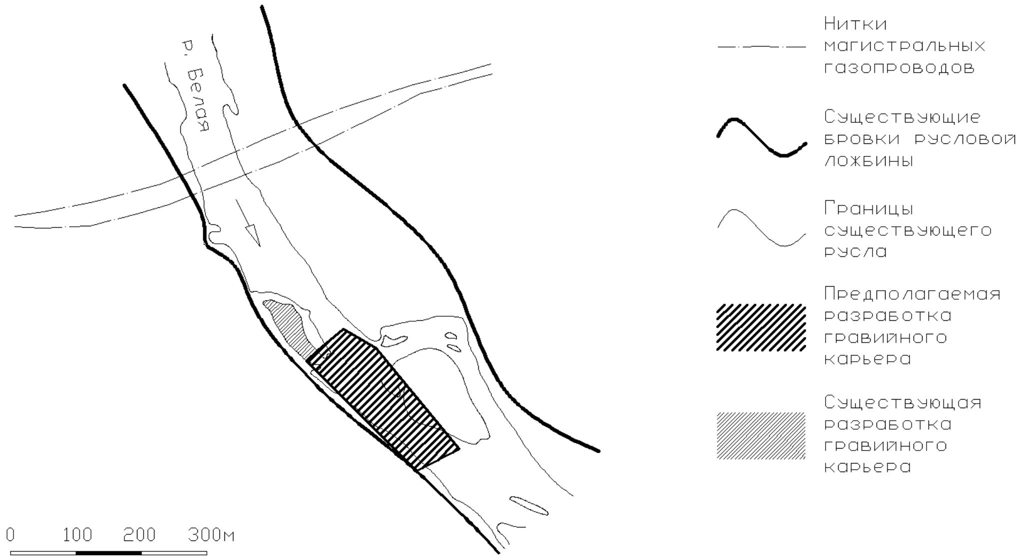


Рисунок 1 – План участка реки в районе ППМГ

Рассмотрены условия прорыва плотины Белореченского гидроузла (расположена примерно в 35 км выше по течению реки) и образования прорана при паводковом расходе воды Q = 500 м^3/с.

Исходные данные участка русла, используемые в расчетах:

- уклон реки $I_{\text{реки}}$ = 0,001;
- глубина реки при расчетном расходе $H_{\text{русло}}$ = 3,5 м;
- время прохождения паводка $T_{\text{ср. многолет. паводок}}$ = 37 сут;
- расход паводка $Q_{\text{паводок}}$ = 500 м^3/с;
- расход в меженный период $Q_{\text{межень}}$ = 10 м^3/с;
- ширина русла в паводок $b_{\text{русло в паводок}}$ = 250 м;
- ширина русла в меженный период $b_{\text{русло в межень}}$ = 60 м;
- глубина русла на участке карьера H_0 = 7,5 м.

Падение уровня в районе прорана при полном прорыве дамбы вычисляется по формуле:

$$\Delta z_k = I_k \cdot \left[(H_{\text{русло}} / H_0)^{10/3} - 1 \right] \cdot l_k ,$$

где Δz_k – изменение уровня воды, м;

I_k – уклон в карьере, вычисленный по следующему выражению:

$$I_k = I_{\text{реки}} / (H_0 / H_{\text{русло}} + 1)^{10/3} = 0{,}0002;$$

l_k – длина карьера, м.

Таким образом, по вышеуказанной формуле при известном уклоне карьера было определено падение уровня в районе прорана, которое составило 0,368 м.

Первоначальное изменение средней глубины на участке выше карьера:

$$\Delta H = \Delta z_k / 2 = -0{,}184 \text{ м}.$$

Объем карьера:

$$W_{\text{К}} = b_k \cdot H_k \cdot l_k = 64000 \text{ м}^3,$$

где $W_{\text{К}}$ – объем карьера, м^3;

b_k – ширина карьера, м;

H_k – глубина карьера, м.

Ежегодно карьер заполняется наносами в количестве $W_{T.K.}$:

$$W_{T.K.} = 50 b_k \left[Q_{\text{пав}} \cdot T_{\text{пав}} / b_{\text{пав}} + Q_{\text{меж}} (365 - T_{\text{пав}}) / b_{\text{меж}}\right] / k_{\text{пр}},$$

где $Q_{\text{пав}}$ – расход воды в паводок, м^3/с;

$T_{\text{пав}}$ – время прохождения паводка, сут;

$b_{\text{пав}}$ – ширина карьера в паводок, м;

$Q_{\text{меж}}$ – расход воды в межень, м^3/с;

$b_{\text{меж}}$ – ширина карьера в межень, м;

$k_{\text{пр}}$ = 1,5 – коэффициент, учитывающий привлечение в карьер наносов за счет повышенных продольного и поперечных уклонов свободной поверхности воды, а также нерусловых фракций.

При расчете объема заполнения карьера было принято, что ширина карьера b_k составляет 1/3 от ширины русла в паводковый период.

Время заполнения карьера в годах вычислено по выражению:

$$t_{\text{зап}} = W_{\text{К}} / W_{T.K.} = 0{,}248 \text{ год.}$$

Из полученных результатов расчета видно, что вследствие регрессивной (направленной вверх по течению) и трансгрессивной (направленной вниз по течению) эрозии русла карьер при условии прекращения работ по добыче строительных материалов заполнится примерно за 2,5 месяца (суммарно при прохождении паводков).

Изменение уровня Δz_0 в начальный период разработки карьера в створе ППМГ было рассчитано по формуле:

$$\Delta z_0 = I_{\text{реки}} \cdot L_{\text{расч}} \cdot \left[\left(H_{\text{русло}} / H_{0\text{изм}}\right)^{10/3} - 1\right] + \Delta z_k,$$

где $L_{\text{расч}}$ – расстояние от карьера до створа ППМГ, а $H_{0\text{изм}} = H_{\text{русло}} + \Delta H = 3{,}316$ м.

По результатам расчета определено, что изменение уровня Δz_0 в створе ППМГ составляет 0,176 м.

Также было рассчитано изменение отметок дна как у самого карьера, так и у створа ППМГ. По результатам расчетов изменение отметок дна у верхней кромки карьера и в створе ППМГ выше карьера составляет 0,352 и 0,012 м соответственно (рисунок 2).

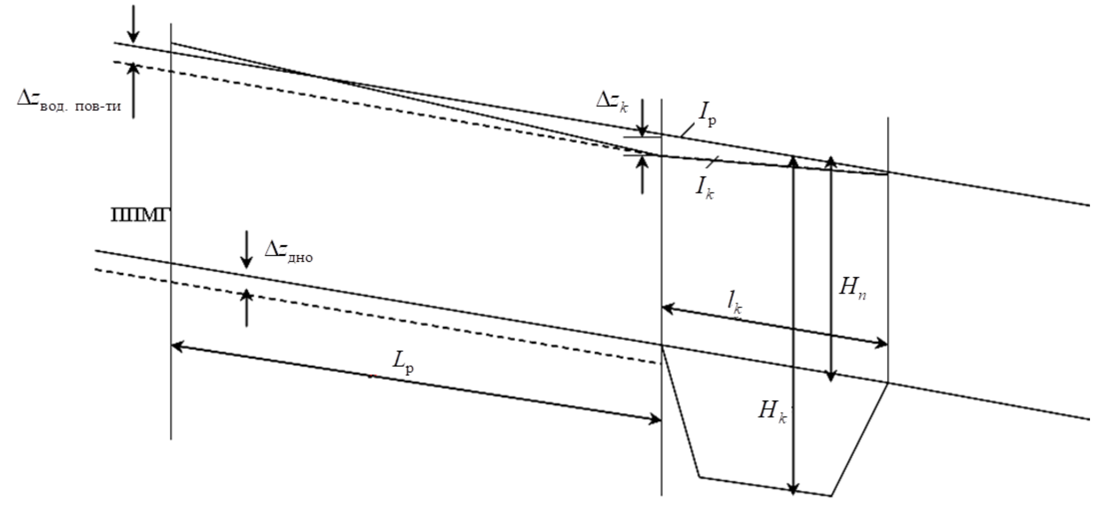


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения понижения уровней выше карьера

Расстояние, на которое распространяется регрессивная эрозия, вызванная разработкой карьера, вычислялось по следующей формуле:

$$L_{\text{р. регресс.мах}} = -\Delta z_k / I_{\text{реки}} \cdot ((H_{\text{русло}}/H_{0\text{изм}})^{10/3} - 1),$$

и составило 237,4 м.

Так как ППМГ находится в 180 м выше карьера, то влияние регрессивной эрозии будет наблюдаться и непосредственно в створе ППМГ.

Также были проведены расчеты изменения отметок дна и водной поверхности участка реки ниже карьера (рисунок 3).

При расчете изменения уровней дна и водной поверхности ниже карьера использовалось отношение $H_0 / H_{\text{русло}}$ [1]. В ходе расчетов характеристик изменения уровней дна и водной поверхности на начальном этапе заполнения карьера были получены следующие значения: Δz_0 = 0,113 м, $\Delta z_{\text{д}}$ = 0,123 м, $\Delta z_{\text{ППМГ}}$ = 0,001 м, $L_{\text{трансгр.max}}$ = 391,1 м.

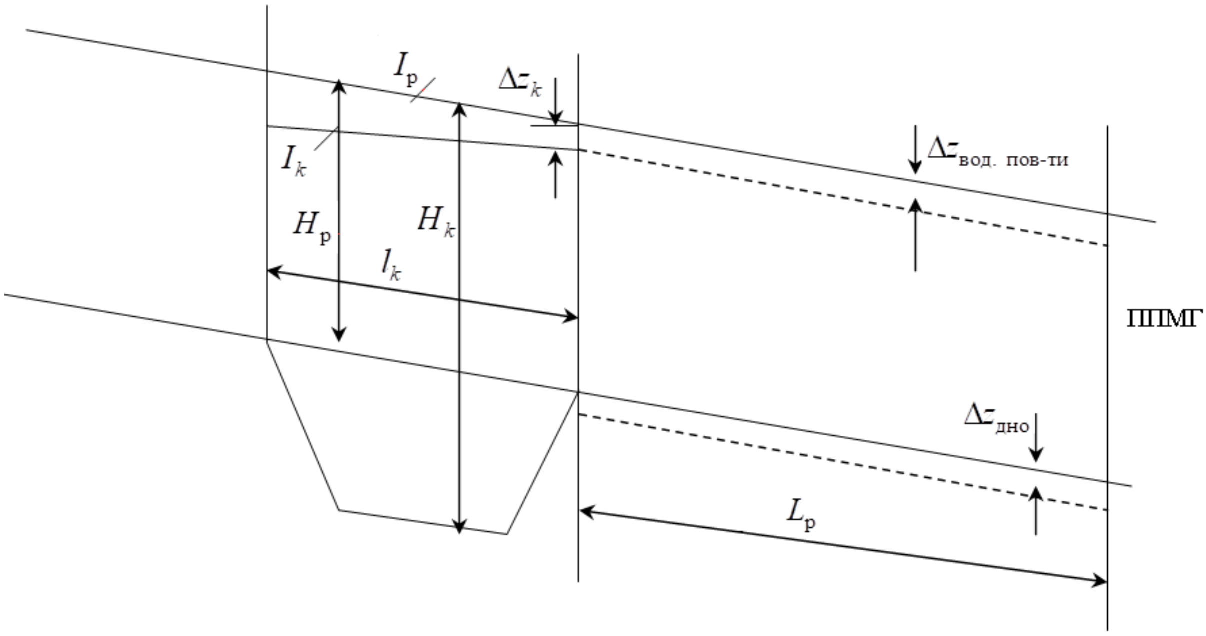


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения понижения уровней ниже карьера

Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета изменения уровня воды и отметок дна после сооружения карьера

В м

Характеристика	Выше карьера	Ниже карьера
$\Delta z_{\text{уровня воды начальное в створе ППМГ}}$	–0,18	–0,113
$\Delta z_{\text{бровки карьера после заполнения}}$	–0,37	–0,35
$\Delta z_{\text{уровня дна начальное в створе ППМГ}}$	–0,01	–0,001
$\Delta z_{\text{уровня дна после заполнения в створе ППМГ}}$ ($\Delta z_{\text{д}}$)	–0,19	–0,123
Расстояние, на которое распространяется понижение дна $L_{\text{трансгр.max}}$	237,4	391,1

При сооружении карьера верхняя его часть становится базисом регрессивной эрозии, являясь поставщиком наносов, заполняющих карьер [2, 3]. При выполаживании кромки карьера скорость течения увеличивается и резко падает при подходе к нижнему, крутому борту карьера. Из-за резкого снижения скорости и возникновения циркуляционных течений в самом карьере наносы, переносимые потоком, оседают в карьере, и далее поток становится осветленным. Осветленный поток, обладая большей потенциальной энергией, чем поток, переносящий взвешенные наносы, вызывает трансгрессивную эрозию дна русла [4].

Падение уровня в зависимости от расхода воды составит более 0,2 м относительно естественного уровня воды (рисунок 4), что приведет к увеличению уклона свободной поверхности на прилегающем к карьеру участке в 2–3 раза.

Средние скорости течения рассчитывались по формуле Шези [5]:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I},$$

где v – скорость течения, м/с;

C – коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус, м;

I – уклон свободной поверхности реки.

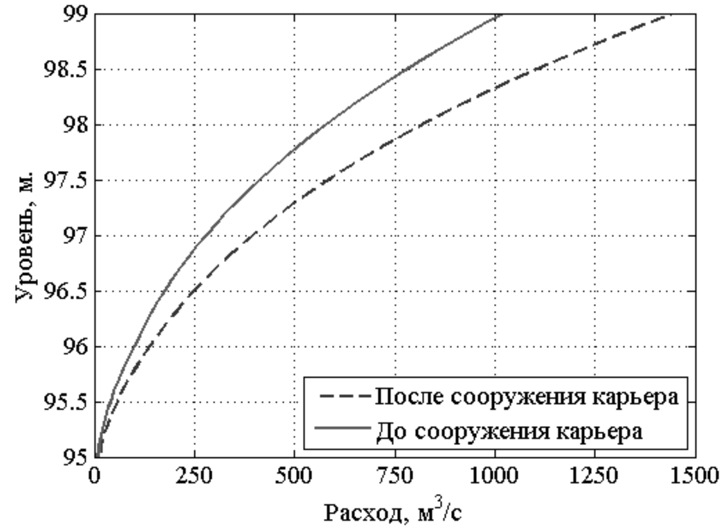


Рисунок 4 – Зависимость уровня воды (в условных отметках) от расхода воды

Скорости воды у прорана увеличиваются в 1,3–1,5 раза (рисунок 5).

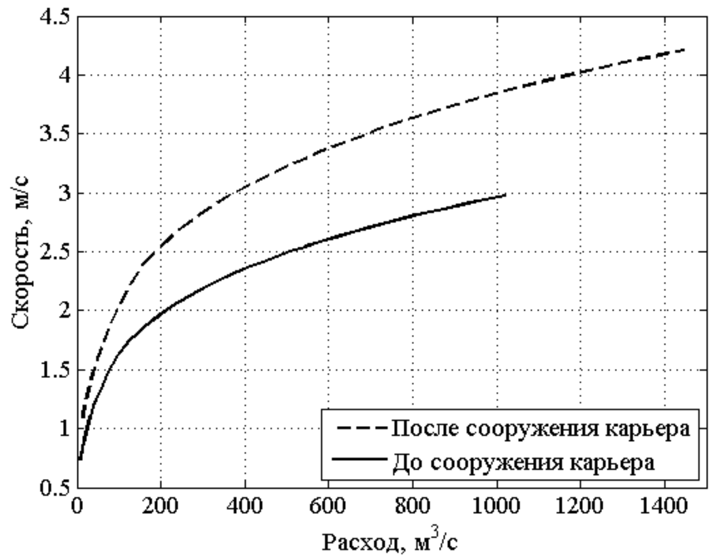


Рисунок 5 – Зависимость скорости потока от расхода воды

Заключение. Расчеты показали, что увеличение средних скоростей в створе перехода составит порядка 0,7 м/с, это приведет к размыву русла до восстановления его устойчивого состояния. В результате сооружения карьера ниже перехода на участке русла ППМГ отметки дна понизятся минимум на 20 см. При сооружении карьера выше перехода произойдет дополнительное понижение отметок дна на ППМГ (около 10 см). В дальнейшем отметки дна будут понижаться до восстановления естественных уклонов дна и свободной поверхности. Общее понижение отметок дна на ППМГ за несколько лет может достигнуть 0,5 м. С учетом общей тенденции к размыву дна на участке ППМГ это является дополнительным фактором снижения эксплуатационной надежности магистрального газопровода и требует разработки мероприятий по его защите от воздействия неблагоприятных русловых деформаций. Полученные для конкретной реки результаты расчетов указывают на необходимость строгого соблюдения правил выбора местоположения карьеров в районе подводного инженерного сооружения, что обеспечит его надежную эксплуатацию.

Список использованных источников

1 Руководство по проектированию русловых карьеров. Мероприятия по предотвращению понижения уровня воды: утв. М-вом речного флота РСФСР 11.07.86. – М.: Транспорт, Ленингр. отд-ние, 1987. – 50 с.

2 Щербаков, А. О. Перенос и распределение взвеси в открытом потоке: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.14.09 / Щербаков А. О. – М., 1989. – 24 с.

3 Щербаков, А. О. Метод пофракционного расчета распределения наносов в русловом потоке / А. О. Щербаков, Г. Г. Ермаков // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5–6. – С. 69–73.

4 Беркович, К. М. Русловые процессы и русловые карьеры / К. М. Беркович. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 109 с.

5 Гидротехнические сооружения / Г. В. Железняков [и др.]; под общ. ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

УДК 626/627

Д. Т. Палуанов
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент,
Республика Узбекистан

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕЛИВА ВОДЫ ЧЕРЕЗ ГРЕБЕНЬ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

На основе использования методов многофазных жидкостей моделируется перелив воды через гребень грунтовой плотины. Получен степенной закон распределения скоростей вблизи горизонтальной стенки (гребня плотины) и через дно плотины. Получены аналитические закономерности изменения толщины слоя воды в соответствующих областях течения (течения воды в верхнем бьефе до плотины, вблизи плотины, откосов верхнего и нижнего бьефов, над водосливной плотиной и на нижнем бьефе). Определены касательные напряжения вдоль свободной поверхности.

Ключевые слова: грунтовая плотина, течение потока, гидродинамическая модель, водослив, скорость, касательные напряжения.

****

D. T. Paluanov
Tashkent State Technical University, Tashkent, Republic of Uzbekistan

MODELING OF WATER OVERFLOW THROUGH THE EARTH DAM CREST

Water overflow through the earth dam crest using the methods of multiple fluids is simulated. A power law for the distribution of velocities near the horizontal wall (dam crest) and through the bottom of the dam is obtained. Analytical regularities of changes in water layer thickness in corresponding areas of the flow (water flows in the upstream to the dam, *near the dam, slopes of the upstream and downstream, above the overflow dam and on the downstream) have been obtained. Tangential stresses along the free surface are determined.*

Key words: earth dam, stream flow, hydrodynamic model, weir, speed, tangential stress.

Аварии и повреждения плотин и причины, их вызывающие, могут быть самыми разнообразными. Многие ученые и специалисты анализируют аварии, дают их классификацию, приводят статистические данные. На основании анализа всех имеющихся данных установлено, что аварии и повреждения происходят главным образом в результате следующих воздействий:

- перелива воды через гребень плотины (30 %);
- сосредоточенной фильтрации через тело или основание (38 %);
- оползания и деформации откосов (15 %);
- землетрясений (7 %);
- волновых воздействий (5 %);
- прочих факторов (химической суффозии и т. д.).

Статический анализ показывает, что в настоящее время в мире зарегистрировано около 100 разрушений из-за перелива воды через гребень грунтовых плотин. Поэтому в эксплуатации грунтовой плотины перелив воды через гребень имеет особое значение. Перелив воды происходит при недостаточной пропускной способности водосбросных сооружений, что обусловлено занижением в проекте расчетного паводкового расхода, неполадками в затворах, водосливном тракте (особенно при туннельных водосливах) и пр.

При отсутствии на низовом откосе покрытия (особенно когда низовая призма сложена из несвязных песчаных грунтов) разрушение – размыв плотины может произойти весьма быстро на всю высоту сооружения на участке сравнительно небольшой протяженности. Чем мельче размываемый в плотине грунт, тем медленнее происходит размыв и тем более распластанной получается волна прорыва.

В данной статье рассматривается гидродинамическая модель течения потока воды, которое моделируется как течение над полигональным водосливом. Динамика потока воды резко меняет энергию потока.

Постановка задачи. Предположим, что слой воды, приближающейся к водосливу (область G_0 на бесконечности), вверх по течению равен H, скорость – V_A, соответственно, расход $Q_A = V_A \cdot H$. Область течения слоя воды разделим на пять смежных областей (рисунок 1):

G_0 – область течения потока воды, набегающей на водослив, здесь $\infty < x < x_B$, $0 < y < \delta_0(x)$, $\delta_0(x)$ – толщина слоя, м;

G_1 – область течения слоя воды над наклонной плоскостью BB_1 с толщиной $\delta_1(x)$ $(-x_B < x < x_B,\ 0 < y < H + \delta_1(s)\sin\theta_B,\ s$ – координата точек на стенке $BB_1)$;

G_2 – область потока воды над вершиной водослива B_1C с толщиной $\delta_2(x)$, $-x_B \le x \le x_C$, $y = H$;

G_3 – область потока воды над наклонной поверхностью CD с толщиной слоя $\delta_3(x)$, $-x_C < x < x_D$, $0 < y < H + \delta_3(x_D)\sin\theta_D$;

G_4 – область потока воды над горизонтальной поверхностностью DA за водосливом ($x_D < x < \infty,\ 0 < y < \delta_4(x)$).

В областях G_0, G_2 и G_3 будем иметь уравнение Навье – Стокса для воды в виде (где $\rho = \text{const}$ – плотность воды, кг/м^3) [1]:

$$\left.\begin{aligned} u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+v\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\\ u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+v\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\end{aligned}\right\}.$$

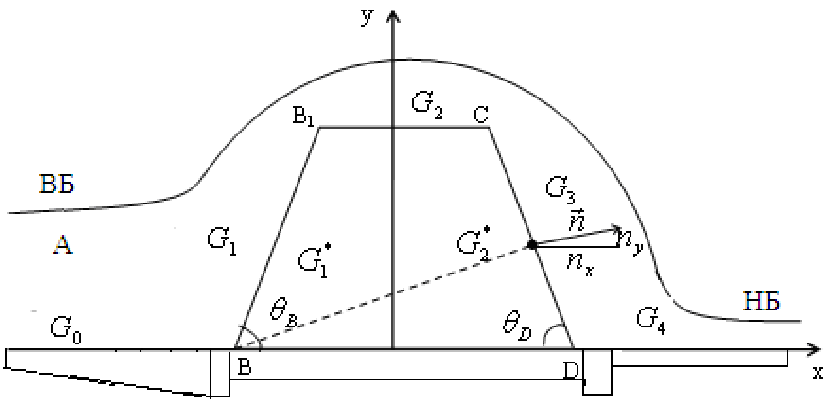


Рисунок 1 – Гидродинамическая модель течения потока воды через гребень грунтовой плотины

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0.$$

В областях G_1 и G_3 введем ортогональные координаты $\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ [2, 3].

С учетом криволинейности ($\vec{\tau}$) дна и нормального напряжения ($\vec{n}$) ко дну координаты s и n соответствуют точкам области G_1 и G_3:

$$\left.\begin{aligned}\vec{\tau}=n_y\vec{i}-n_x\vec{j}\\ \vec{n}=n_y\vec{i}+n_x\vec{j}\end{aligned}\right\}\text{ в области } G_1,$$

$$\left.\begin{aligned}\vec{\tau}=-n_y\vec{i}+n_x\vec{j}\\ \vec{n}=n_y\vec{i}+n_x\vec{j}\end{aligned}\right\}\text{ в области } G_3.$$

Запишем уравнения движения и неразрывности для областей G_1 и G_3 (дно потока криволинейно):

$$\left.\begin{aligned} u_s\frac{\partial u_s}{\partial s}+(1+kn)\nu\frac{\partial p}{\partial s}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial s}+\nu\frac{\partial}{\partial n}(1+kn)\frac{\partial u}{\partial n}-g\sin\theta_D\\ u_s\frac{\partial \nu_s}{\partial s}+(1+kn)\nu_n^2=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial s}+\nu\frac{\partial}{\partial n}(1+kn)\frac{\partial u_s}{\partial n}+g\cos\theta_D\end{aligned}\right\}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_s}{\partial s}+\frac{\partial[(1+kn)\nu_n]}{\partial n}=0,$$

где ∂u_s – приращение скорости, соответствующее приращению координаты ∂s;

$\frac{\partial u_s}{\partial s}$ – градиент скорости (определяет изменение скорости, приходящееся на единицу длины в направлении нормали к поверхности);

$\frac{\partial p}{\partial s}$ – градиент давления в направлении координаты s;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м^2/с.

Первое уравнение системы (1) с учетом уравнения неразрывности можно записать в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial s}(\rho u_s)^2+\frac{\partial}{\partial n}\left[(1+kn)u_s\nu_n\right]=-\frac{\partial p}{\partial s}+\nu\frac{\partial}{\partial n}(1+kn)\frac{\partial u_s}{\partial n}-\rho g\sin\theta_{\mathrm{D}},$$

а для области G_0, G_2 и G_3 уравнение неразрывности имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u)^2+\frac{\partial}{\partial y}\left[u\nu\right]=-\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\frac{\partial^2 u_s}{\partial y^2}-g\sin\theta_{\mathrm{D}}. \qquad (2)$$

Толщина слоя воды определяется известным методом интегральных соотношений, составленных по методу осреднения. Для области G_0, G_2 и G_3 построим интегральное соотношение Кармана [2]:

$$\int\limits_0^{\delta_k(x)}\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x}dy+\int\limits_0^{\delta_k(x)}\frac{\partial}{\partial y}(u\nu)dy=-\int\limits_0^{\delta_k(x)}\frac{\partial p}{\partial x}+\int\limits_0^{\delta_k(x)}\nu\frac{\partial^2 u_s)}{\partial y^2}. \qquad (3)$$

Вне слоя воды предполагается, что имеется потенциальное течение идеальной жидкости. Распределение скоростей определяется как безотрывное обтекание водослива заданной формы [3]. Распределение скоростей вдоль свободной поверхности $V(x)$ определяется согласно интегралу Бернулли:

$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}=U(x)\frac{dU}{dx}. \qquad (4)$$

Вдоль свободной поверхности в областях G_1 и G_3, где распределение скоростей выражается через ортогональные координаты, $V(s)$ имеет вид:

$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial s}=U(x)\frac{dU}{ds}. \qquad (5)$$

Для интегральных соотношений (3) для рассматриваемых областей запишем: в области G_0 из равенств (3) и (4) с учетом постоянства плотности $\rho=\mathrm{const}$ имеем:

$$\int\limits_0^{\delta_0(x)}U_0^2(x,y)dy+u_0\nu_0\Big|_0^{\delta_0(x)}=UU^*\delta_0(x)-\frac{\tau_0}{\rho}\bigg|_{y=0},$$

где $\tau_0=\mu\dfrac{\partial u}{\partial y}$; $\dfrac{\tau_0}{\rho}=U^*$ – динамическая скорость потока.

После некоторых преобразований, т. е. для облегчения решения задач, имеем:

$$\frac{d}{dx}\left[\int\limits_0^{\delta_0(x)}U_0^2(x,y)dy\right]-\frac{d\delta_0(x)}{dx}U_0^2(x)=U_0U_0^*\delta_0(x)-\frac{\tau_0}{\rho}\bigg|_{y=H}. \qquad (6)$$

Такими же уравнения будут и для областей G_2 и G_4. Выводим уравнения и для областей G_1 и G_3. Для области G_1 из уравнений (5) и равенства (6) имеем:

$$\frac{d}{ds}\left[\int\limits_0^{\delta_1(x)}U_1^2(s,n)dn\right]-\frac{d\delta_1(s)}{ds}U_1^2(s)=U_1U_1^*\delta_1(s)-\frac{\tau_{01}}{\rho}\bigg|_{n=1}-g\delta_1(s)\sin\theta_{\mathrm{B}}. \qquad (7)$$

Для области G_3 из равенства (2) и (7) имеем:

$$\frac{d}{ds}\left[\int\limits_0^{\delta_3(s)}U_3^2(s,n)dn\right]-\frac{d\delta_3(s)}{ds}U_3^2(s)=U_3U_3^*\delta_3(s)-\frac{\tau_{01}}{\rho}\bigg|_{n=0}-g\delta_3(s)\sin\theta_{\mathrm{D}}.$$

Таким образом, задачи приведены к определению распределения скоростей в области течения G_k ($k=0;1;2;3;4$). Распределения скоростей в областях G_k имеют вид [3]:

$$U_k(s,n) = U_k(s)\left[a_0^k + a_1^k \eta_k + a_2^k \eta_k^2 + a_3^k \eta_k^3 + a_4^k \eta_k^4\right], \tag{8}$$

где η_k определяется равенствами:

$$\eta_0 = \frac{n}{\delta_0(x)},\ \eta_1 = \frac{n}{\delta_1(x)},\ \eta_2 = \frac{n}{\delta_2(x)},\ \eta_3 = \frac{n}{\delta_3(x)},\ \eta_4 = \frac{n}{\delta_4(x)}.$$

Установим основные краевые условия для определения неизвестных коэффициентов выражений для распределения скорости a_n^k.

Всюду в областях G_k на твердых неподвижных границах удовлетворяются условия прилипания воды к твердой стенке:

$$u_k(s,\ 0) = 0. \tag{9}$$

На свободных поверхностях, когда $\eta_k = 1$:

$$\eta_k(s, \delta_k(s)) = U_k(s),\ \left.\frac{\partial u_k(s,n)}{\partial n}\right|_{n=\delta_k(s)} = 0. \tag{10}$$

Из уравнений движения с учетом граничных условиях (9) и (10) определим условия для:

$$\left.\frac{\partial^2 u_k}{\partial n^2}\right|_{n=0} = \lambda_k,\ \left.\frac{\partial^2 u_k}{\partial n^2}\right|_{n=1} = \lambda_k.$$

Учитывая полученные граничные условия для областей G_k, из равенства (8) будем иметь выражения для распределения скорости в областях G_0, G_2 и G_4 ($k = 0;\ 2;\ 4$):

$$\hat{U} = \left[(2\eta - 2\eta^3 + \eta^4) + \left(\frac{1}{3}\eta - \eta^2 - \eta^3 + \frac{1}{4}\eta^4\right)\lambda\right].$$

И в областях G_1 и G_3:

$$\hat{U} = \left(6 - \frac{\sin\theta_D}{3\nu}\left[\frac{g - UU^*}{U_0\hat{U}_0}\right]\right)\eta - \left(4 + \frac{2\sin\theta_D}{3\nu}\left[\frac{g - UU^*}{U_0\hat{U}_0}\right]\right)\eta^3 -$$

$$-\left(1 - \frac{\sin\theta_D}{3\nu}\left[\frac{g - UU^*}{U_0\hat{U}_0}\right]\right)\eta^4 - \left(\frac{1}{3}\eta - \eta^2 + \frac{1}{3}\eta^3 \frac{1}{4}\eta^4\right)\lambda.$$

Определим производные по x в областях G_0, G_2 и G_4 или по s в областях G_1 и G_3:

$$\frac{\partial U_k}{\partial x} = U'_k(x)\left[a_0^{(k)} + a_1^{(k)}\eta_k + a_2^{(k)}\eta_k^2 + a_3^{(k)}\eta_k^3 + a_4^{(k)}\eta_k^4\right] +$$

$$+ U_k(x)\left[(a_0^{(k)})'_{x,s} + (a_1^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k + (a_2^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k^2 + (a_3^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k^3 + (a_4^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k^4\right] +$$

$$+ U_k(x)\frac{d\delta_k}{d}\left[a_1^{(k)} + 2a_2^{(k)}\eta_k^2 + 3a_3^{(k)}\eta_k^2 + 4a_4^{(k)}\eta_k^3\right]. \tag{11}$$

Тогда, интегрируя по $y(n)$ в пределах $0 \le \tilde{\eta} \le \eta$, $0 \le \tilde{n} \le n$, получим выражение для распределения нормальных скоростей в виде:

$$V_k(x,y) = V_k(s,n) = U'_k(x)\partial_k(x)\left[a_0^{(k)}\eta_k + \frac{1}{2}a_1^{(k)}\eta_k^2 + \frac{1}{3}a_2^{(k)}\eta_k^3 + \frac{1}{4}a_3^{(k)}\eta_k^4 + \frac{1}{5}a_4^{(k)}\eta_k^5\right] +$$

$$+ U_k(x)\partial_k(x)\left[(a_0^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k + \frac{1}{2}(a_1^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k^2 + \frac{1}{3}(a_2^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k^3 + \frac{1}{4}(a_3^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k^4 + \frac{1}{5}(a_4^{(k)})'_{x,s}\,\eta_k^5\right] +$$

$$+ U_k(x)\partial_k(x)\left[\frac{a_1^{(k)}}{2}\eta_k^2 + \frac{2}{3}a_2^{(k)}\eta_k^3 + \frac{3}{4}a_3^{(k)}\eta_k^4 + \frac{4}{5}a_4^{(k)}\eta_k^5\right]. \tag{12}$$

Имея выражения для распределения скоростей (11) и (12) и интегральные соотношения для каждой области, получим обыкновенные дифференциальные уравнения для толщины каждого слоя $\delta_k(x)$ для областей U_k. Для этого определим $U_k^2(x,n)$:

$$u_k^2 = U_k^2(s)\left[a_0^{[k]} + a_1^{[k]}\eta_k + a_2^{[k]}\eta_k^2 + a_3^{[k]}\eta_k^3 + a_4^{[k]}\eta_k^4\right]. \quad (13)$$

Введя $k = 1; 3; 0; 2; 4$ и интегрируя $U_k^2(x,n)$ в отрезке $0 < y < \delta_k(x)$, имеем:

$$\int_0^{\delta_1}[u_k(x,y)]^2 dy = \delta_1\int_0^1[u_k(\eta)]^2 d\eta_k = \delta_k U_k^2(x)\int_0^1\{U_k(\eta)\}d\eta_k = \delta_k(x)U_k^2(x)I_{0k}.$$

Пользуясь равенством (8), определяем:

$$\tau^{(x)} = \mu\frac{\partial U_k}{\partial y} = \mu\frac{\partial U_k}{\partial(\delta\eta)} = \mu\frac{1}{\delta_k(x)}\frac{\partial U_k}{\partial\eta} = \mu\frac{\partial U_k}{\delta_k(x)}[a_1^{(k)} + 2a_2^{(k)}\eta_k^2 + 3a_3^{(k)}\eta_k^2 + 4a_4^{(k)}\eta_k^3]. \quad (14)$$

Уравнение (6) с учетом распределения скоростей (8) для области G_0, $k = 0$:

$$\eta = \frac{y}{\delta_0(x)}.$$

Вблизи горизонтальной стенки обычно задается степенной закон скорости $\hat{U}_0(\hat{x}) = |\hat{x}|^m$ вдали от водослива $m = \mathrm{ctg}\theta_{\mathrm{D}}$.

При $m = 1/7$ имеем:

$$\hat{\delta}_0(x) = \delta_0(-x_B)\sqrt{1 - \lambda_0\frac{1}{1 - 0{,}03m}|\hat{x}|^{(1-m)} - |\hat{x}_B|^{1-m}}.$$

Далее определяются распределение скорости и толщины слоя в областях G_1, G_2, G_3 и G_4:

$$\delta_2(x) = \delta_2(\hat{x}_{\mathrm{B1}})\sqrt{1 - \lambda_1(\hat{x}^{1-m} - \hat{x}_{\mathrm{B1}}^{1-m})},\ \delta_4(x) = \delta_4(\hat{x}_{\mathrm{D}})\sqrt{1 - \lambda_4(\hat{x}^{1-m} - \hat{x}_{\mathrm{D}}^{1-m})}.$$

Вдоль поверхности $\mathrm{BB_1}$:

$$\delta_1(x) = \delta_1(\hat{x}_{\mathrm{B}})\sqrt{1 - \lambda_1[|\hat{x}|^{1-m} - |\hat{x}_{\mathrm{B}}|^{1-m}]},\ \delta_3(x) = \delta_3(\hat{x}_{\mathrm{C}})\sqrt{1 - \lambda_1(\hat{x}^{1-m} - \hat{x}_{\mathrm{C}}^{1-m})},$$

где $\delta_1(|\hat{x}_{\mathrm{B}}|) = \delta_1(\hat{x}_{\mathrm{B}})/\cos\theta_{\mathrm{B}}, \delta_3(\hat{x}_{\mathrm{B}}) = \delta_4(\hat{x}_{\mathrm{D}})/\cos\theta_{\mathrm{D}} = \delta_1(\hat{x}_{\mathrm{C}})/\cos\theta_{\mathrm{D}}$.

Толщины слоев определяются равенствами в точках B, $\mathrm{B_1}$, C, $\mathrm{C_1}$.

Касательные напряжения вдоль поверхностей определяются следующим образом:

$$\tau_k = -\mu\frac{a_1^{(k)}U_{\mathrm{A}}\hat{U}_0(x)}{H\hat{\delta}_k(x)}.$$

Используя выражения (8), (13) и (14), касательные напряжения определим следующим образом:

$$\tau = \mu\frac{U(s)}{\delta_k(s)}[a_1^{(k)} + 2a_1^{(k)}\eta_k + 3a_3^{(k)}\eta_k^2 + 4a_4^{(k)}\eta_k^3].$$

Выводы. На основе использования дифференциального уравнения получено распределение скоростей во всей области течения потока воды и степенной закон распределения скоростей вблизи горизонтальной стенки плотины.

Список использованных источников

1 Богомолов, А. И. Гидравлика: учеб. для вузов / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.

2 Хамидов, А. А. Плоские и осесимметрические струйные течения идеальной несжимаемой жидкости / А. А. Хамидов. – Ташкент: Наука, 1978. – 139 с.

3 Хамидов, А. А. Теория струй многофазной вязкой жидкости / А. А. Хамидов, С. И. Худайкулов. – Ташкент: Фан, 2005. – 120 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.674.4;631.674.6;634.11

В. И. Кременской, А. М. Джапарова
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА ЛОКАЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТА НА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ПЛОДОВОГО ИНТЕНСИВНОГО САДА

Цель исследований – определение влияния объема увлажнения почвогрунта на суммарное водопотребление при различных способах орошения. Рассмотрено водопотребление яблоневого сада с разными объемами локального увлажнения при капельном и внутрипочвенном поливе в динамике по годам исследований и при различной обеспеченности осадками в условиях Степного Крыма. Определена зависимость водопотребления плодового сада от объема увлажнения почвы. Увеличение доли локального увлажнения почвы под плодовыми культурами от объема питания дерева способствует увеличению суммарного водопотребления и повышает урожайность.

Ключевые слова: внутрипочвенное орошение, капельное орошение, поливная норма, увлажнитель, суммарное водопотребление, локальное увлажнение, обеспеченность, урожайность.

****

V. I. Kremenskoy, A. M. Dzhaparova
Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

THE IMPACT OF LOCAL SOIL MOISTENING VOLUME ON WATER CONSUMPTION OF INTENSIVE FRUIT GARDEN

The aim of the research is to determine the impact of soil moistening content on the total water consumption for various methods of irrigation. The water consumption of an apple orchard with different volumes of local moistening during drip and subsoil irrigation is examined in dynamics over the years of research and under different conditions of rainfall in the Steppe Crimea. The dependence of the orchards water consumption on the volume of soil moistening is determined. An increase in the share of local soil moistening under fruit trees from the volume of tree nutrition contributes to the increase of total water consumption and raises the yield.

Key words: subsoil irrigation, drip irrigation, irrigation norm, moistener, total water consumption, local moistening, availability, yield.

Введение. Водопотребление зависит от метеорологических условий, влажности почвы, физиологических свойств возделываемой культуры, урожайности, уровня агротехники и других показателей [1–3]. Величина водопотребления плодового яблоневого сада за вегетационный период определялась методом водного баланса [4]. Проведение регулярных замеров его составляющих дает полную информацию о величине водопотребления за данный период.

Увлажнение оптимальной корнеобитаемой зоны позволяет проводить поливы меньшей поливной нормой, при этом обеспечивая нормальные условия для развития растений, получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Дж. Келлер и Д. Кармели [5] рекомендуют проектировать системы капельного орошения таким образом, чтобы увлажнялось не менее 33 % площади питания растений с малой густотой стояния. Для растений с большей густотой стояния необходимо увлажнять больший объем почвы с тем, чтобы обеспечить поступление достаточного количества воды к каждому растению [6].

Исследованиями В. И. Водяницкого и др. [7–9] установлено, что при возрастании объема увлажнения капельным способом в плодовом саду увеличивается и продуктивность насаждений.

При внутрипочвенном увлажнении в почву укладывается один или два увлажнителя на ряд деревьев в зависимости от ширины междурядья.

Материал и методы. Исследования проводились в опытном хозяйстве Крымского научно-исследовательского центра Института гидротехники и мелиорации УААН в с. Желябовка Нижнегорского района Республики Крым на участке пальметтного яблоневого сада на площади 14,0 га.

Схема 4,0 × 2,5 м, подвой М9. Изучались способы локального полива: внутрипочвенный и капельный – с различными объемами увлажнения почвенного грунта.

Контроль. Первый квартал сада. Полив по бороздам.

Первый вариант. Внутрипочвенное орошение с одним керамическим увлажнителем (справа от ряда деревьев на расстоянии 0,75 м).

Второй вариант. Внутрипочвенное орошение с двумя керамическими увлажнителями (справа и слева на расстоянии 0,75 м от ряда деревьев).

Третий вариант. Внутрипочвенное орошение с тремя керамическими увлажнителями (справа, слева и посередине междурядья).

Четвертый вариант. Внутрипочвенное орошение с одним увлажнителем из полиэтиленовой перфорированной трубки 20 мм с шагом 0,35 м справа от ряда деревьев.

Пятый вариант. Капельное орошение с установкой одной капельницы возле штамба дерева с расходом 10–12 л/ч.

Почвенный покров пальметтного яблоневого сада представлен лугово-черноземными карбонатными тяжелосуглинистыми почвами на желто-буром лессовидном суглинке. Мощность гумусового горизонта составляет 0,7–1,2 м, содержание гумуса 1,39–2,85 %. Удельная масса почвы в метровом слое – 2670 кг/м^3, плотность сложения – 1350 кг/м^3. Общая скважность в верхних горизонтах 47–55 %. Наименьшая влагоемкость в верхнем полуметровом слое колеблется в пределах 29–31 % от веса сухой почвы. Во втором полуметровом слое она снижается до 25–29 %.

Расчетный режим увлажнения пальметтного сада установлен на уровне 75 % наименьшей влагоемкости и более.

Уровень залегания грунтовых вод на участке орошения зависит от времени года. Зимой и в начале вегетационного периода грунтовые воды на участке находятся на глубине 3,0–3,6 м. В июле – августе глубина достигает 2,4–2,8 м от поверхности. Затем уровень грунтовых вод снижается и в ноябре занимает исходное положение. Амплитуда колебания уровня грунтовых вод в течение года составляет 0,7–1,2 м. Минерализация грунтовых вод 3,5–4,2 г/л.

Целью исследований являлось определение эффективности перспективных способов полива – внутрипочвенного и капельного – и оценка влияния объема увлажнения почвогрунта на суммарное водопотребление.

Результаты и обсуждение. С 1979 по 2000 г. проводились поливы пальметтного сада с различной долей объема увлажнения. Установлено, что поливные нормы находятся в прямой зависимости от объема увлажнения.

Вариант 1 – 30%-ный объем увлажнения (V_1). Поливные нормы 178–228 м^3/га.

Вариант 2 – 60%-ный объем увлажнения (V_2). Поливные нормы 356–455 м^3/га.

Вариант 3 – 80%-ный объем увлажнения (V_3). Поливные нормы 474–606 м^3/га.

Вариант 4 – 20%-ный объем увлажнения (V_4). Поливные нормы 119–152 м^3/га.

Вариант 5 – 25%-ный объем увлажнения (V_5). Поливные нормы 129–164 м^3/га.

При внутрипочвенном поливе верхний горизонт 0,2 м не увлажняется.

За 22 года эксплуатации систем внутрипочвенного и капельного орошения пальметтного яблоневого сада оросительные нормы и количество поливов менялись в зависимости от засушливости года и гидротермического коэффициента (ГТК).

По Г. Т. Селянинову, влагообеспеченность территории характеризуется ГТК, который представляет собой отношение суммы осадков P к сумме среднесуточных температур Σt выше 10 °С за период.

На рисунке 1 представлена многолетняя динамика водопотребления яблоневого сада по вариантам орошения. Наибольшими величины водопотребления были при поливе по бороздам, наименьшими – при внутрипочвенном поливе с одним увлажнителем (варианты 1 и 4) и при капельном орошении (вариант 5).

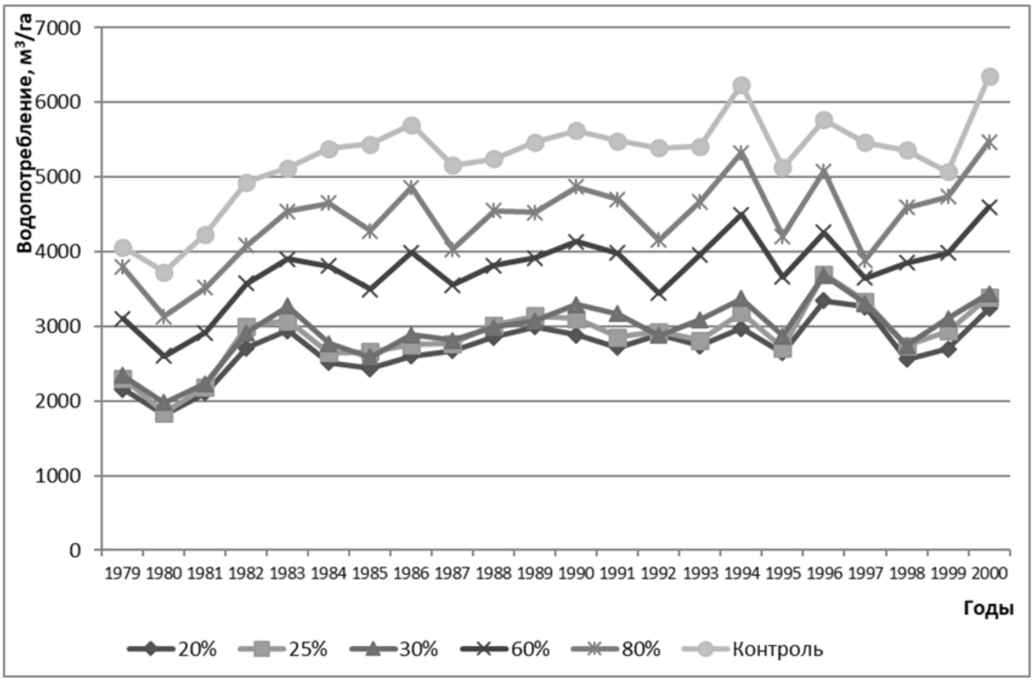


Рисунок 1 – Динамика водопотребления яблоневого сада по годам исследований и вариантам орошения

ГТК характеризует засушливость года. Минимальное его значение (0,28) наблюдалось в 1984 г. (очень сухой год), 1997 г. был достаточно увлажненным (ГТК 1,24).

С целью использования полученных данных для проектирования и эксплуатации систем внутрипочвенного и капельного орошения провели обработку данных и представили в таблице 1 суммарное водопотребление и его составляющие по вариантам при различной обеспеченности.

Таблица 1 – Водопотребление плодового сада при разной обеспеченности

Наименование	Вариант					
	Контроль	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
95%-ная обеспеченность						
Год	1994	2000	1994	1994	2000	2000
ГТК	0,59	0,93	0,59	0,59	0,93	0,93
Водопотребление, м^3/га	6244	3434	4500	5327	3238	3396
Оросительная норма, м^3/га	4400	1706	2791	3639	1367	1559
Количество поливов, шт.	Вл* + 3	9	7	7	10	11

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Осадки, м^3/га	1103	1355	1103	1103	1355	1355
Грунтовые воды, м^3/га	142	141	142	142	141	141
Влагозапасы почвы, м^3/га	599	232	464	443	375	341
75%-ная обеспеченность						
Год	1990	1983	1991	1999	1994	1990
ГТК	0,69	0,82	0,74	0,85	0,59	0,69
Водопотребление, м^3/га	5623	3271	3984	4740	2975	3107
Оросительная норма, м^3/га	3800	1342	2338	3109	1459	1437
Количество поливов, шт.	Вл* + 3	7	6	6	11	10
Осадки, м^3/га	1202	1411	1149	1163	1103	1202
Грунтовые воды, м^3/га	134	93	129	120	142	131
Влагозапасы почвы, м^3/га	490	425	369	348	271	337
50%-ная обеспеченность						
Год	1993	1988	1998	1988	1991	1999
ГТК	0,67	0,66	0,56	0,66	0,74	0,85
Водопотребление, м^3/га	5413	2989	3852	4548	2715	2934
Оросительная норма, м^3/га	3700	1198	2395	2661	1171	1273
Количество поливов, шт.	Вл* + 3	6	6	5	9	9
Осадки, м^3/га	1046	1418	893	1418	1149	1163
Грунтовые воды, м^3/га	135	79	101	79	129	120
Влагозапасы почвы, м^3/га	532	264	463	390	266	378
25%-ная обеспеченность						
Год	1983	1987	1987	1987	1998	1995
ГТК	0,82	0,69	0,69	0,69	0,56	0,61
Водопотребление, м^3/га	5123	2813	3551	4036	2561	2710
Оросительная норма, м^3/га	3200	1238	2058	2582	1215	1294
Количество поливов, шт.	Вл* + 2	6	5	5	9	9
Осадки, м^3/га	1411	1097	1097	1097	893	937
Грунтовые воды, м^3/га	93	97	97	97	101	119
Влагозапасы почвы, м^3/га	419	381	299	260	352	360
5%-ная обеспеченность						
Год	1979	1981	1981	1981	1981	1981
ГТК	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Водопотребление, м^3/га	4059	2235	2915	3516	2106	2187
Оросительная норма, м^3/га	2600	763	1475	2030	680	701
Количество поливов, шт.	Вл* + 2	5	5	5	7	6
Осадки, м^3/га	1007	1070	1070	1070	1070	1070
Грунтовые воды, м^3/га	108	86	86	86	86	86
Влагозапасы почвы, м^3/га	344	316	284	330	270	330
*Вл – влагозарядковый полив нормой 1500 м^3/га.						

Водопотребление 95%-ной обеспеченности наблюдалось в 1994 г. (ГТК 0,59, среднесухой год) и в 2004 г. (ГТК 0,93, недостаточно увлажненный год). В варианте 3 с тремя увлажнителями суммарное водопотребление E составило 5327 м^3/га, из них оросительная норма M – 3639 м^3/га (68 %), осадки – 1103 м^3/га (21 %). Проведено семь поливов.

В варианте 1 с одним увлажнителем E = 3434 м^3/га, из них M – 1706 м^3/га (50 %), а осадки – 1355 м^3/га (39 %). Проведено девять поливов.

В варианте 5 с капельным орошением E = 3396 м^3/га, из них оросительная норма 1559 м^3/га (46 %), проведено 11 поливов, а осадки 1355 м^3/га (40 %).

Водопотребление в год 95%-ной обеспеченности является расчетным для интенсивных садов яблони на подвое М9.

Водопотребление 75%-ной обеспеченности по вариантам опыта изменялось от 4740 м^3/га в варианте 3 до 2975 м^3/га в варианте 4 с одним увлажнителем из перфорированной полиэтиленовой трубки диаметром 20 мм. Процент оросительной воды составлял от 41 (вариант 1) до 66 % (вариант 3), что близко к водопотреблению в год 95%-ной обеспеченности.

Водопотребление 5%-ной обеспеченности наблюдалось в основном в 1981 г. (ГТК – 0,65, засушливый год). Водопотребление по вариантам опыта изменялось от 3516 до 2106 м^3/га. Доля оросительной воды составляла от 58 до 32 %, а осадков – от 51 до 30 %.

На рисунке 2 представлена зависимость водопотребления разной обеспеченности от объема увлажнения почвы.

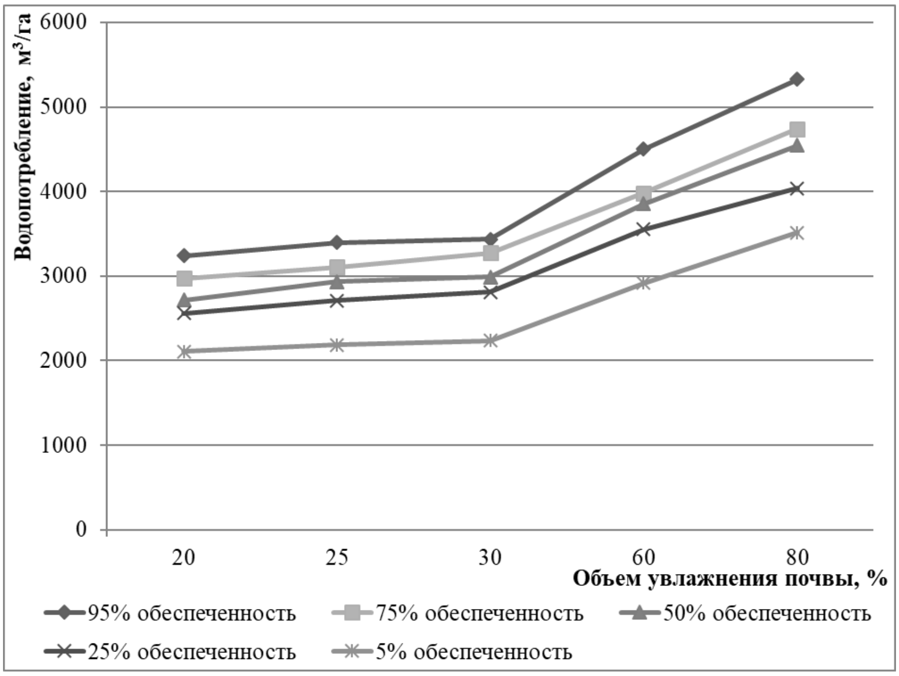


Рисунок 2 – Зависимость водопотребления разной обеспеченности от объема увлажнения почвы

Из данных рисунка 2 видно, что с возрастанием объема увлажнения соответственно увеличивается и водопотребление интенсивного плодового сада. Наибольшим потребление оросительной воды получается при 80%-ном объеме увлажнения почвы.

Наибольшее число поливов проводилось при капельном орошении (191 полив за 22 года эксплуатации, в среднем – 8,7 полива в год за вегетационный период). В варианте 3 (внутрипочвенное орошение с тремя керамическими увлажнителями) проведено 120 поливов, в среднем за вегетационный период проводилось 5,5 полива. Меньше поливов проводилось в апреле (1–2 полива). За летние месяцы вегетационного периода (июнь – август) проводилось 75–78 % всех поливов, в июле – августе проводилось 56–60 %. Эти летние месяцы – наиболее напряженный поливной период.

Средняя урожайность за период с 1981 по 1993 г. по вариантам составила 25,4–36,9 т/га, что на 36–97 % выше, чем на контроле (полив по бороздам). Наибольший средний урожай за 13 лет был получен на участке внутрипочвенного орошения с двумя керамическими увлажнителями (36,9 т/га), на участке капельного орошения – 31,7 т/га, а на контроле (полив по бороздам) урожайность составила 18,7 т/га.

Выводы

1 Современные способы полива интенсивных садов – капельный и внутрипочвенный – обеспечивают своевременное и качественное проведение поливов, экономное расходование поливной воды, повышение производительности труда и увеличение урожайности плодовых культур в 1,4–2,0 раза по сравнению с поливом по бороздам.

2 Наибольшее водопотребление соответствует 80%-ному объему увлажнения почвы, что способствует повышению продуктивности многолетних насаждений.

3 Увеличение доли объема локального увлажнения почвогрунта плодовых культур до 60 % объема питания дерева способствует увеличению суммарного водопотребления и повышению продуктивности многолетних насаждений.

4 В летние месяцы (июнь – август) производится 75–78 % всех поливов, это наиболее напряженный поливной период.

Список использованных источников

1 Шумаков, Б. А. Изучение водопотребления сельскохозяйственных культур – основы для проектирования режима орошения / Б. А. Шумаков // Биологические основы орошаемого земледелия. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 370–376.

2 Григоров, М. С. Водопотребление сельскохозяйственных культур при подпочвенном орошении / М. С. Григоров // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1981. – № 3. – С. 35–39.

3 Данильченко, Н. В. О новых подходах к расчетам водопотребления в свете задач по восстановлению роли орошения в сельскохозяйственном производстве России / Н. В. Данильченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2001. – № 6. – С. 30–34.

4 Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации / С. М. Гончаров, С. М. Коробченко, С. В. Ковалёв, Г. С. Потоцкий. – Львов: Вища школа, 1988. – 351 с.

5 Келлер, Дж. Проектирование систем капельного орошения / Дж. Келлер, Д. Кармели: [пер. с англ.]. – Киев, 1976. – 164 с.

6 Кременской, В. И. Перспективы развития плодоводства в Крыму на основе капельного орошения / В. И. Кременской, Н. М. Иванютин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2(62). – С. 185–189.

7 Водяницкий, В. И. Режим капельного полива и урожайность яблони / В. И. Водяницкий, А. Б. Расторгуев, Т. П. Позднякова // Садоводство и виноградарство. – 2002. – № 2. – С. 8–9.

8 Водяницкий, В. И. Режим капельного орошения яблоневых садов / В. И. Водяницкий // Садоводство и виноградарство. – 2002. – № 6. – С. 4–6.

9 Кременской, В. И. Укладка поливных трубопроводов бестраншейным способом в Крыму / В. И. Кременской, А. М. Джапарова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 75–81.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 633.11/14:631.445.4

А. В. Гринько, Н. Н. Вошедский, В. А. Кулыгин
Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация

ПРИЕМЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Опыт проводился на опытном стационаре ФГБНУ ФРАНЦ в 2016–2018 гг. Целью исследований было установление влияния способов основной обработки почвы и уровней минерального питания на продуктивность нового сорта яровой тритикале Саур. Изучались три способа основной обработки почвы (отвальная (контроль), чизельная и поверхностная) и три уровня минерального питания (без удобрений (контроль), средний ($N_{40}P_{40}K_{40}$) и высокий ($N_{80}P_{80}K_{80}$)). Применявшаяся агротехника соответствовала зональным рекомендациям. При проведении полевых опытов использовались общепринятые методики. Установлено, что наибольшая урожайность тритикале получена в условиях отвального способа основной обработки почвы и высокого фона минерального питания (26,9 ц/га). В варианте чизельной обработки данный показатель был ниже на 1,0 ц/га, а разница по сравнению с контролем не превысила 3,7 %. Самая высокая окупаемость применения удобрений прибавкой урожая отмечена на среднем фоне минерального питания ($N_{40}P_{40}K_{40}$) при всех изучаемых способах основной обработки почвы. В абсолютном значении наибольший показатель (4,17 кг/кг) получен в условиях отвальной обработки.

Ключевые слова: яровая тритикале, обработка почвы, удобрения, урожайность, эффективность использования, отдача.

****

A. V. Grin'ko, N. N. Voshedskiy, V. A. Kulygin
Federal Rostov Agricultural Research Center, Rassvet, Russian Federation

EXAMPLES OF SPRING TRICTICALE CULTICATION IN ROSTOV REGION

The experiment was carried out at the experimental station of the Federal State Funded Research Institution FRANCE in 2016–2018. The aim of the studies was to determine the influence of the methods of basic soil cultivation and mineral nutrition levels on the productivity of a new variety of spring triticale Saur. Three methods of basic tillage (moldboard (control), chisel and surface) and three levels of mineral nutrition (without fertilizers (control), medium ($N_{40}P_{40}K_{40}$) and high ($N_{80}P_{80}K_{80}$)) were studied. Applied agrotechnics corresponded to zonal recommendations. The conventional methods were used during the field experiments. It was found that the highest yield of triticale was under conditions of moldboard method of basic soil cultivation and high status of mineral nutrition (26.9 c per ha). In the version of the chisel processing, this indicator was lower by 1.0 c/ha, and its difference compared to the control did not exceed 3.7 %. The highest return of fertilizer application by yield gain was noted on the average background of mineral nutrition ($N_{40}P_{40}K_{40}$) for all studied methods of basic tillage. The highest index (4.17 kg per kg) in the absolute value was obtained under the conditions of moldboard tillage.

Key words: spring triticale, soil cultivation, fertilizers, yield, utilization efficiency, return.

Введение. Тритикале является перспективной зерновой культурой при возделывании в засушливых условиях юга России, обладает высоким потенциалом урожайности, стрессовынослива в отношении погодных факторов и почвенных условий [1, 2]. Основное направление использования зерна тритикале – изготовление комбикормов для питания животных. Тритикале находит широкое применение при изготовлении хлебных и макаронных изделий. Зерно тритикале является ценным сырьем для спиртовой промышленности, используется в бродильном производстве, из него производят биологическое жидкое топливо. Широкое производственное возделывание данной культуры в условиях Ростовской области началось относительно недавно, и фактическая урожайность культуры в регионе значительно ниже ее потенциальных характеристик [1, 3]. Согласно данным Минсельхоза, в 2011–2015 гг. средняя урожайность тритикале в области не превышала 19,4 ц/га [3]. Невысокая фактическая продуктивность тритикале обусловлена несовершенством применяемых технологий возделывания, недостаточным внедрением в производство достижений науки, новых, урожайных сортов [1, 2, 4]. В связи с этим актуальным остается совершенствование элементов технологии возделывания яровой тритикале, которое направлено на оптимизацию факторов, влияющих на условия вегетации культуры, способствующих получению высокой, устойчивой урожайности зерна [2, 4, 5].

Одним из путей увеличения продуктивности яровой тритикале является внедрение в производство новых высокоурожайных сортов, обладающих комплексом устойчивости к неблагоприятным условиям среды. В связи с этим объектом наших исследований являлся новый, перспективный сорт яровой тритикале Саур, выведенный селекционерами ФГБНУ ФРАНЦ.

Цель исследований – установление влияния способов основной обработки почвы и уровней минерального питания на продуктивность нового сорта яровой тритикале Саур в почвенно-климатических условиях Приазовской зоны Ростовской области.

Материалы и методы. Исследования проводились на опытном стационаре ФГБНУ ФРАНЦ (ДЗНИИСХ) в 2016–2018 гг.

Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным карбонатным среднемощным легкосуглинистым на лессовидном суглинке. Содержание гумуса в пахотном слое 3,9–4,1 %, общего азота 0,21–0,24 %. Реакция почвенного раствора слабощелочная (pH 7,2–7,3). Плотность сложения пахотного слоя в ненарушенном состоянии составляет 1,29 г/см^3. Агротехника при проведении опыта соответствовала зональным рекомендациям [6]. При проведении опыта использовались общепринятые методики [7].

Как показывает практика, при возделывании зерновых культур, в частности яровой тритикале, около трети всех затрат приходится на обработку почвы, и обоснованная экономия данных расходов является резервом повышения эффективности производства [2]. Поэтому, наряду с традиционной для региона отвальной основной обработкой почвы под тритикале, изучались менее энергозатратные варианты. Известна относительно высокая потребность тритикале в элементах минерального питания, но при этом установлено, что в отдельные годы с засушливыми условиями вегетационного периода данная культура может слабо реагировать на минеральные удобрения [1]. В связи с этим изучался ресурсосберегающий вариант фона удобрений.

Варианты опыта были расположены в пространстве в четырехкратной повторности. При этом на варианты со способами основной обработки почвы наложены варианты с уровнями минерального питания растений. Опыт двухфакторный:

- фактор А – способ обработки почвы:

а) отвальная на глубину 25–27 см (ПЛН-4-35) (контроль);

б) чизельная на глубину 25–27 см (ПЧН-2,5);

в) поверхностная на 12–14 см (АКВ-4);

- фактор С – режим питания растений:

а) без удобрений (контроль) (б/у);

б) средний уровень питания – $N_{40}P_{40}K_{40}$ (0,5 NPK);

в) высокий уровень питания – $N_{80}P_{80}K_{80}$ (NPK).

Под яровую тритикале удобрения вносились дробно: под основную обработку почвы – $P_{80}K_{80}$ и $P_{40}K_{40}$. Аналогичным образом вносились и азотные подкормки: под предпосевную культивацию дозами N_{40}, N_{20} и в фазе кущения растений в прикорневую подкормку N_{40}, N_{20}. При проведении основных обработок под яровую тритикале энергетические затраты составили: при отвальной обработке – 358–363, чизельной – 140–145, поверхностной – 86–89 МДж/га [2, 4].

В годы проводимых исследований погодные условия в период роста и развития тритикале существенно отличались, что отражает показатель гидротермического коэффициента, который составил в 2016 г. 0,82, в 2017 г. – 0,77, в 2018 г. – 0,23, характеризуя вегетационные периоды первых двух лет как засушливые, третьего года – как сухой.

Результаты и обсуждение. Яровая тритикале считается самой засухоустойчивой из зерновых культур. Однако, как показывает практика, в годы, когда погодные условия способствовали оптимальной влагообеспеченности растений, урожайность зерна увеличивалась более чем в два раза по сравнению с условиями возделывания при дефиците почвенной влаги. Поэтому важным фактором, оказывающим существенное влияние на условия роста и развития яровой тритикале в зоне недостаточного увлажнения, являются запасы продуктивной почвенной влаги, особенно в критические периоды водопотребления культуры, которые напрямую зависят от количества выпавших атмосферных осадков. У яровой тритикале критическим периодом водопотребления является выход в трубку, и дефицит почвенной влаги в данный период оказывает существенное влияние на снижение урожайности культуры. В период восковой спелости растения тритикале также испытывают высокую водопотребность. Важной характеристикой запасов продуктивной почвенной влаги является влагообеспеченность слоя 1 м [8].

Разные способы основной обработки почвы оказали определенное влияние на изменение почвенных влагозапасов (таблица 1), а нормы удобрений под яровую тритикале на данный фактор существенно не влияли. Характерны средние показатели в годы исследований в варианте с фоном удобрений NPK.

Таблица 1 – Запасы продуктивной почвенной влаги под яровой тритикале в слое 1 м в зависимости от способа основной обработки почвы

В мм/оценка запасов

Время определения запасов влаги	Основная обработка		
	Отвальная	Чизельная	Поверхностная
Посев	165 отличные	173 отличные	181 отличные
Выход в трубку	101 удовлетворительные	105 удовлетворительные	110 удовлетворительные
Восковая спелость	76 плохие	81 плохие	84 плохие
Полная спелость	36 очень плохие	42 очень плохие	44 очень плохие

Как следует из приведенных данных, запасы почвенной влаги на посевах яровой тритикале в периоды наибольшей водопотребности растений оценивались в годы исследований как удовлетворительные (выход в трубку) и плохие (восковая спелость), что оказало определенное влияние на показатели продуктивности культуры.

Разные способы основной обработки почвы и фоны минерального питания предопределили отличия условий вегетации яровой тритикале в вариантах опыта и отразились на средних показателях урожайности (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние фона минерального питания на урожайность яровой тритикале

Способ основной обработки	Урожайность						Прибавка урожайности от удобрений			
	б/у		0,5 NPK		NPK		0,5 NPK		NPK	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Отвальная (контроль)	19,1	100	24,1	100	26,9	100	5,0	26,2	7,8	40,8
Чизельная	18,5	96,9	23,1	95,9	25,9	96,3	4,6	24,9	7,4	40,0
Поверхностная	13,0	68,1	15,3	63,5	16,1	59,9	2,3	17,7	3,1	23,9
$НСР_{0,5}$ = 1,34 ц/га. $НСР_{0,5}$: по фактору А – 1,21 ц/га; по фактору С – 1,41 ц/га.										

Самая высокая урожайность зерна получена на фоне отвальной основной обработки при разных уровнях минерального питания, изменяясь в пределах 19,1–26,9 ц/га. В условиях чизельной обработки урожайность оказалась несколько меньше, чем при отвальной, а соответствующая разница составила: на участках без удобрений – 0,6 ц/га, в вариантах 0,5 NPK и NPK – по 1,0 ц/га, что в относительных единицах не превысило 3,1–4,1 %. При поверхностной основной обработке почвы отмечалось значительное снижение урожайности зерна, которое на фоне разных уровней внесения удобрений достигло 6,1–10,8 ц/га, или 31,9–40,1 %, по сравнению с контролем.

Повышение урожайности тритикале под действием удобрений происходило в вариантах опыта по мере увеличения нормы внесения и интенсивности основной обработки почвы. При отвальной обработке норма $N_{40}P_{40}K_{40}$ способствовала получению прибавки урожайности 5,0 ц/га, или 26,2 %, а норма удобрений $N_{80}P_{80}K_{80}$ обеспечивала соответствующую прибавку 7,8 ц/га, или 40,8 %, по сравнению с вариантом без удобрений. На участках с поверхностной основной обработкой эффект от применения удобрений был существенно ниже, а аналогичные прибавки составили 2,3 и 3,1 ц/га, не превысив соответственно 17,7 и 23,9 %.

Разные уровни применения удобрений нашли отражение в показателях эффективности их использования (таблица 3).

Таблица 3 – Анализ эффективности применения удобрений под яровую тритикале

Способ основной обработки	Урожайность, ц/га	Прибавка от удобрений, ц/га	Окупаемость 1 кг удобрений прибавкой урожая, кг
Средний фон $N_{40}P_{40}K_{40}$			
Отвальная	24,1	5,0	4,17
Чизельная	23,1	4,6	3,83
Поверхностная	15,3	2,3	1,92
Высокий фон $N_{80}P_{80}K_{80}$			
Отвальная	26,9	7,8	3,25
Чизельная	25,9	7,4	3,08
Поверхностная	16,1	3,1	1,29

Средний фон минерального питания обеспечивал самую высокую окупаемость удобрений прибавкой урожая при разных способах основной обработки почвы. Лучший показатель в абсолютном значении получен в варианте отвальной обработки (4,17 кг дополнительной продукции на 1 кг внесенных удобрений). В варианте чизельной обработки аналогичный показатель составил 3,83 кг/кг, поверхностной – 1,92 кг/кг.

В условиях высокого фона минерального питания эффективность использования удобрений оказалась ниже, чем на среднем, независимо от способа основной обработки. На участках с отвальной вспашкой отдача от применения удобрений не превысила 3,25 кг/кг, чизельной и поверхностной обработок – соответственно 3,08 и 1,29 кг/кг.

Выводы. Наибольшая урожайность яровой тритикале нового сорта Саур в абсолютном значении получена в условиях отвального способа основной обработки почвы и высокого фона минерального питания ($N_{80}P_{80}K_{80}$) (26,9 ц/га). В варианте чизельной обработки данный показатель был ниже на 1,0 ц/га, а разница по сравнению с контролем не превысила 3,7 %.

Самая высокая окупаемость применения удобрений прибавкой урожая отмечена на среднем фоне минерального питания ($N_{40}P_{40}K_{40}$) при всех изучаемых способах основной обработки почвы. В абсолютном значении наибольший показатель (4,17 кг/кг) получен в условиях отвальной обработки.

Наряду с вариантом отвального способа основной обработки и высокого фона удобрений ($N_{80}P_{80}K_{80}$), возможно применение менее энергозатратной чизельной обработки и среднего фона минерального питания, позволяющих уменьшить энергетические затраты и более эффективно использовать удобрения.

Список использованных источников

1 Бирюков, К. Н. Некоторые аспекты технологии возделывания ярового тритикале на севере Ростовской области / К. Н. Бирюков, А. И. Грабовец, А. В. Крохмаль // Тритикале. Агротехника, технологии использования зерна и кормов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Тритикале и стабилизация производства зерна, кормов и продуктов их переработки». – Ростов н/Д., 2016. – С. 6–12.

2 Гринько, А. В. Влияние фона минерального питания на урожайность ярового тритикале при разных способах основной обработки почвы / А. В. Гринько, В. А. Кулыгин // Бюллетень науки и практики [Электронный ресурс]. – 2017. – № 12. – С. 130–135. – Режим доступа: http:bullettennauki.cjm/grinko-kulygin.

3 Урожайность тритикале озимой и яровой в хозяйствах всех категорий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:agrovesti.net/lib/industries/cereals/urozhajnost-tritikale-ozimoj-i-yarovoj-v-khozyajstvakh-vsekh-kategorij.html, 2017.

4 Гринько, А. В. Влияние норм высева семян при различных способах основной обработки почвы на урожайность яровой тритикале / А. В. Гринько, В. А. Кулыгин // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 2. – С. 106–110.

5 Гринько, А. В. Влияние фона минерального питания на урожайность яровой тритикале при разных нормах высева семян / А. В. Гринько, В. А. Кулыгин // Научные инновации – аграрному производству: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летнему юбилею Омского ГАУ, 21 февр. 2018 г. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Омск: Омский ГАУ. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – С. 115–119.

6 Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013–2020 годы / С. С. Авдеенко, А. Н. Бабичев, Г. Т. Балакай, Л. А. Воеводина, А. В. Гринько, Л. М. Докучаева, Н. А. Иванова, И. Н. Ильинская, Н. П. Кривко, Ю. Г. Кузнецов, В. А. Кулыгин, А. В. Лабынцев, В. В. Огнев, С. В. Пасько, С. А. Селицкий, Г. А. Сенчуков, О. А. Целуйко, В. В. Чулков; М-во сел. хоз-ва и продовольствия Рост. обл. – Ростов н/Д., 2013. – 375 с.

7 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.

8 Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

УДК 631.8:633.358

Э. А. Гаевая
Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Рассвет, Российская Федерация

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ГОРОХА НА СКЛОНАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Целью исследований являлось изучение урожайности гороха, прибавки урожая и окупаемости удобрений прибавкой урожая в зависимости от погодных условий. Исследования проведены в многофакторном стационарном опыте на склоне балки Большой Лог в Аксайском районе Ростовской области в 1990–2017 гг. Опыт был заложен в 1986 г. в системе контурно-ландшафтной организации территории склона крутизной до 3,5–4,0°. На основе анализа многолетних данных в статье приводится урожайность гороха, прибавки урожая в зависимости от дозы внесения удобрений и обработки почвы. Рассчитана окупаемость удобрений в зависимости от показателя гидротермического коэффициента. Проведенный анализ урожайности гороха показал, что возделывание его без применения удобрений позволяет получить до 2 т/га. При избыточном увлажнении и без внесения удобрений можно получить свыше 2 т/га зерна. В неблагоприятных условиях, возникших в результате недостатка влаги, удобрения снижают их негативное влияние и проявляют высокую эффективность за счет использования растениями более доступных питательных веществ удобрений, позволяя получать стабильные урожаи зерна гороха. Отмечено, что эффективность удобрений в различные по влагообеспеченности годы различна. Наибольшая эффективность удобрений отмечена во влажные годы при внесении 100 кг д. в./га севооборотной площади (9,4–9,7 кг зерна на 1 кг внесенных минеральных удобрений). При недостатке влаги в почве окупаемость удобрений низкая и находится в пределах 0,2–4,9 кг з. е. Повышение доз внесения удобрений позволяет увеличить валовой сбор зерна, но за счет роста материальных вложений.

Ключевые слова: горох, урожайность, гидротермический коэффициент, прибавка урожая, окупаемость удобрений урожаем.

****

E. A. Gaevaya
Federal Rostov Agricultural Research Center, Rassvet, Russian Federation

EFFICIENCY OF FERTILIZERS IN PEAS CULTIVATION ON THE SLOPES OF ROSTOV REGION

The aim of the research was to study the yield of peas, the yield gain and the fertilizers return by yield gain depending on weather conditions. The studies were carried out in a multifactorial stationary experiment on the slope of the Bolshoi Log clough in Aksai district Rostov region in 1990–2017. Experiment was set up in 1986 in the system of contour-landscape formation of the slope up to 3.5–4.0°. The yield of peas, the yield gain depending on the rate of fertilizer application and soil tillage on the basis of analysis of long-term data is shown. The fertilizers return depending on the index of hydrothermic coefficient is calculated. The analysis of the peas yield showed that cultivation without fertilizer application makes it possible to obtain up to 2 tons per ha. With the overmoistening and without the application of fertilizers it is possible to obtain more than 2 tons of grain per hectare. Under unfavorable conditions resulting from a lack of moisture fertilizers reduce their negative impact and show high efficiency due to the use more accessible nutrients fertilizers by plants allowing to obtain stable yields of pea grain. It is noted that the efficiency of fertilization in different years in terms of water availability is different. The greatest efficiency of fertilizers was noted in wet years *with application of 100 kg of fertilizer application rate per ha on rotation area (9.4–9.7 kg of grain per 1 kg of applied mineral fertilizers). With a lack of moisture in soil, the return of fertilizers is low in the range of 0.2–4.9 kg grain unit. Increasing the rate of fertilizer application makes it possible to increase the gross grain harvest but at the expense of the growth of material investments.*

Key words: pea, yield, hydrothermal coefficient, yield gain, return of fertilizers by yield.

Введение. Горох – основная зернобобовая культура в нашей стране, он имеет высокие пищевые и кормовые достоинства и большую приспособляемость к различным почвенно-климатическим условиям. Включение в севооборот гороха позволяет приостановить истощение почвенного плодородия и обеспечить не только простое, но и расширенное воспроизводство органического вещества почвы [1, 2].

Для повышения эффективности зернобобовых агрофитоценозов в биологизации земледелия важно расширение и углубление исследований, посвященных совокупному действию способов основной обработки почвы и систем удобрения на урожайность и качество зерна в конкретных региональных условиях. В последние годы в связи с изменением погодных условий возделывание современных сортов гороха вызывает у сельхозпроизводителей определенный интерес [3, 4].

Большинство современных сортов гороха имеют достаточно высокий потенциал продуктивности, реализация которого сдерживается из-за их низкой гомеостатичности и чувствительности к неблагоприятным факторам среды. По данным П. М. Черыгина, за продолжительный период наблюдений (с 1946 по 1999 г.) в конкурсном сортоиспытании Института растениеводства им. В. Я. Юрьева УААН в условиях Восточной Лесостепи Украины только 8 из 53 лет были вполне благоприятны. В эти годы урожайность гороха превысила 4 т/га. В то же время почти в каждый второй год урожайность его составляла менее 2 т/га [5].

Современные зерновые сорта гороха в сильную засуху и при избыточном увлажнении поражаются корневыми гнилями и различными вредителями и формируют массу семян на 55–72 % меньше по сравнению с благоприятными условиями. Продуктивность агрофитоценозов зависит от многих факторов, среди которых климатические и погодные условия играют существенную роль [6].

В большинстве сельскохозяйственных регионов России на долю погодных условий приходится 40–50 % общей амплитуды колебаний урожайности культур, и лишь треть посевных площадей расположена в зоне гарантированных урожаев. Агрометеорологические условия вегетации сельскохозяйственных культур оказывают различное влияние на продуктивность гороха. Все это обусловливает высокую пространственно-временную вариабельность урожайности зерновых культур, выращиваемых по однотипным технологиям на разных почвах. В районах недостаточного и неустойчивого увлажнения гидротермические условия являются главными природными факторами, определяющими уровень урожайности сельскохозяйственных культур. В частности, сумма осадков, а также величина гидротермического коэффициента оказывает существенное влияние на урожайность гороха [7, 8].

Цель работы – провести анализ урожайности гороха на основе показателя гидротермического коэффициента и дать оценку урожайности, прибавки урожая и окупаемости удобрений прибавкой урожая в зависимости от погодных (климатических) условий.

Материалы и методы. Исследования проведены в многофакторном стационарном опыте на склоне балки Большой Лог в Аксайском районе Ростовской области в 1990–2017 гг. Опыт был заложен в 1986 г. в системе контурно-ландшафтной организации территории склона крутизной до 3,5–4,0°. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке, слабоэродированный.

Мощность $А_{пах}$ составляет 25–30 см, А + Б – от 40 до 90 см в зависимости от степени смытости [9].

Климат зоны проведения исследований засушливый, умеренно жаркий, континентальный. Среднемноголетнее количество осадков 492 мм при ГТК в пределах 0,8–0,9. Распределение их в агрономической оценке преимущественно малоблагоприятное (3,7 года из каждых 10). Сумма активных температур 3210–3400 °С [10].

В опыте изучали урожайность гороха в севообороте, посеянного по предшественнику яровой ячмень. Высевали новые сорта гороха донской селекции. Применяли три уровня органоминерального питания растений («0» – естественное плодородие; «1» – $N_{46}P_{24}K_{30}$ и «2» – $N_{84}P_{30}K_{48}$ кг д. в./га севооборотной площади), а также две системы основной обработки почвы (чизельную (Ч) и отвальную обработки (О)).

Опыт развернут в пространстве и во времени в трехкратной повторности. Делянки были размещены рендомизированно. Урожайность изучаемой культуры была определена методом прямого комбайнирования. Гидротермический коэффициент апреля, мая, июня рассчитывали по методике, предложенной Г. Т. Селяниновым [10]. Математическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову (2011) с использованием персонального компьютера [11].

Результаты и обсуждение. Один из основных показателей, характеризующих эффективность технологий возделываемых сельскохозяйственных культур, – урожайность и продуктивность. Урожайность гороха в 1990–2017 гг. в среднем за период исследования составила 1,61–2,34 т/га ($F_{факт.} > F_{05}$) при различных уровнях применения удобрений. Отмечено, что использование удобрений в средних дозах увеличивало урожайность гороха на 21,2–21,8 %, в повышенных – на 28,4–28,7 % по сравнению с естественным плодородием (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность гороха в зависимости от влагообеспеченности года, уровня применения удобрений и обработки почвы, среднее за 1990–2017 гг.

В т/га

Обработка почвы	Уровень питания	ГТК					
		средняя	сухие, < 0,4	очень засушливые, 0,6–0,4	засушливые, 0,9–0,7	недостаточно засушливые, 1,2–1,0	влажные, 1,3–1,6
Чизельная	0	1,61	0,56	1,63	1,30	2,26	2,75
	1	2,06	0,58	2,02	1,70	2,73	3,69
	2	2,26	0,76	2,21	1,86	2,96	4,08
Отвальная	0	1,67	0,57	1,69	1,30	2,45	2,79
	1	2,12	0,59	2,04	1,70	2,93	3,76
	2	2,34	0,79	2,25	1,91	3,22	4,18
$НСР_{05}$		0,13	0,19	0,23	0,26	0,29	0,38
Примечание – С 1990 по 2007 г. данные И. Н. Листопадова.							

Агрометеорологические условия вегетационного периода гороха характеризуются значительными колебаниями как влагообеспеченности, так и температурного режима. Для характеристики условий увлажнения и теплообеспеченности используют гидротермический коэффициент, предложенный Г. Т. Селяниновым [10]. Годы исследований по гидротермическому коэффициенту были разделены на группы: влажные (ГТК 1,6–1,3), недостаточно засушливые (ГТК 1,2–1,0), засушливые (ГТК 0,9–0,7), очень засушливые (ГТК 0,6–0,4) и сухие (ГТК менее 0,4). Таким образом, по гидротермическому коэффициенту из 27 лет исследований были влажными и недостаточно засушливыми 15 %, засушливыми и очень засушливыми 33 %, сухими 4 %. Различные гидротермические условия вегетационного периода гороха отразились на формировании урожая.

Урожайность гороха в сухие годы колебалась в пределах 0,56–0,79 т/га, а прибавка урожая составляла 0,02 т/га, или 3,4 %, на уровне применения удобрений «1». Увеличение дозы удобрений в полтора раза привело к повышению урожая на 26,3–27,8 %. В очень засушливые годы прибавка урожая составляла 0,36–0,39 т/га на уровне применения удобрений «1», или 17,5–19,3 %, и на уровне применения удобрений «2» 0,57–0,58 т/га, или 25,1–26,3 %. В засушливые годы прибавка урожая составляла 0,39–0,41 т/га на уровне применения удобрений «1», или 23,2–23,9 %, и на уровне применения удобрений «2» 0,56–0,62 т/га, или 30,0–32,3 %. В очень засушливые годы прибавка урожая составляла 0,47–0,48 т/га на уровне применения удобрений «1», или 16,3–17,2 %, и на уровне применения удобрений «2» 0,70–0,77 т/га, или 23,7–23,9 %. Если сравнивать засушливые и недостаточно засушливые годы, то отмечается тенденция к повышению урожая в полтора-два раза с увеличением степени увлажнения года. Однако прибавка урожая в процентном соотношении в недостаточно засушливые годы несколько ниже, чем в засушливые. И объяснить это можно тем, что урожайность гороха в недостаточно засушливые годы на естественном уровне применения удобрений достаточно высока и составляет 2,36–2,45 т/га (таблица 2).

Таблица 2 – Прибавка урожайности гороха в зависимости от влагообеспеченности года, уровня применения удобрений и обработки почвы, среднее за 1990–2017 гг.

В т/га

Обработка почвы	Уровень питания	ГТК					
		средняя	сухие, < 0,4	очень засушливые, 0,6–0,4	засушливые, 0,9–0,7	недостаточно засушливые, 1,2–1,0	влажные, 1,3–1,6
Чизельная	1	0,45	0,02	0,39	0,39	0,47	0,94
	2	0,64	0,20	0,58	0,56	0,70	1,33
Отвальная	1	0,45	0,02	0,36	0,41	0,48	0,97
	2	0,67	0,22	0,57	0,62	0,77	1,39

Наибольшая урожайность гороха отмечалась во влажные годы (2,75–4,18 т/га), а прибавка урожая составляла 0,94–0,97 т/га, или 25,5–25,8 %, на уровне применения удобрений «1» и 1,33–1,39 т/га, или 32,6–33,3 %, на уровне применения удобрений «2».

Горох в благоприятных условиях, используя естественное плодородие чернозема обыкновенного, способен формировать вполне удовлетворительную урожайность и без внесения удобрений, которая составляет около 2 т/га. Но в неблагоприятных условиях, возникших в результате недостатка влаги и элементов питания, удобрения снижают негативное влияние и проявляют высокую эффективность за счет использования растениями более доступных питательных веществ.

В зависимости от обработки почвы в большинстве лет наблюдений по отвальной обработке было отмечено увеличение урожайности и прибавки урожая гороха. Особенно эта разница была заметна в недостаточно засушливые годы исследований. Прибавка урожая в эти годы по отвальной обработке увеличивалась на 6,8–8,1 % в сравнении с чизельной. С увеличением засушливости климата нивелировалось влияние обработки почвы, разница между обработками была в пределах ошибки опыта и составляла 1–3 %.

Эффективность использования удобрений под культуру определяется отношением прибавки урожая к дозе внесенных удобрений в действующем веществе на гектар севооборотной площади. По материалам ЦИНАО [12], прибавка урожая считается окупившей удобрения при показателе не менее 7–8 кг з. е. продукции на 1 кг д. в. внесенных удобрений.

Расчетные данные показали, что максимальная эффективность использования минеральных удобрений была отмечена во влажные годы при ГТК 1,3–1,6 и составляла от 6,7 до 10,5 кг з. е. В сухие годы (ГТК < 0,4) прибавки урожая гороха на 1 кг д. в. внесенных удобрений были незначительными как на среднем (100 кг д. в.), так и на повышенном уровне (160 кг д. в.) применения удобрений и не окупали затраты на удобрения (таблица 3).

Таблица 3 – Окупаемость удобрений урожаем гороха в зависимости от влагообеспеченности года, уровня применения удобрений и обработки почвы, среднее за 1990–2017 гг.

В кг з. е.

Обработка почвы	Уровень питания	ГТК					
		средняя	сухие, < 0,4	очень засушливые, 0,6–0,4	засушливые, 0,9–0,7	недостаточно засушливые, 1,2–1,0	влажные, 1,3–1,6
Чизельная	1	5,4	0,2	4,7	4,7	5,6	11,3
	2	4,8	1,5	4,4	4,2	5,3	10,0
Отвальная	1	5,4	0,2	4,3	4,9	5,7	11,6
	2	5,0	1,7	4,2	4,6	5,8	10,4

В годы, охарактеризованные как очень засушливые и засушливые, окупаемость во всех вариантах опыта колебалась в пределах 3,5–4,1 кг зерна на 1 кг. В недостаточно засушливые годы окупаемость удобрений урожаем была несколько выше, чем средняя окупаемость за годы исследований, и превышала ее на 5,8–12,7 кг зерна гороха на 1 кг удобрений.

Окупаемость удобрений прибавкой урожая во влажные годы была более чем в два раза выше среднемноголетней окупаемости в опыте. Во влажные годы при внесении удобрений из расчета 100 кг д. в./га севооборотной площади отмечалась наибольшая окупаемость минеральных удобрений урожаем, которая составляла 9,4–9,7 кг зерна на 1 кг внесенных минеральных удобрений. Внесение удобрений в повышенных дозах позволяло увеличить вал продукции, а окупаемость 1 кг удобрений повышалась, но в сравнении со средними дозами внесения была меньше (8,2–8,6 кг зерна).

Таким образом, проведенный анализ данных об урожайности гороха показал, что возделывание его без применения удобрений позволяет получить до 2 т/га. При избыточном увлажнении и без внесения удобрений можно получить свыше 2 т/га зерна. В неблагоприятных условиях, возникших в результате недостатка влаги, удобрения снижают негативное влияние и проявляют высокую эффективность за счет использования растениями более доступных питательных веществ удобрений, позволяя получать стабильные урожаи зерна гороха. Наибольшая эффективность удобрений отмечена во влажные годы при внесении 100 кг д. в./га севооборотной площади (9,4–9,7 кг зерна на 1 кг внесенных минеральных удобрений). Увеличение доз внесения удобрений позволяет повысить валовой сбор зерна, но за счет роста материальных вложений.

Список использованных источников

1 Прядильщикова, Е. Н. Продуктивность гороха полевого усатого морфотипа в чистых и смешанных посевах при применении удобрений / Е. Н. Прядильщикова, И. Л. Безгодова, Н. Ю. Коновалова // Молочнохозяйственный вестник. – 2013. – № 4(12). – С. 34–39.

2 Морозов, В. И. Бобовые фитоценозы и оптимизация плодородия почвы / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин // Земледелие. – 2008. – № 1. – С. 16–17.

3 Воскобойников, А. В. Продуктивность зимующего гороха в зависимости от минеральных удобрений на черноземе выщелоченном / А. В. Воскобойников // Агрохимический вестник. – 2012. – № 2. – С. 32–33.

4 Бугайов, В. Д. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов го-

роха посевного в условиях правобережной Лесостепи Украины / В. Д. Бугайов, Н. И. Кондратенко, М. В. Демидюк // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2013. – № 2(6). – С. 100–107.

5 Чекрыгин, П. М. Направления и методы селекции гороха в условиях восточной лесостепи Украины // Материалы конф., посвящ. возрождению Шатиловской с.-х. опыт. станции, г. Орел, 12–14 июня 2000 г. – М.: ЭкоНива, 2001. – С. 166–169.

6 Сапега, В. А. Связь урожайности зерновых культур с показателем гидротермического коэффициента в условиях Тюменской области / В. А. Сапега, Г. Ш. Турсумбекова, С. В. Сапега // Агро XXI. – 2010. – № 11–12. – С. 17–19.

7 Тихонов, В. Е. Роль климата в формировании тренда урожайности зерновых культур в лесостепи Оренбургского Предуралья / В. Е. Тихонов, В. В. Федосеев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 4. – С. 9–13.

8 Гаевая, Э. А. Особенности возделывания гороха на эрозионноопасных склонах Ростовской области / Э. А. Гаевая // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – № 3(15). – С. 15–21.

9 Гаевая, Э. А. Водопроницаемость почв эрозионно опасных земель Приазовской зоны Ростовской области / Э. А. Гаевая, С. А. Тарадин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4(48). – С. 19–23.

10 Селянинов, Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата / Г. Т. Селянинов // Мировой агроклиматический справочник. – Л. – М., 1977. – 220 с.

11 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник / Б. А. Доспехов. – 6-е изд., стер. – М.: Альянс, 2011. – 352 с.

12 Музыкантов, П. Д. Эффективность отдельных видов минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры для почв Российской Федерации: нормативы / П. Д. Музыкантов, Н. А. Панкова. – М.: Росинформагротех, 2003. – 388 с.

ЭКОНОМИКА МЕЛИОРАЦИИ

УДК 626.82.004:338.5

С. А. Манжина
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАТЫ ЗА ПОДАЧУ ВОДЫ ВОДОПОТРЕБИТЕЛЯМ

Целью исследования являются методические разработки порядка определения платы за поставку воды к внутрихозяйственным оросительным системам. Применяемые в настоящее время правила формирования платы, которую взимают ФГБУ по мелиорации с водопотребителей за оказание услуг по подаче воды, не устанавливают нормы отчисления на амортизацию и реновацию межхозяйственных оросительных систем. В статье предложены варианты подходов к расчету норм отчисления на реновацию и модернизацию межхозяйственных оросительных систем.

Ключевые слова: услуга по подаче воды, внутрихозяйственные оросительные системы, практика исчисления платежей, одноставочный вариант расчета платы, отчисления на реновацию и модернизацию.

****

S. A. Manzhina
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

TO THE ISSUE OF DEVELOPING THE METHODOLOGY FOR DETERMINING THE CHARGE FOR WATER SUPPLY TO WATER CONSUMERS

The aim of the research is the methodological development or determining the charge for water supply to on-farm irrigation systems. The currently applicable rules for the formation of fees charged by the FGBU for land reclamation from water consumers for water supply services do not set the norms for allowances on depreciation and renovation of inter-farm irrigation systems. A variety of approaches to the calculation of charges for allowances for renovation and modernization of inter-farm irrigation systems are proposed.

Keywords: water supply service, on-farm irrigation systems, practice for calculating payments, flat-rate payment calculation, allowances for renovation and modernization.

Введение. Актуальность развития платного водопотребления в орошении определена во всем мире. В нашей стране в качестве водоподающей организации в орошаемом земледелии выступают ФГБУ по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению (далее – ФГБУ по мелиорации). В соответствии с ФЗ № 4 «О мелиорации земель», ФЗ № 7 «О некоммерческих организациях», приказами Минсельхоза России № 300 от 31.08.2010 и № 79 от 18.02.2013, ФГБУ по мелиорации вправе сверх установленного государственного задания, а также в случаях, определенных федеральными законами, в пределах установленного государственного задания выполнять работы, оказывать услуги, относящиеся к его основным видам деятельности, предусмотренным его учредительным документом, за плату, покрывающую издержки учреждения на оказание услуг (выполнение работ) [1–4]. Применяемые в настоящее время методы расчета платы, предъявляемой ФГБУ по мелиорации водопользователям, не включают в себя отчислений на реновацию и модернизацию имеющихся на балансе бюджетного учреждения оросительных систем, что препятствует своевременному обновлению основных фондов и внедрению современных технологий водосбережения и водоучета.

Материалы и методы исследования. В рамках работы по этому направлению были проанализированы данные статистических отчетов Росстата и Минсельхоза России, данные ФГБУ по мелиорации Республики Дагестан, Адыгеи, Краснодарского края, Ростовской, Волгоградской, Астраханской областей, труды отечественных и зарубежных ученых [5–10]. В работе использовался метод сравнения и математических расчетов.

Результаты и обсуждения. В российской практике исчисление платежей за поставку воды на орошение в основном ведется по одноставочному варианту расчета: погектарному или объемному. По существу, такой вариант исчисления платы прост в применении и выглядит более прозрачным для водопотребителей. Одноставочный вариант расчета платы включает все затраты, которые несет ФГБУ по мелиорации в процессе оказания услуги по подаче воды. Плата для водопотребителей формируется с учетом средств федерального бюджета, выделенных на эту услугу. Расчеты, как правило, ведутся сметным методом с учетом инфляции на начало расчетного года, что, по полученным из ФГБУ по мелиорации данным, не отражает полной стоимости услуг в период их оказания, так как не ведется учет изменения уровня инфляции на период с начала расчетного года до поливного сезона. Наилучшим вариантом будет являться учет и корректировка себестоимости на полную величину инфляции вплоть до наступления поливного сезона:

$$З_{\text{усл.}} = \left(\sum_{i=1}^{n} З_{\text{П}i} + \sum_{j=1}^{m} З_{\text{ОХ}j} + \sum_{k=1}^{n} З_{\text{НР}k}\right) \cdot \text{К}_{\text{д.}} \cdot \text{К}_{\text{И}} \cdot \left(1 + \omega_{\text{НДС}}/100\right) - \text{С}_{\text{ФБ}},$$

где $З_{\text{усл.}}$ – общие затраты на оказание услуги по подаче воды ФГБУ по мелиорации, руб.;

n – количество показателей, входящих в состав прямых затрат, непосредственно связанных с оказанием услуги по подаче воды, шт.;

$З_{\text{П}i}$ – затрата по i-му компоненту, показателю, непосредственно связанному с обеспечением оказания услуги по подаче воды к рисовым оросительным системам региональным ФГБУ по мелиорации, руб.;

m – количество показателей, оцениваемых при определении затрат на общехозяйственные нужды ФГБУ по мелиорации, шт.;

$З_{\text{ОХ}j}$ – затраты по j-му компоненту, показателю общехозяйственных нужд ФГБУ по мелиорации, руб.;

$З_{\text{НР}k}$ – затраты по k-му компоненту, показателю, входящему в состав накладных расходов ФГБУ по мелиорации, руб. (в случае распределения и учета накладных расходов между прямыми затратами и общехозяйственными они могут быть при исчислении учтены в составе соответствующих групп без выделения в отдельную);

k – количество показателей в составе накладных расходов, сопровождающих оказание услуг по подаче воды, шт.;

$\text{К}_{\text{д.}}$ – коэффициент-дефлятор, учитывающий уровень инфляции на начало расчетного года;

$\text{К}_{\text{И}}$ – коэффициент, учитывающий уровень инфляции с начала расчетного года до поливного сезона;

$\omega_{\text{НДС}}$ – отчисления налога на добавленную стоимость в размере, %;

$\text{С}_{\text{ФБ}}$ – средства из федерального бюджета РФ, руб.

В составе платы, которую получают ФГБУ по мелиорации за оказание своих услуг по подаче воды на оросительные системы водопотребителей, должно быть достаточное количество денежных средств для использования не только на текущий ремонт и содержание оросительных систем, но и на реновацию и модернизацию основных фондов, находящихся на их балансе. То есть определение стоимости воды должно осуществляться исходя из принципа «издержки плюс» [8]. В ряде работ предлагается включать в состав платы для водопотребителей прибыль ФГБУ [5–8]. Однако наличие прибыли в составе платы за поставку воды повлечет дополнительное налоговое бремя в виде «налога на прибыль», которое в конечном итоге будет ущемлять интересы водопотребителей. При этом сама величина прибыли, которую могут получать ФГБУ за подачу воды на внутрихозяйственные оросительные системы, должна каким-то образом соотноситься с прибылью сельскохозяйственного производства, которая обеспечивается за счет орошения. Однако на практике выделить такую величину достаточно сложно, так как аграрное производство зависимо от множества факторов и их сочетания. Поэтому в целях накопления денежных средств на реновацию и модернизацию оросительных систем ФГБУ по мелиорации в расчет платы за поставку воды включают так называемые «плановые отчисления», величина которых, как, собственно, и наличие, не закреплена в нормативных документах.

В процессе анализа различных вариантов обеспечения принципа «издержки плюс» был сделан вывод о том, что обеспечение отчислений на модернизацию и реновацию оросительных систем может производиться в виде «плановых накоплений», величина которых должна быть дифференцирована в зависимости от величины финансового участия водопотребителя в ресурсосберегающих мероприятиях. Так, величина платы за подачу воды, приведенная к единице измерения (га или м^3), будет иметь вид:

$$T_N = \frac{З_{\text{усл}} + P_{\text{M}t}}{N},$$

где T_N – удельная плата за подачу воды на внутрихозяйственные оросительные системы, руб./га(м^3);

$З_{\text{усл}}$ – затраты, включаемые в состав платы за оказание услуг по подаче воды к внутрихозяйственным оросительным системам, руб.;

$P_{\text{M}t}$ – отчисления на реновацию и модернизацию – плановые отчисления в t-м году, %;

N – количество ресурса, заявленного водопотребителем для обеспечения орошения, га (м^3).

«Плановые отчисления» в данном случае можно привязать к рентабельности орошаемого растениеводства и к величине финансовых затрат юридических лиц, понесенных в году, предшествующем расчетному, на реновацию и модернизацию внутрихозяйственных оросительных систем:

$$P_{Mt} = \frac{\text{С}_{t-1}}{\text{С}_t + \text{К}_{\text{ОС}} + \text{К}_{\text{ВС}}} \cdot \frac{\text{К}_{\text{Р}t-1} \cdot \text{С}_{t-1}}{100\ \%} = \frac{\text{К}_{\text{Р}t-1} \cdot \text{С}_{t-1}{}^2}{\left(\text{С}_t + \text{К}_{\text{ОС}} + \text{К}_{\text{ВС}}\right) \cdot 100\ \%},$$

где С_{t-1} – себестоимость услуги по подаче воды к внутрихозяйственным оросительным системам в году, предшествующем расчетному, руб.;

С_t – себестоимость услуги, полученная при расчете в расчетном году, руб.;

$\text{К}_{\text{ОС}}$ – капитальные затраты юридических лиц, занятых в сельскохозяйственном производстве, на модернизацию, капитальный ремонт, новое строительство оросительных систем в году, предшествующем расчетному, руб.;

$\text{К}_{\text{ВС}}$ – капитальные затраты юридических лиц, занятых в сельскохозяйственном производстве, на водосберегающие технологии, руб.;

$\text{К}_{\text{Р}t-1}$ – коэффициент, учитывающий рентабельность сельскохозяйственного производства на орошаемых землях в году, предшествующем расчетному, %.

В другом варианте определения величины отчислений на реновацию и модернизацию можно исходить из доли участия орошения в формировании дополнительного урожая, а соответственно и дополнительной прибыли, у водопотребителя:

$$P_{\text{М}t} = d \cdot \text{Ц}_{t-1} \cdot \text{У}_{t-1},$$

где d – доля участия орошения в формировании урожая. Если основываться на мировом опыте платного водопользования в мелиоративных целях, ее величина может быть установлена в пределах 10 % (несмотря на то, что в условиях России доля участия орошения в формировании урожая риса выше, предложена величина с учетом интересов водопотребителей относительно экономически обоснованной рентабельности данного производства);

Ц_{t-1} – средняя цена на реализуемую хозяйством продукцию, полученную с участием орошения, в данном регионе в году, предшествующем расчетному, руб.;

У_{t-1} – количество реализуемого вида продукции хозяйства, полученной с участием орошения, в году, предшествующем расчетному, кг.

Еще одним вариантом может являться привязка этих отчислений к балансовой стоимости активов основных фондов ($\text{А}_{\text{оф}}$) через нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, устанавливаемый Госстроем России по отраслям. Тогда формула примет вид:

$$P_{\text{М}t} = 0{,}1 \cdot E_{\text{н}} \cdot \text{А}_{\text{оф}},$$

где $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, для сельского хозяйства равен 0,15;

$\text{А}_{\text{оф}}$ – общая балансовая стоимость активов, находящихся в оперативном управлении ФГБУ по мелиорации, руб.

Для определения наиболее удобного для применения на практике варианта расчета отчислений на модернизацию и реновацию – плановых отчислений – требуется проведение дополнительных исследований.

Выводы. В современной практике платного водопотребления в целях орошения на территории Российской Федерации отсутствуют методы стимулирования водопотребителей к внедрению водосберегающих мероприятий. В то же время водоподающие организации, ФГБУ по мелиорации, не имеют нормативно закрепленного основания для взимания денежных средств на модернизацию и реновацию существующих межхозяйственных оросительных систем. Предложены варианты определения норм отчисления на реновацию и модернизацию межхозяйственных оросительных систем для включения в состав платы за оказание услуг по подаче воды ФГБУ по мелиорации, которые требуют для своего дальнейшего исследования практической апробации.

Список использованных источников

1 О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ (с изменениями и дополнениями) // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

2 О некоммерческих организациях: Федеральный закон от 12 января 1996 г. № 7-ФЗ: по состоянию на 31 мая 2018 г. // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

3 Порядок определения платы за оказание федеральным государственным бюджетным учреждением в области мелиорации, находящимся в ведении Минсельхоза России, гражданам и юридическим лицам услуг (выполнение работ), относящихся к основным видам деятельности федерального государственного бюджетного учреждения: утв. Приказом Минсельхоза России от 18 февраля 2013 г. № 79 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

4 Порядок определения платы за оказание федеральным бюджетным учреждением, находящимся в ведении Минсельхоза России, гражданам и юридическим лицам услуг (выполнение работ), относящихся к основным видам деятельности федерального бюджетного учреждения: утв. Приказом Минсельхоза России от 31 августа 2010 г. № 300 // Гарант Эксперт 2018 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2018.

5 Ханмагомедов, С. А. Методика расчета затрат на оказание услуг по подаче воды для орошения и сельскохозяйственного водоснабжения / С. А. Ханмагомедов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: Геликон, 2008. – Вып. 39, ч. 1. – С. 56–62.

6 Манжина, С. А. Современные подходы к определению экономически обоснованной стоимости подачи воды на орошение / С. А. Манжина, Л. Н. Медведева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 3(31). – С. 148–170. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=566. – DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-148-170.

7 Акопян, А. В. Экономический инструментарий реализации услуг по подаче воды для орошения в зоне действия крупных мелиоративных систем / А. В. Акопян, Н. И. Сафарова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2011. – № 3. – 12 с. – Режим доступа: http:rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec45-field6.pdf.

8 Быстрицкая, Н. С. Методические основы расчета платы за подачу воды сельскохозяйственным предприятиям в зоне неустойчивого увлажнения / Н. С. Быстрицкая, Е. В. Овчинникова, И. В. Куприянов // Экономика природообустройства и управление природными ресурсами. – 2013. – № 2. – С. 110–114.

9 Отечественный и зарубежный опыт ведения платного водопользования в сельском хозяйстве: науч. обзор / С. М. Васильев [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – 27 с.

10 Кожоев, Э. Меры и рекомендации по улучшению собираемости платы за ирригационные услуги [Электронный ресурс] / Э. Кожоев; Департамент вод. хоз-ва М-ва сел. и вод. хоз-ва и перераб. пром-сти Кыргыз. Респ. – Бишкек, 2009. – Режим доступа: http:iwrm.icwc-aral.uz/pdf/brochures/kojoyev_rus.pdf, 2018.

НАУКА – ПРАКТИКЕ

УДК 626.823.6:004.9

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ АДАПТИРОВАНИЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ МИКРОВЕРТУШКИ

В статье описан способ адаптирования гидрометрической микровертушки для подключения к персональному компьютеру с целью отображения и регистрации показаний при проведении лабораторных исследований. Вертушка с особо малым диаметром лопастного винта была адаптирована с помощью электронной схемы, для отображения и регистрации показаний была создана специальная программа.

Ключевые слова: гидрометрическая вертушка, водоизмерение, скорость потока, расход воды, моделирование.

****

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

COMPUTER ADAPTATION OF HYDROMETRIC MINICURRENTMETER

The method of hydrometric microcurrentmeter adaptation to connecting to a personal computer in order to display and record the readings during laboratory investigations is described. The currentmeter with an especially small diameter of the blade propeller was adapted by the electronic circuit and a special program for displaying and recording the readings was created.

Key words: hydrometric current meter, water measuring, flow rate, water discharge, simulation.

Введение. Гидрометрические вертушки являются основным прибором для измерения скоростей течения жидкости, широко применяются как в лабораторных, так и в натурных исследованиях. При физическом лабораторном моделировании возникает необходимость измерения скоростей воды в сечении водного потока. В связи с тем, что поток воды в лабораторных условиях имеет небольшое сечение, возникает необходимость производить измерение скорости вертушкой, имеющей как можно меньший диаметр лопастного винта, при этом имитируют точечный замер. Тем самым достигается более точная картина распределения скоростей, а также минимизируется воздействие вертушки на исследуемый поток. Данное обстоятельство особенно важно при измерении скоростей вблизи дна или стенок. Из производимых в настоящее время микровертушек наименьший диаметр лопастного винта имеет прибор ГМЦМ-1, диаметр составляет 15 или 30 мм [1–3], такая вертушка оказывает существенное влияние на измеряемый поток при небольших размерах модели.

Материалы и методы. Применяемая в данной работе микровертушка имеет лопастной винт диаметром 8,5 мм (рисунок 1). Данный прибор был создан в 1980-х гг. в опытном конструкторском бюро, в его состав входил специально разработанный электронный блок, отображающий показания. К настоящему времени документация на данный прибор и электронный блок утеряны. В связи с этим возник вопрос о восстановлении работоспособности данной вертушки, а также усовершенствовании режима ее эксплуатации за счет отображения и регистрации измеряемых показаний с помощью персонального компьютера.

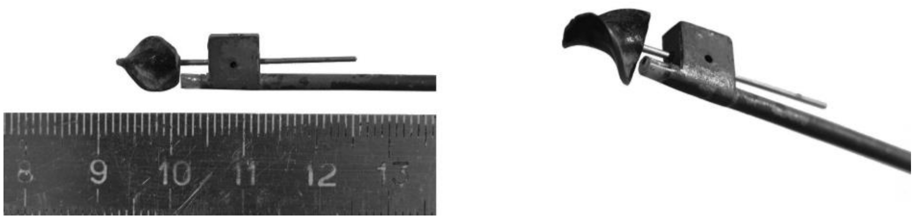


Рисунок 1 – Адаптируемая микровертушка, диаметр лопастного винта 8,5 мм (автор фото А. А. Талызов)

Данная вертушка имеет электролитический принцип действия. Его суть заключается в следующем. На основании вертушки закреплен электрод. Торец его имеет контакт с жидкостью, в которую помещена вертушка. При произвольном положении лопастного винта за счет электролитической проводимости жидкости между торцом контакта и стержнем-основанием протекает электрический ток. При вращении лопастного винта, выполненного из диэлектрического материала, в момент прохождения лопасти мимо торца электрода сопротивление цепи значительно возрастает за счет снижения сечения проводящего участка жидкости. Таким образом, за счет частичного прерывания цепи при каждом обороте лопастного винта электрическая схема фиксирует поступление двух импульсов.

Особенностью данного метода считывания показаний является отсутствие как механического, так и магнитного воздействия на лопастной винт, что обеспечивает его свободное вращение. В результате повышается чувствительность при малых скоростях потока, а также появляется возможность использования лопастного винта особо малого диаметра.

Результаты и обсуждение. Электрическое подключение микровертушки к регистрирующему компьютеру реализовано с помощью специально разработанной для этого схемы (рисунок 2).

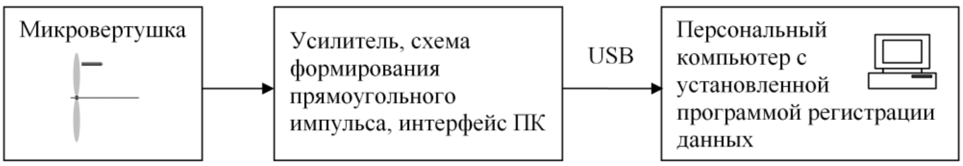


Рисунок 2 – Основные компоненты схемы подключения к регистрирующему компьютеру

Схема состоит из трех основных частей:

- питания микровертушки и формирования электрических импульсов;
- усилителя и схемы формирования прямоугольного импульса, реализованной на триггере Шмитта;
- USB-интерфейса для подключения к компьютеру, который реализован на микроконтроллере MX8732A, производимом компанией Sigma Micro [4].

Применяемый микроконтроллер является стандартным устройством ввода, поддерживаемым всеми версиями операционной системы Windows, также совместим с Linux и Android-устройствами.

Для отображения и регистрации показаний микровертушки была создана специальная программа (рисунок 3).

Программа работает в операционной системе Windows, не требовательна к аппаратной части компьютера. Программа выполняет подсчет импульсов, поступающих с USB-контроллера вертушки за определенные интервалы времени. Длительность интервала подсчета импульсов задается пользователем и выбирается исходя из поставленной задачи. В случае, когда необходима большая точность подсчета, могут применяться интервалы большой длительности (до 2 мин). Для случаев, когда скорость потока быстро изменяется (например, при исследовании неустановившихся процессов), интервал подсчета может быть сокращен до 0,5 с.

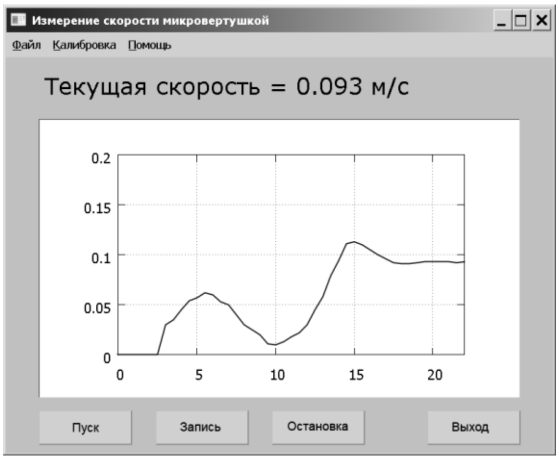


Рисунок 3 – Интерфейс программы для работы с вертушкой

На этапе тарировки вертушки определяется ее тарировочный график, представленный в виде текстового файла, который состоит из двух колонок. Первая колонка содержит информацию о регистрируемой частоте поступления импульсов (имп./с), вторая – о соответствующей ей скорости водного потока. Тарировка производится для всего интервала скоростей, на который рассчитана вертушка.

Программа имеет два режима работы: тарировка и измерение. При тарировке пользователь вручную вводит показания скорости, на основании которых формируется тарировочная кривая. В режиме измерения отображается текущая скорость водного потока, вычисляемая с использованием созданной ранее тарировочной кривой.

Выводы. Разработанная схема подключения микровертушки к персональному компьютеру показала свою работоспособность. Благодаря программе для отображения и регистрации показаний, микровертушка является полезным инструментом при проведении лабораторного моделирования на установках с небольшим сечением. На базе данной разработки планируется создание измерительного комплекса, который будет соответствовать современным требованиям, предъявляемым к средствам измерения параметров водного потока [5].

Список использованных источников

1 Клименко, Д. Е. Развитие гидрометрических вертушек в России и за рубежом / Д. Е. Клименко // Географический вестник. – 2010. – № 2(13). – С. 64–76.

2 Шепелев, А. Е. Анализ средств водоучета и водоизмерения с целью их применения на открытых оросительных системах / А. Е. Шепелев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 203–208.

3 Паспорт гидрометрической микровертушки ГМЦМ-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:hydrotecpribor.ru/pasport.pdf, 2018.

4 Официальный веб-сайт компании Sigma Micro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:sigmachip.com, 2018.

5 Вайнберг, М. В. Основные требования, предъявляемые к средствам измерения параметров водного потока с учетом новых условий водопользования / М. В. Вайнберг, А. А. Чураев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 249–253.