



WARMAP-2

Управление Водными Ресурсами и
Сельскохозяйственное Производство в
Странах Центральной Азии



ИК - МФСА

Исполнительный Комитет
Международного Фонда
Спасения Аральского моря

ВУФМАС

**Исследование Водопользования
и Управления в Сельском Хозяйстве**

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО**

**УЛУЧШЕНИЮ
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**НА
ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ПОЛЯХ
В
СЕЗОН 1999г.**

19 июля 1999

TACIS project number ENVKYR9601

РЕЗЮМЕ И ВЫВОДЫ

1. В апреле 1999 года на специально выбранных полях в девяти репрезентативных хозяйствах Центральной Азии рабочая группа программы ВУФМАС начала проведение работ с целью демонстрации тех мероприятий, с помощью которых можно повысить продуктивность оросительной воды непосредственно при поливе поля. На выбранных полях проводится мониторинг осуществляемых мероприятий и параллельно мониторинг проводится на сравнимых по условиям контрольных полях, но без какого либо вмешательства в процесс выращивания культуры со стороны полевых работников программы ВУФМАС. Можно утверждать, что устойчивое улучшение практики водопользования может быть достигнуто только в результате повышения урожаев сельхозкультур с одновременным снижением водопотребления; в существующих социально-экономических условиях все попытки повысить только лишь эффективность использования воды будут безуспешны.
2. Во время семинара, который проводился в конце марта, суть подхода к решению проблемы была объяснена, задачи для каждого полевого работника были определены и всем участникам семинара был выдан пакет предварительных параметров элементов техники полива для их демонстрационных полей. Со дня окончания семинара некоторые демонстрационные поля были заменены на другие, на выбранных полях были проведены обследования, собранные образцы почвы проанализированы и определены величины скорости инфильтрации. Восемь пар полей (демонстрационное и контрольное) были засеяны хлопчатником и одна пара полей под рисом. В этом отчёте сделан обзор методики водопользования и связанных с этим данных, а также описываются наблюдения, сделанные во время поездок членов РРГ и иностранного консультанта по демонстрационным полям во всех опытных хозяйствах. В нём также представлены новые результаты расчётов элементов техники поливов, сделанные по программе ПУМА и приводится второй скорректированный пакет рекомендаций для полевых работников по организации поливов.
3. Борозды на всех демонстрационных полях либо и слишком длинные, и имеют неравномерные уклоны (на большинстве полей), либо просто слишком длинные, для проведения поливов с высоким КПД. За исключением одного поля проведение программ ВУФМАС было начато слишком поздно для того, чтобы успеть провести требующуюся планировку поверхности полей. Единственно что оставалось сделать, это разделить большинство полей на более короткие участки с помощью нарезки временных ок арыков, улучшив тем самым равномерность уклонов на укороченных участках борозд. В основном этому совету последовали во всех хозяйствах, за исключением хозяйства в Южно-Казахстанской области, где первый полив на момент посещения ещё не был проведён из-за нехватки воды, а также из-за смещения сроков полива в результате прошедших в последнее время дождей.
4. В настоящий момент поливальщик может изменять только два переменных параметра поливов – это **время** подачи воды в каждую борозду от открытия и до закрытия воды и **расход воды в борозде**. По демонстрационным полям наблюдается широкий диапазон сочетаний времени подачи воды в борозду и расходов, которые изменяются от 4.3 часа при расходе 2.19 л/сек до 23.3 часа при расходе 0.10 л/сек, но при этом на некоторых полях наблюдаются совершенно непредсказуемые сочетания экстремальных значений этих параметров. Между этими переменными имеется обратная зависимость, но в тоже время решение уравнения Маннинга является настолько сложным, что не представляется возможным обобщить результаты этих расчётов.
5. Вместе с ростом растений корни всё глубже проникают вглубь, что в результате ведёт к постепенному повышению объёма воды нетто, который необходимо подать за время полива. Продолжительность полива увеличивается пропорционально возрастанию поливной потребности нетто при постоянном расходе воды в борозде. Расход воды в борозде в основном непосредственно зависит от длины борозды и размеров её поперечного сечения, скорости инфильтрации и коэффициента шероховатости.
6. Оптимальный расход воды в борозде во многих случаях ограничивается величиной максимальной не размывающей скорости. Типичные почвы Центральной Азии содержат много фракций пыли и бедны содержанием глинистых фракций. По классификации Бюро Мелиорации США содержание глинистых фракций в местных почвах редко превышает 20 процентов (в противоположность классификации Качинского, согласно которой во фракцию «физическая глина» также включается большая часть тех частиц, которые по американской системе классификации включены во фракцию пыли). Такие почвы во влажном состоянии

сильно подвержены эрозии. Это является серьёзным препятствием для повышения КПД полива поля на четырёх из восьми демонстрационных полей.

7. Программа ПУМА является оптимизационной программой, в которой изменяя сочетание времени полива и расхода воды в борозде в качестве исходных параметров для конкретного поля, с помощью итерации расчёт ведётся до тех пор, пока не будет получена максимальная величина КПД полива данного поля (E_a). КПД полива поля (E_a) – это отношение между поливной потребностью нетто и фактическим количеством воды, поданной за время полива. Прогнозы, сделанные на основании результатов расчёта по программе ПУМА с использованием данных по демонстрационным полям, являются неутешительными. Только на одном поле в хозяйстве в Таджикистане есть вероятность достичь КПД полива поля более 60 процентов. Средняя максимальная величина КПД полива поля по восьми демонстрационным полям при поливной норме нетто 60 мм составляет всего 40 процентов, что вряд ли будет большим увеличением по сравнению с КПД поливов, проводившихся раньше.
8. Демонстрационное поле в хозяйстве Сурхандарьинской области невозможно поливать с высоким КПД из-за сочетания средних уклонов и низкой скорости инфильтрации. Единственный способ – это снизить скорость воды в борозде и чтобы сделать это, предлагается нарезать пучки камыша в соседних дренах и уложить их на дно борозд. Демонстрационное поле с крутыми уклонами в хозяйстве Ошской области также нельзя поливать с высоким КПД, не допуская при этом серьёзной эрозии почвы, потому что хлопчатник был посеян по рядкам, направленным прямо вдоль склона. Полив этого поля, проведённый перед приездом членов РРГ в хозяйство, привёл в результате к смыву частиц мелкозёма со дна и стенок борозд, обнажив галечник и гравий. Если в дальнейшем не будет проводиться междурядная культивация, дальнейшей эрозии почвы не произойдёт, так как галечник и гравий будут замедлять скорость потока воды в борозде.
9. Потери с демонстрационного рисового чека на глубокое просачивание составляют примерно 11 мм/сутки, что составляет 18 тысяч кубометров воды на гектар за сезон, в то время как оросительные потребности нетто для риса составляют около 6 тысяч кубометров на гектар. Если водоподачу на рисовые чеки ограничить 24 тысячами кубометров на гектар, то тогда необходимо строго ограничить сброс воды с чеков непосредственно в дренажные системы.
10. Полевым работникам программы ВУФМАС будет трудно следовать этим рекомендациям. И хотя полевые работники обязаны отслеживать продолжительность поливов по каждому блоку борозд, можно предвидеть, что соблюдение продолжительности поливов будет серьёзно противоречить интересам поливальщиков с точки зрения удобного для них времени закрытия подачи воды. Согласно сложившейся практики поливальщики обычно открывают и закрывают воду рано утром по холоду и затем занимаются своими собственными делами. Рекомендуемая продолжительность большинства поливов составляет менее 24 часов, а также в некоторых случаях их продолжительность короче светового дня, поэтому со стороны работников программы ВУФМАС потребуется отслеживание жёсткого соблюдения продолжительности поливов.
11. Водосливы для измерения расходов воды в борозде не работают, если поверхность поля почти горизонтальная. Единственно эффективным способом измерения расходов в борозде является измерение расходов в подводящем канале или ок арыке с помощью водосливы Чиполетти и затем поделив этот расход на предписываемый расход воды в борозде можно определить количество борозд, которое можно одновременно поливать из подводящего канала или ок арыка. Такую проверку следует делать на всех демонстрационных полях, не зависимо от того, используются или нет водосливы Томсона на бороздах.
12. Результаты расчётов по программе ПУМА и эти рекомендации можно использовать лишь только как исходные параметры. Решение уравнения Маннинга сильно зависит от параметров инфильтрации по Костякову-Льюису и до сего времени эти параметры не были измерены с достаточной точностью. В расчётах по программе ПУМА были сделаны определённые допущения при определении параметров формы поперечного сечения борозды и коэффициента шероховатости по Маннингу. Полевым работникам было поручено постоянно проводить измерения всех параметров борозд и затем после анализа этих данных возможно будут сделаны некоторые изменения в расчётах по программе ПУМА и будет подготовлен третий пакет рекомендаций по проведению поливов.

СОДЕРЖАНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ	4
2	ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ	5
2.1	ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ	6
2.2	Почвенные изыскания, отбор образцов почвы и их анализ	7
2.3	Определение скорости инфильтрации и форма поперечного сечения борозды	10
2.4	Климатические данные	11
2.5	Составление графиков орошения, оросительные потребности нетто и глубина корнеобитаемой зоны	12
2.6	Ограничения для использования тензиометров	14
2.7	Компьютерная программа ПУМА (МИРОБ-А) для расчёта элементов техники полива	15
3	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПРАКТИКИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	16
3.1	Уклоны и длина борозд	16
3.2	Продолжительность полива и расход воды в борозде	17
3.3	Размывающая скорость в борозде	18
3.4	КПД полива поля	18
3.5	Водопользование при выращивании риса	19
3.6	Каким образом полевым работникам надлежит осуществлять эти рекомендации?	19
3.7	Ограничения по использованию этих рекомендаций	19

ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ

Таблица №	Название таблицы	стр.
1	Местоположение опытных хозяйств и их высота над уровнем моря	4
2	Уклоны борозд на демонстрационных полях	7
3	Результаты анализов образцов почвы и воды для демонстрационных полей программы WUFMAS на 1999 год	8
4	Сводные данные лабораторных анализов образцов почвы с опытных полей (июль 1999 года)	9
5	Величины параметров Костякова – Льюиса для демонстрационных полей по данным инфильтрации, определённой с помощью двойных колец	10
6	Обобщённые климатические данные по опытным хозяйствам программы WUFMAS за 1997 год	12
7	Оросительные потребности нетто в мм для различной глубины корней и коэффициента истощения по демонстрационным полям	13
8	Ограничения по применению тензиометра для определения сроков полива хлопчатника на демонстрационных полях программы WUFMAS	14
9	Средние величины элементов техники полива на демонстрационных полях программы WUFMAS	17

ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИКОВ

Рис.№	Наименование	стр.
1	Примеры уклонов поверхности демонстрационных полей по отдельным поперечникам	6
2	Пример таблицы для записи данных по определению инфильтрации	после стр.10
3	Пример определения ограничений по применению тензиометра для расчёта сроков поливов хлопчатника	после стр.14
4	Пример расчёта элементов техники полива по программе ПУМА	после стр.15
ПРИЛОЖЕНИЕ 1		21

1 ВВЕДЕНИЕ

Программа «Исследование водопользования и управления в сельском хозяйстве» (WUFMAS) была задумана в середине 1995 года после того, как был сделан вывод, что достоверные данные по использованию факторов производства на уровне хозяйства отсутствуют. Особенно важным было отсутствие данных по количеству проводимых поливов и их КПД. С января 1996 года и по ноябрь 1998 года проводился мониторинг и сбор таких данных на 10 опытных полях каждого из 36 хозяйств, специально отобранных для этой цели на территории всего бассейна Аральского моря. Это обследование позволило создать ценную базу данных, информация из которой была обобщена и представлена в годовых отчётах по программе WUFMAS и в отчётах по изучению каждого опытного хозяйства в отдельности (Participating Farm Reports). На основании этих материалов был сделан один из важных выводов, что только 20 процентов от общего количества воды, забранной из рек и водоёмов бассейна используется сельскохозяйственными культурами. Десятилетия бесплатного использования воды в неограниченных количествах выработали у местных водопользователей равнодушное отношение к экономической стоимости воды, идущей на потери. Затраты на доставку воды к границе поля в экономических ценах являются значительными в большинстве частей этого региона, эти затраты больше в Каршинской степи и меньше в бассейне реки Чирчик, но среднюю их величину равную 15 американским долларам за тысячу кубометров нельзя не признать обоснованной (см отчёт по проекту WARMAP - 1). Для экономики республик Центральной Азии прямые и косвенные убытки в экономических ценах от излишнего использования воды на поливы и строительства и эксплуатации дренажных систем, от использования дополнительного количества воды на промывки, из-за потери урожаев от засоления земель, из-за забрасывания уже освоенных земель составляют огромные суммы, возможно миллиарды американских долларов ежегодно.

В декабре 1998 года было обсуждено каким образом можно эффективно повысить продуктивность воды в сельхозпроизводстве. На примере средних данных по хлопчатнику из базы данных после рассмотрения разных вариантов было определено, что достичь наиболее устойчивого и эффективного повышения продуктивности воды можно только с помощью одновременного повышения урожайности и снижения водопотребления. Программа полевых работ WUFMAS – 99 нацелена на демонстрацию этого на отдельных выбранных полях с помощью сравнения достигнутых результатов с результатами на контрольных полях в каждом из девяти опытных хозяйств, расположенных во всех республиках Центральной Азии. Местоположение этих опытных приводится в Таблице 1.

Таблица 1 Местоположение опытных хозяйств и их высота над уровнем моря

№ хозяйства	Название хозяйства	Республика	Область	Район	Северная широта	Восточная долгота	Высота над урв моря
3	Джамбул	Казахстан	Юж-Казахстанская	Махтааральский	40° 52	68° 34	257 м
9	Садыков	Киргизстан	Ошская	Карасуйский	40° 33	72° 49	954 м
14	Им 1-го мая	Таджикистан	Ленинабадская	Зафарабадский	40° 17	70° 23	300 м
18	Мургаб	Туркменистан	Марыйская	Байрамалийский	37° 33	62° 11	240 м
22	Талашкан	Узбекистан	Сурхандарьинская	Шерабадский	37° 38	66° 56	390 м
24	Тимур Малик	Узбекистан	Сырдарьинская	Ш-Рашидовский	40° 23	68° 23	280 м
28	Шортанбай	Узбекистан	Каракалпакстан	Нукусский	42° 37	59° 32	75 м
34	Яккатут	Узбекистан	Ферганская	Ташлакский	40° 29	71° 53	460 м
35	Бухара	Узбекистан	Бухарская	Каганский	39° 44	64° 29	230 м

В конце марта 1999 года с участием полевых исполнителей и национальных координаторов программы WUFMAS в Ташкенте был проведен семинар, на котором были объяснены цели и задачи предстоящих полевых работ. Было повторно проведено объяснение как по данным испарения с испарителя, имеющегося в хозяйстве, рассчитывать суточный водный баланс поля и график его орошения (подробно все эти вопросы были рассмотрены на трёх семинарах, проведённых ранее). Также впервые на этом семинаре были даны пояснения по используемым в международной практике принципам практического использования воды непосредственно на поле. Фундаментальной основой такого водопользования является уравнение Маннинга, решение которого слишком сложное для объяснения на таком семинаре, но участникам семинара была продемонстрирована компьютерная программа

ПУМА, созданная на основе этого уравнения в 1998 году для ПУ Мироб, осуществлявшего ирригационный компонент хлопкового проекта. Каждому участнику семинара были выданы распечатки результатов расчётов элементов техники полива для их полей, сделанные на основе предположительных исходных параметров, взятых из базы данных. Эти расчёты были выданы в качестве предварительных, временных рекомендаций для улучшения практики водопользования на их демонстрационных полях.

Две третьих всех орошаемых площадей в Центральной Азии орошается по бороздам с междурядьями в основном 0.9м, а иногда 0.6м. Кроме некоторых непреодолимых социально-экономических факторов, ещё в регионе существуют следующие три наиболее важные причины, не позволяющие улучшить практику водопользования при поверхностном поливе по бороздам:

- плохая планировка и неравномерность уклонов по бороздам,
- неглубокое развитие корневой системы сельхозкультур из-за наличия очень твёрдой плужной подошвы и плотных подпахотных горизонтов, и
- неэффективная работа дренажа.

К сожалению, согласование проведения программы работ на 1999 год было получено слишком поздно для того, чтобы на демонстрационных полях было возможным устранить все эти недостатки. И конечно мало вероятно, что при таком ограниченном бюджете можно добиться эффективного улучшения работы дренажных систем и снижения уровня грунтовых вод.

Этот отчёт написан по результатам поездок иностранного эксперта и членов РРГ по всем опытным хозяйствам в течение мая-июня и обработки данных, представленных двумя группами изыскателей в отчётах по обследованию опытных полей, а также по результатам лабораторных анализов собранных образцов почвы.

2 ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

Первая цель орошения - это проведение полива в требуемые сроки. Решение о проведении полива принимается ирригатором на основании оптимального баланса между затратами на проведение полива и стоимостью той части урожая культуры, которая может быть потеряна из-за чрезмерного водного стресса для культуры. Это называется **график проведения поливов** и не является предметом этого отчёта, но основы методики составления графиков орошения в общих чертах приводятся ниже.

Вторая цель орошения – это восполнение, с наиболее высоким КПД, того запаса доступной влаги в почве, который был поглощён культурой из корнеобитаемой зоны за период до проведения полива. Это количество воды является **оросительными потребностями нетто**, а операция по восполнению воды и есть **использование воды**, что и является предметом этих рекомендаций.

Прежде всего необходимо определить оросительные потребности нетто. Полевые работники программы WUFMAS делают это одновременно с составлением графика орошения с помощью данных по испарению и количества выпавших осадков, которые измеряются на испарителе и дождемере, поставленные ранее в каждое опытное хозяйство. Содержание влаги в почве можно измерять в поле различными измерительными устройствами в условных единицах или непосредственно гравиметрическим способом (трудоёмкий и длительный метод, использовавшийся в Советское время). Например тензиометр, с помощью которого можно измерять натяжение почвенной влаги и по предварительно определённой зависимости этого натяжения от содержания влаги в этой конкретной почве можно подсчитать оросительные потребности нетто. Но при этом существуют серьёзные ограничения по его применению, которые рассматриваются ниже.

По мере продвижения воды по борозде из подающего ок арыка, часть её впитывается в почву, а оставшая вода продолжает двигаться вниз по борозде. Впитывание воды происходит с уменьшающейся скоростью до тех пор, пока не будет достигнута установившаяся скорость инфильтрации. В голове борозды возможное время для

впитывания воды больше и поэтому та вода, которая просачивается глубже за пределы корнеобитаемой зоны, потеряна для растений и в результате этого поднимается уровень грунтовых вод. Возможное время для впитывания воды в конце борозды намного короче, но его должно быть достаточно для того, чтобы как раз восполнить запас доступной влаги в почве, и не больше, и не меньше. Та часть воды, которая проходит вдоль борозды не впитываясь и достигает конца борозды и затем уходит на концевой сброс в другой канал или дренаж, также потеряна для растений, которым она предназначалась. Соотношение между оросительными потребностями нетто и тем объемом воды, который был фактически подан на поле представляет из себя КПД полива поля (E_a). Объем воды, потерянный на поле на эти два вида потерь имеет значительно большее значение, чем это традиционно принято считать в республиках Центральной Азии. Средняя величина КПД полива поля измерялась на опытных полях программы WUFMAS и она составляет примерно 40 процентов, а это означает, что 60 процентов всего объема воды, доставленного к границе поля, уходит на потери. Цель этих рекомендаций как раз и состоит в максимизации величины КПД полива поля, что также является целью компьютерной программы ПУМА.

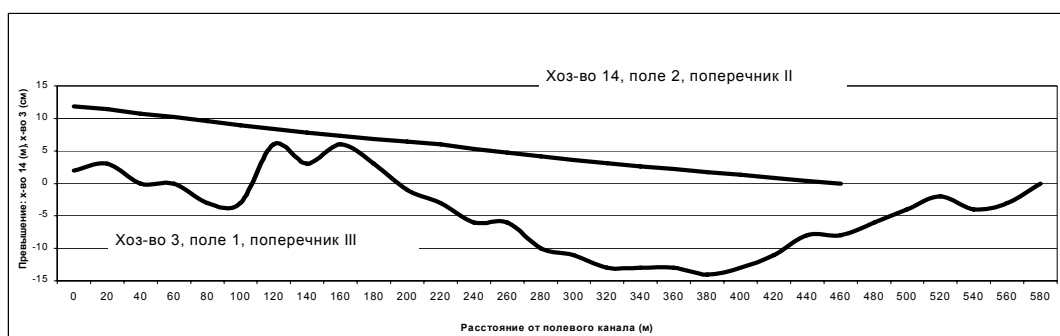
Соотношение между тем объемом воды, который впитался и тем объемом воды, который подавался на поле, зависит от типа почвы, характеристик борозды и расхода воды в борозде, подаваемого из питающего канала. Поэтому оптимальные элементы техники полива по бороздам будут зависеть от следующих параметров:

- оросительная потребность нетто,
- уклон, длина борозды и форма её поперечного сечения,
- скорость инфильтрации и коэффициент шероховатости борозды,
- скорость воды в борозде и допустимая не размывающая скорость.

Для того, чтобы вести расчёты по уравнению Маннинга (с помощью программы ПУМА), необходимо было сначала замерить для каждого поля все характерные параметры. Две группы специально обученных изыскателей обследовали все опытные поля и представили все исходные данные для составления рекомендаций по проведению поливов. Вполне вероятно, что не все измеренные в поле величины имеют достаточную точность, поэтому можно ожидать третьего и последнего варианта этих рекомендаций.

2.1 ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ

Рис. 1 Примеры уклонов поверхности демонстрационных полей по отдельным поперечникам



На каждом поле была произведена нивелирная съёмка поверхности по сетке 20 x 20 м. В зависимости от уклонов поверхности поля по построенным затем поперечникам на каждом поле были намечены трассы для нарезки ок арыков. С учётом местоположения ок арыков были определены длины борозд по участкам и их уклоны. На Рис.1 показаны примеры поперечников, построенных на поле с равномерным уклоном поверхности и на поле с очень неровной всхолмленной поверхностью. В Таблице 2 приводятся средние длины борозд и их уклоны по поперечникам на опытных полях. Величины уклонов изменяются от нуля в хозяйствах Бухарской и Марыйской области и до 2-3 процентов в хозяйствах Ленинабадской и Ошской областей.

Таблица 2 Уклоны борозд на демонстрационных полях

№ попереч	1-й участок поля			2-й участок поля			3-й участок поля			4-й участок поля			5-й участок поля			Общая длина м
	Длина м	Перепад м	Уклон	Длина м	Перепад м	Уклон	Длина м	Перепад м	Уклон	Длина м	Перепад м	Уклон	Длина м	Перепад м	Уклон	
Хоз-во 3, поле 9																
1	35		неровный	320		0,0008	228		0,0008						583	
2	33		неровный	320		0,0009	231		0,0007						584	
3	109		неровный	240		0,0008	234		0,0006						583	
4	105		неровный	240		0,0006	240		0,0003						585	
5	20		неровный	320		0,0006	240		0,0003						580	
6	60		неровный	280		0,0006	240		0,0003						580	
7	80		неровный	260		0,0005	222		0,0002						562	
Хоз-во 9, поле 2																
1	133	1,90	0,01429												133	
2	170	2,80	0,01647												170	
3	198	4,10	0,02071												198	
Ср. по 2-3	184		0,01859													
4	210	4,90	0,02333												210	
5	221	5,70	0,02579												221	
6	225	6,40	0,02844												225	
Ср. по 4-6	219		0,02586													
7	161	4,80	0,02981												161	
8	143	4,40	0,03077												143	
9	178	5,70	0,03202												178	
Ср. по 7-9	161		0,03087													
10	229	6,50	0,02838												229	
11	227	6,30	0,02775												227	
12	215	5,60	0,02605												215	
Ср. по 10-12	224		0,02739													
13	195	5,10	0,02615												195	
14	159	4,40	0,02767												159	
15	164	4,00	0,02439												164	
Ср. по 13-15	173		0,02607													
16	133	3,20	0,02406												133	
17	135	3,50	0,02593												135	
18	130	3,70	0,02846												130	
Ср. по 16-18	133		0,02615													
Хоз-во 14, поле 5																
1	475	12,61	0,02655												475	
2	453	11,94	0,02636												453	
3	450	11,81	0,02624												450	
4	444	11,71	0,02637												444	
5	426	10,58	0,02484												426	
6	425	10,37	0,02443												425	
7	423	10,19	0,02412												423	
8	400	9,54	0,02385												400	
Ср. по 1-8	437		0,02534													
Хоз-во 18, поле 9: почти горизонтальное, но очень не ровное, уклоны борозд меняются от нуля до 0.0045 и в различных направлениях																
Хоз-во 22, поле 10																
1	20	0,00	0,00000	140	0,32	0,0023	20	0,00	0,0000	180	0,48	0,0027	0	0,00	360	
2	40	0,00	0,00000	120	0,29	0,0024	20	0,00	0,0000	180	0,51	0,0028	0	0,00	360	
3	20	0,00	0,00000	140	0,30	0,0021	20	0,00	0,0000	180	0,60	0,0033	0	0,00	360	
4	40	0,00	0,00000	120	0,25	0,0021	20	0,00	0,0000	180	0,47	0,0026	0	0,00	360	
5	60	0,00	0,00000	100	0,21	0,0021	20	0,00	0,0000	160	0,42	0,0026	20	0,00	360	
6	40	0,00	0,00000	120	0,21	0,0018	40	0,00	0,0000	158	0,39	0,0025	0	0,00	358	
Ср. по 1-6				123		0,0021				173		0,0028				
7	160	0,27	0,00169	40	0,00	0,0000	120	0,22	0,0018	27	0,00	0,0000	0	0,00	347	
8	160	0,38	0,00238	20	0,00	0,0000	46	0,00	0,0000	0	0,00	0,0000	0	0,00	226	
Хоз-во 24, поле 9																
9	140	0,18	0,00129	90	0,11	0,0012	60	0,10	0,0017	70	0,25	0,0036			360	
10	140	0,30	0,00214	90	0,08	0,0009	60	0,11	0,0018	70	0,40	0,0057			360	
11	140	0,34	0,00243	90	0,05	0,0006	60	0,12	0,0020	72	0,32	0,0044			362	
12	140	0,34	0,00243	90	0,07	0,0008	56	0,07	0,0013	70	0,43	0,0061			356	
13	140	0,48	0,00343	90	-0,06	-0,0007	56	0,08	0,0014	70	0,36	0,0051			356	
Ср. по 9-13	140		0,00234	90		0,0006	58,4		0,0016	70,4		0,0050				
14	140	0,51	0,00364	100	-0,13	-0,0013	48	0,09	0,0019	52	0,23	0,0044			340	
15	140	0,45	0,00321	100	-0,10	-0,0010	53	0,15	0,0028	47	0,13	0,0028			340	
16	140	0,26	0,00186	100	0,07	0,0007	50	0,07	0,0014	50	0,08	0,0016			340	
17	140	0,36	0,00257	100	-0,04	-0,0004	50	0,13	0,0026	50	0,08	0,0016			340	
Ср. по 15-17	140		0,00255	100		-0,0002	51		0,0023	49		0,0020				
Хоз-во 34, поле 1																
1	282	0,79	0,00280												282	
2	281	0,80	0,00285												281	
3	279	0,70	0,00251												279	
4	275	0,71	0,00258												275	
5	272	0,77	0,00283												272	
6	264	0,75	0,00284	20	0,00	0,0000									284	
7	282	0,75	0,00266												282	
8	281	0,77	0,00274												281	
9	279	0,74	0,00265												279	
10	280	0,58	0,00207												280	
Ср. по 1-10	278		0,00265													
Хоз-во 35, поле 10: почти горизонтальное, но очень неровное, уклоны борозд меняются от нуля до 0.0017 и в различных направлениях																

2.2 Почвенные изыскания, отбор образцов почвы и их анализ

На всех демонстрационных полях было сделано описание почвенных профилей по отрытым шурфам. В почвенных профилях с помощью пенетрометра была определена плотность по разным горизонтам и определено наличие плужных подошв и других плотных горизонтов.

В 1996, 1997 и 1999 годах отбирались ненарушенные и смешанные образцы почвы. В лаборатории САНИИРИ эти образцы были проанализированы для определения мехсостава, водно-физических свойств, объёмной массы и порозности. Засолённость почвы определялась в водной суспензии с соотношением почва : вода 1:1. Данные химического анализа образцов почвы и воды за 1996/97 обобщены в Таблице 3, а результаты анализов за 1999 год в обобщённом виде приводятся в Таблице 4.

Таблица 3 Результаты анализов образцов почвы и воды для демонстрационных полей программы WUFMAS на 1999 год

Область	Ед. изм	Южный Казахстан	Ош	Ленин-абад	Мары	Сурхандарья	Сыр-дарья	Кара-калпак-стан	Фер-гана	Бухара
№ хозяйства		3	9	14	18	22	24	28	34	35
№ демонстрационного поля		3	сред	5	5	5	10	9	9	10
Культура (1999)		Хлопок	Хлопок	Хлопок	Хлопок	Хлопок	Хлопок	Рис	Хлопок	Хлопок
Анализы почвы (данные для полей)		9	сред	3	3/7	4/7	1/5	3	6/10	6
pH		7.7	-	-	7.9	7.6	7.6	7.7	-	7.7
ЕСе 1996	dS/м	1.0	0.5	1.2	0.7	1.4	1.2	2.5	1.4	1.7
ЕСе 1997	dS/м	1.0	-	-	1.7	4.3	5.4	4.6	-	3.3
Класс опасности		0	0	0	0	2	2	2	0	1
HCO ₃	м-э/100г	0.20	-	0.2	0.20	0.18	0.25	0.25	0.23	0.2
Cl	м-э/100г	1.83	-	0.85	0.42	1.69	1.69	1.83	0.49	1.27
Класс опасности		2	-	1	0	2	2	2	0	2
SO ₄	м-э/100г	12.91	-	6.87	4.04	4.38	2.91	16.86	5.28	3.77
Ca	м-э/100г	7.73	-	3.49	0.88	1.63	3.50	10.23	2.75	2.74
Mg	м-э/100г	3.70	-	1.48	0.62	0.66	0.99	2.47	1.11	0.99
Na	м-э/100г	1.83	-	2.22	2.92	3.83	0.35	4.96	2.22	1.22
Класс опасности		1	-	1	1	2	0	2	1	1
K	м-э/100г	0.26	-	0.18	0.20	0.21	0.02	0.13	0.15	0.26
K/(K+Na)	%	12	-	8	6	5	5	3	6	18
Na/Сумма катионов	%	14	-	30	63	61	7	28	36	23
Cl/SO ₄	ratio	0.1	-	0.1	0.1	0.4	0.6	0.1	0.1	0.3
Тип засоления		SO ₄	SO ₄	SO ₄	SO ₄	Cl:SO ₄	Cl:SO ₄	SO ₄	SO ₄	Cl:SO ₄
Оросительная вода (среднее)										
ЕС	dS/м	1.4	0.8	1.3	0.9	1.3	1.3	1.7	0.7	1.7
Класс опасности		1	1	1	1	1	1	1	1	1
HCO ₃	м-э/л	0.9	0.8	1.2	0.8	1.6	1.9	1.3	0.9	-
Cl	м-э/л	2.9	1.1	3.4	2.8	4.3	3.6	5.5	1.2	-
SO ₄	м-э/л	2.5	4.0	17.3	3.8	10.0	6.5	6.0	6.8	-
Ca	м-э/л	2.6	3.0	8.4	4.0	5.4	5.5	6.0	2.8	-
Mg	м-э/л	1.6	1.0	7.7	3.0	5.4	4.3	4.0	3.6	-
Na	м-э/л	0.7	1.8	5.6	0.5	4.9	2.0	2.6	2.4	-
K	м-э/л	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	-
SAR		0.6	1.3	1.9	0.2	2.5	0.9	1.2	1.4	-
Класс опасности		0	0	0	0	0-1	0	0	1	-
Грунтовая вода (среднее)										
ЕС	dS/м	2.7	-	-	6.7	12.0	9.7	5.6	2.0	6.4
Класс опасности		1	-	-	2	2	2	2	1	2
HCO ₃	м-э/л	2.1	-	-	2.9	2.6	3.7	2.6	1.6	1.2
Cl	м-э/л	6.0	-	-	36.6	59.6	37.1	27.6	1.0	10.1
SO ₄	м-э/л	26.2	-	-	69.4	67.6	90.2	39.8	7.1	29.1
Ca	м-э/л	6.0	-	-	19.3	14.4	21.5	19.0	1.6	5.4
Mg	м-э/л	14.8	-	-	39.5	37.6	47.3	30.6	6.2	13.4
Na	м-э/л	12.5	-	-	47.7	76.9	61.7	19.4	1.7	20.6
K	м-э/л	0.4	-	-	1.5	2.4	1.9	0.6	0.1	0.6
SAR		4.1	-	-	8.5	15.8	10.7	3.9	1.3	10
Класс опасности		0	-	-	0	0	0	0	0	0

Примечание: некоторые из демонстрационных полей были заменены на другие после подготовки этой таблицы

В таблице 3 приводится интерпретация некоторых данных анализов в виде классов опасности, определённых по методике ФАО и местных институтов. Засоление почвы по данным измерения электропроводимости в насыщенном растворе (ЕС_е) изменяется от не засоленных почв в хозяйствах номер 03, 09, 14, 18 и 34 до слегка засоленных в хозяйствах номер 22, 24 и 28. Местные классификации засоления почвы по содержанию Na и Cl не соответствуют классификации по ЕС_е за исключением хозяйств номер 22 и 28, где класс засоления почвы является одинаковым по всем классификациям. Почвы хозяйства №24 по электропроводимости ЕС_е классифицируются как засоленные из-за высокого уровня содержания MgSO₄ и CaSO₄, но не по содержанию NaCl.

Качество оросительных и грунтовых вод по их пригодности для поливов в большинстве случаев хорошее. Существует небольшая опасность по величине соотношения натрия в

поглощающем комплексе оросительной воды (SAR) в хозяйствах №22 и 34. Опасность по величине SAR связана не с её влиянием на культуру, а с диспропорцией между содержанием Na и двухвалентных катионов, что вызывает распад глинистых почвенных агрегатов с последующим снижением водопроницаемости почвы и повышением засоления почвы.

Таблица 4 Сводные данные лабораторных анализов образцов почвы с опытных полей (июль 1999 года)

№ хоз-ва	№ поля *	Образец почвы с глубины (см)	Камни и гравий (% веса)	Мехсостав мелкозёма по классификации (USBR в % от веса)			Классификация по мехсоставу		Засоление по ЕС _{1:1}	Содержание влаги в почве (в % от объёма)			Объёмная масса (г/мл)	Порозность в ненаруш образце (в % от объёма)
				песок	Пыль	ил	USBR	Местная		dS/м	pF=2.0	pF=4.2		
3	1D	0-10	<1	36	47	17	L	mL	1.3	25.2	17.5	7.8	1.39	0.48
		20-25	<1	40	46	14	L	mL	1.1	28.9	14.2	14.8	1.48	0.44
		35-40	<1	29	53	18	ZL	mL	1.9	30.2	18.2	12.0	1.65	0.38
	10C	50-55	<1	32	60	8	ZL	IL	2.5	29.4	15.0	14.4	1.45	0.45
		0-10	<1	30	55	15	ZL	mL	1.9	23.1	13.0	10.1	1.15	0.57
		10-35	<1	43	52	5	ZL	conS		28.3	15.1	13.1	1.35	0.49
	35-47	<1	35	53	12		mL		31.4	17.6	13/8	1.57	0.41	
	47-77	<1	36	53	11		IL		26.6	12.1	14.5	1.34	0.50	
9	2D	0-5		36	50	14	L	IL	0.5	27.2	14.8	12.4	1.59	0.40
		25-30		37	51	13	ZL	mL	0.5	28.4	16.0	12.4	1.48	0.44
		60-65		35	52	9	ZL	IL	0.4	21.2	8.9	12.4	1.42	0.47
	1C	0-5		36	53	41	ZL	IL	0.7	25.8	11.6	14.3	1.40	0.47
		25-30		37	52	11	ZL	IL	0.6	26.9	11.9	15.0	1.40	0.47
		60-65		36	58	6	ZL	IL	0.5	28.3	10.5	17.8	1.40	0.47
14	5D	0-35	34	72	23	5	SL	conS	0.6	21.6	7.7	13.9	1.23	0.54
		35-40	46	75	19	6	SL	conS	0.4	17.8	9.8	0.8	1.32	0.50
		40-60	43	72	24	5	SL	conS	0.4	14.2	6.4	7.8	1.22	0.54
	4C	>60	48	78	20	2	LS	S	0.5	22.0	9.8	12.2	1.28	0.52
		0-30	n/a	90	5	5	S		1.9					
		30-60	n/a	94	4	2	S		0.5					
18	7D	10-15	<1	48	43	9	L	IL	4.1	24.8	13.6	11.3	1.59	4.00
		35-40	<1	59	34	7	SL	conS	2.3	27.1	15.6	11.5	1.45	0.45
		60-65	<1	68	23	9	SL	conS	4.6	29.9	11.7	18.2	1.61	0.39
	9C	10-15	<1	46	39	15	L	IL	2.7	29.0	21.3	7.7	1.55	0.42
		35-40	<1	45	40	15	L	IL	0.8	27.9	21.8	6.1	1.63	0.39
		60-65	<1	48	37	15	L	mL	1.1	27.0	20.2	6.8	1.57	0.41
22	10D	0-37	<1	27	43	30	CL	hL	1.1	24.9	17.7	7.2	1.24	0.53
		37-66	<1	33	46	21	L	hL	2.1	30.0	21.7	8.3	1.56	0.41
		66-78	<1	28	48	24	L	hL	2.3	23.0	13.9	9.1	1.58	0.41
	10C	79-100	<1	30	64	6	ZL	IL	2.9	35.8	28.1	7.7	1.62	0.39
		0-30	<1	30	40	30	CL	hL	1.8	29.8	20.2	9.7	1.44	0.46
		30-47	<1	38	43	20	L	mL	2.8	29.3	23.1	6.2	1.60	0.40
	47-55	<1	48	33	19	L	mL	2.6	29.9	21.9	8.0	1.51	0.43	
	55-100	<1	34	45	21	L	mL	3.3	30.5	22.0	8.5	1.56	0.41	
24	9D	5-10	<1	69	26	5	SL	conS		19.7	10.1	9.6	1.25	0.53
		25-30	<1	63	28	9	SL	conS	1.2	20.9	7.7	13.2	1.65	0.38
		65-70	<1	62	37	1	SL	IL	1.0	26.3	11.9	14.5	1.40	0.47
	9D	87-92	<1	49	47	4	SL	S	1.2	36.0	21.6	14.4	1.34	0.50
		5-10	<1	63	32	6	SL	conS	3.9	23.1	14.1	9.0	1.62	0.39
		40-45	<1	64	31	5	SL	conS	4.2	20.7	9.7	11.0	1.41	0.47
	75-80	<1	41	56	3	ZL	S	3.6	25.2	10.7	14.5	1.29	0.52	
28	9D	0-37	<1	39	52	9	ZL	IL	3.6	31.6	24.0	7.6	1.32	0.50
		37-65	<1	37	54	9	ZL	IL	1.0	40.8	25.7	15.1	1.46	0.45
		65-80	<1	41	58	1	ZL	conS	0.8	28.7	21.1	7.6	1.34	0.50
		80-100	<1	34	63	3	ZL	conS	0.7	32.0	24.2	7.9	1.33	0.50
34	1D	0-5	<1	44	41	15	L	mL	1.1	27.0	16.4	10.6	1.32	0.50
		25-30	<1	42	39	19	L	mL	1.3	33.0	21.8	11.3	1.50	0.44
		65-70	<1	55	32	13	SL	IL	0.8	25.2	12.9	12.2	1.42	0.47
	5C	0-5	<1	52	37	11	L	IL	1.0	24.2	16.2	8.0	1.47	0.45
		25-30	<1	52	36	12	L	IL	1.1	26.8	19.7	7.2	1.69	0.36
		50-55	<1	53	38	9	SL	IL	0.5	26.2	18.5	7.6	1.67	0.37
	70-75	<1	59	32	9	SL	IL	0.5	32.3	23.3	8.6	1.55	0.42	
35	10D	0-20	<1	38	55	7	ZL	mL	0.6	23.8	10.4	13.4	1.12	0.58
		20-49	<1	40	46	14	L	mL	0.6	27.2	14.9	12.3	1.41	0.47
		49-71	<1	40	45	15	L	mL	0.4	27.3	14.3	13.0	1.29	0.52
		71-100	<1	29	54	17	ZL	mL	0.8	26.1	12.7	13.4	1.32	0.50
	7C	0-15	<1	36	50	14	ZL	mL	2.1	30.2	14.4	15.8	1.23	0.54
		15-66	<1	36	48	16	L	mL	1.7	31.8	16.0	15.8	1.43	0.46
	66-100	<1	65	28	7	SL	conS	2.0	26.96	12.7	14.2	1.39	0.48	

Примечание: * D = демонстрационное поле, C = контрольное поле

При обычно небольшом содержании фракций глины и малом содержании HCO_3^- в почвах и воде региона, эту опасность нельзя рассматривать как серьёзную. При посещении хозяйства №22 члены РРГ обнаружили, что для поливов в хозяйстве используется смесь пресной и дренажной воды в пропорции 1:1 (но демонстрационное поле №10 поливается только пресной водой).

Источником засоления почвы поэтому является не оросительная вода, а вторичное засоление из повысившегося уровня грунтовых вод. Потери воды при проведении поливов намного больше объёмов воды, используемых для проведения промывок, поэтому нет необходимости дополнительно использовать воду кроме как на влагозарядку перед посевом, если выпавшее количество осадков было недостаточным для снижения засоления поверхности почвы.

Величины объёмной массы почвы в Таблице 4 указывают на наличие очень уплотнённых подпахотных горизонтов почвы. Величины плотности больше 1.4г/мл ограничивают развитие корней в глубину в пылеватых почвах, а величины плотности почвы больше 1.6г/мл являются непреодолимыми для корней растений, хотя некоторые корни могут проникать в трещины, образующиеся в уплотнённых слоях. В общем в результате происходит серьёзное ограничение развития корневой системы вглубь, и как это будет видно из пояснений в последующих разделах, это серьёзно ограничивает потенциал для улучшения практики водопользования.

2.3 Определение скорости инфильтрации и форма поперечного сечения борозды

Таблица 5 Величины параметров Костякова – Льюиса для демонстрационных полей по данным инфильтрации, определённой с помощью двойных колец

№ хоз-ва	Поле (1)/ Повторность	Параметры Костякова-Льюиса			В конце опыта (мм)		После 24ч (м/сут)	Класс по инфильтрации (2)
		k	A	fo	Измерен	Расчётн		
3	1D-I	0.0030	0.424	0.00026	210	214	0.44	Умерен низкая
	1D-II	0.0030	*	0.00026	176	*	*	
	3-I	0.0030	0.430	0.00027	211	215	0.46	
	3-II	0.0020	0.491	0.00020	162	167	0.36	
	10C-I	0.0030	0.473	0.00025	234	240	0.45	
	10C-II	0.0020	0.546	0.00050	395	351	0.83	
	Средняя	0.0027	0.473	0.00029	231	237	0.51	Умеренная
9	1C-I	0.0030	*	0.00036	211	*	*	Низкая
	1C-II	0.0050	*	0.00031	166	*	*	
	2D-I	0.0010	0.083	0.00008	64	64	0.12	
	2D-II	0.0020	*	0.00029	159	*	*	
	Средняя	0.0028	0.083	0.00026	150			
14	5D-I	0.0070	0.258	0.00011	126	127	0.20	Умерен низкая
	4C-I	0.0350	0.562	0.01000	1404	1542	16.49	
	Средняя	n/a	n/a	n/a				
18	7-I	0.0060	0.334	0.00095	579	630	1.44	Умеренная
	7-II	0.0070	0.152	0.00004	49	49	0.08	
	7-III	0.0030	0.425	0.00020	166	169	0.35	
	9DC-I	0.0030	*	0.00021	130	*	*	
	9DC-II	0.0070	0.189	0.00011	89	89	0.19	
	Средняя	0.0052	0.275	0.00030	203	234	0.51	
22	10D-I	0.0010	0.443	0.00040	321	329	0.60	Умеренная
	10D-II	0.0050	0.375	0.00042	371	376	0.68	
	10C-I	0.0020	0.427	0.00043	317	324	0.66	
	10C-II	0.0020	0.609	0.00040	341	362	0.74	
	Средняя	0.0025	0.464	0.00041	338	348	0.67	
24	9D-I	0.0030	0.221	0.00014	130	131	0.22	Умерен низкая
	9D-II	0.0050	0.295	0.00015	158	159	0.26	
	9C-I	0.0040	0.235	0.00003	44	44	0.07	
	9C-II	0.0020	0.392	0.00003	50	50	0.08	
	10-I	0.0022	0.407	0.00048	210	201	0.73	
	10-II	0.0027	0.325	0.00018	171	162	0.29	
	10-III	0.0041	0.248	0.00012	111	107	0.20	
	10-IV	0.0030	0.313	0.00026	176	178	0.40	
	Средняя	0.0030	0.323	0.00026	167	162	0.41	
	28	9D-I	0.0150	0.214	0.00008	149	149	
9D-II		0.0030	0.099	0.00012	125	125	0.18	
10C-I		0.0020	0.362	0.00010	87	88	0.17	
10C-II		0.0002	0.608	0.00012	105	99	0.19	
Средняя		0.0051	0.321	0.00011	117	115	0.14	
34	1D-I	0.0030	0.428	0.00008	104	105	0.18	Умерен низкая
	1D-II	0.0040	0.441	0.00008	118	119	0.21	
	5C-I	0.0100	0.258	0.00020	178	179	0.35	
	5C-II	0.0040	0.225	0.00008	77	77	0.14	
	Средняя	0.0053	0.338	0.00011	119	120	0.22	
35	7C-I	0.0020	0.466	0.00026	292	298	0.43	Умерен низкая
	7C-II	0.0020	0.440	0.00014	173	176	0.25	
	10D-I	0.0030	0.299	0.00002	53	53	0.06	
	10D-II	0.0040	0.311	0.00002	64	64	0.07	
	Средняя	0.0028	0.379	0.00011	146	148	0.20	

(1) Примечание: D = демонстрационное поле, C = контрольное поле, * - ошибочные данные

(2) Скорость инфильтрации: очень низкая = <0.02м/сут, низкая = 0.02-0.12м/сут, умеренно низкая = 0.12-0.48м/сут,

умеренная = 0.48-1.44м/д, высокая = 1.44-6.0м/сут, очень высокая = >6.0м/сут

Источник: Booker Tropical Soil Manual, p69, Longman 1991

Данные по скорости инфильтрации были собраны по результатам опытов в двух повторностях, сделанных на каждом поле с помощью двухкольцевого инфильтрометра. Ввиду того, что эти данные сильно отличаются друг от друга, приходится сожалеть, что опыты не были проведены в трёх повторностях, как это рекомендовалось иностранным консультантом.

На Рис. 2 приводится пример таблицы для записи данных по инфильтрации и программы в Excel для определения параметров инфильтрации по Костякову – Льюису. Каждый раз после падения уровня воды не более чем на 10 мм, записывается время снижения уровня и уровень воды и затем вода доливается до максимальной отметки. На рис 2 показаны фактические данные по второму опыту на опытном поле № 7 в 35-м хозяйстве Бухарской области, где величина коэффициента k (кривизна) составляла 0.002м/мин, величина экспоненты a была равна 0.002 и величина коэффициента линейности f_0 , установившаяся скорость инфильтрации, была равна 0.00014 м/мин. Расчётные данные, полученные из уравнения, близко совпали с измеренными данными по суммарной фильтрации, величина которой составила 173 мм через 16 часов, а расчётная её величина составила 176 мм. При экстраполяции до 24 часов величина инфильтрации составила 0.25 м, что по международным стандартам является умеренно низкой величиной инфильтрации. В Таблице 5 приводятся сводные данные по параметрам, рассчитанным на основе результатов опытов по инфильтрации, проведённых на демонстрационных полях в апреле и мае.

Элементы техники полива довольно сильно зависят от формы поперечного сечения борозды и полевым работникам было дано задание записывать типичные размеры поперечного сечения борозд. В компьютерной модели ПУМА размеры поперечного сечения борозд зависят от ширины междурядий и определяются двумя параметрами, r_1 и r_2 . В этих рекомендациях эти параметры приняты как для широкого трапецеидального сечения с величинами параметров $r_1 = 0.432$ и $r_2 = 1.29$, за исключением опытного поля в хозяйстве №22 Сурхандарьинской области, которое согласно программы ПУМА почти невозможно эффективно поливать. Для измерения размеров поперечного сечения борозд было изготовлено специальное устройство и в последующем величины этих параметров, которые были использованы в этом отчёте, могут быть заменены на фактически измеренные.

2.4 Климатические данные

С ближайших к опытным хозяйствам метеостанций Главгидромета собираются ежемесячные климатические данные. Среднемесячные климатические данные представлены в годовых отчётах по программе WUFMAS, а в Таблице 6 обобщены климатические данные за 1997 год.

Таблица 6 Обобщённые климатические данные по опытным хозяйствам программы WUFMAS за 1997 год

№ хоз-ва	Средне- месячн темпера тура	Кол-во дней с темпер >15°C	Мах средне- месяч темпер	Абсол Мах темпер	Min средне- месяч темпер	Абсол Min темпер	Месячн Осадки	Ео за месяц	Относит влаж- ность воздуха	Скорость ветра	Часы солнеч ного сияния	ЕТо (Пен- ман)	Солнечная радиация
	°C		°C	°C	°C	°C	мм	мм	%	м/сек	часов	мм	МД/м3
Среднее за 12 месяцев													
3	15.6	182	23.7	32.9	7.9	0.3	21.7	-	61	1.82	9.4	104.2	18.9
9	12.8	124	19.6	26.7	7.8	1.4	27.1	-	61	1.33	8.6	102.0	19.0
14	16.1	168	23.7	27.8	11.1	5.6	16.2	6	42	5.60	7.9	88.3	16.0
18	17.8	215	26.6	34.8	10.0	5.3	16.0	-	46	2.88	8.7	136.1	18.3
22	18.9	225	24.9	32.2	13.8	8.0	24.5	-	50	4.40	9.9	160.5	34.8
24	15.3	170	22.9	30.9	8.6	1.8	28.2	-	58	2.26	8.9	107.0	18.3
28	13.6	173	21.3	30.5	5.7	-1.1	10.0	-	58	4.20	9.2	118.1	18.0
35	15.9	183	24.2	33.2	8.4	2.7	22.2	-	57	3.73	9.5	139.4	19.6
Итого за 12 месяцев													
3		2179					260	0			84	729	132
9		1490					299	0			69	816	152
14		1843					178	43			71	265	48
18		2576					192	0			104	-	201
22		2694					294	0			109	-	348
24		2045					339	0			98	-	201
28		2074					120	1014			111	-	198
35		2199					267	0			95	-	196
Maximum за 12 месяцев													
3	29.7	499	40.2	45.4	20.2	16.0	57.9	0	83	4.80	13.2	197.8	28.5
9	26.7	415	35.2	39.4	19.0	14.3	68.1	0	74	1.90	12.1	179.2	27.0
14	28.5	482	36.8	40.0	23.1	17.5	69.0	16	75	14.00	13.1	199.1	28.4
18	32.1	581	39.6	45.9	25.2	21.3	47.4	0	65	4.70	12.5	238.7	27.9
22	32.4	586	39.4	43.6	25.8	23.1	87.7	0	74	4.80	12.9	283.6	162.0
24	29.6	504	37.9	43.8	21.9	17.8	78.2	0	72	3.60	13.2	207.4	28.6
28	29.9	515	37.2	43.0	21.7	16.5	59.6	249	78	9.00	12.2	231.3	27.1
35	30.0	508	38.2	46.0	21.5	18.8	81.0	0	76	4.90	13.1	266.9	28.5
Minimum за 12 месяцев													
3	1.1	0	6.2	16.0	-3.6	-17.2	0.0	0	40	1.20	4.6	15.5	7.2
9	0.0	0	5.6	12.0	-3.0	-13.2	0.0	0	47	0.70	3.3	18.5	6.2
14	1.1	0	6.9	12.6	-1.9	-8.7	0.0	0	0	1.60	0.0	27.7	7.5
18	5.2	0	11.2	19.6	-4.2	-10.5	0.0	0	28	1.30	4.4	40.9	7.9
22	7.4	0	12.3	20.6	2.4	-4.9	0.0	0	31	4.10	6.3	54.6	9.9
24	0.8	0	8.9	15.8	-6.0	-17.3	0.0	0	40	1.10	4.6	30.9	7.3
28	-3.5	0	2.4	9.8	-19.0	-23.2	0.0	0	48	2.40	5.2	17.5	7.1
35	2.5	0	9.2	18.4	-11.8	-13.4	0.0	0	37	2.60	5.2	26.9	7.9
Среднее квадратическое отклонение													
3	10.8	200	12.8	10.7	8.9	12.4	20.8	-	15	1.06	3.0	75.0	8.1
9	9.9	191	12.6	9.7	9.1	9.2	19.8	7	39	3.76	4.3	96.1	11.0
14	10.1	232	10.8	8.6	10.0	10.7	16.9	-	13	1.01	2.8	71.9	7.2
18	9.4	228	10.0	8.0	8.4	9.7	30.9	-	15	0.19	2.6	93.3	45.3
22	10.5	196	11.3	10.5	10.0	11.8	29.2	-	12	0.78	3.0	67.5	7.6
24	11.7	191	12.4	11.0	10.2	12.5	9.7	-	10	0.49	2.8	78.2	7.3
28	10.6	205	10.4	8.6	10.7	11.3	27.3	-	15	0.62	2.9	89.2	7.3
35	10.6	205	10.4	8.6	10.7	11.3	27.3	-	15	0.62	2.9	89.2	7.3

2.5 Составление графиков орошения, оросительные потребности нетто и глубина корнеобитаемой зоны

В программе WUFMAS основным принципом составления графиков орошения является запись суточного испарения (E_0) с испарителя класса А, на основе которой затем с помощью коэффициентов рассчитывается эвапотранспирация эталонной культуры (ET_0) и эвапотранспирация сельхозкультуры (ET_c). Полив необходимо проводить тогда, когда суммарная величина эвапотранспирации за все прошедшие со дня полива дни будет равна объёму легко доступной почвенной влаги в корнеобитаемой зоне.

Запас доступной почвенной влаги (AWC) – это объём влаги, содержащейся в почве между величинами натяжения почвенной влаги при $pF = 2.2$ и $pF = 4.2$, что соответствует влажности в почве при предельной полевой влагоёмкости и влажности в точке устойчивого завядания. Легко доступная влага в почве (RAM) – это та доля запаса почвенной влаги в корнеобитаемой зоне, которая может быть истощена культурой без каких либо экономически значимых потерь урожая. Поэтому объём легко доступной почвенной влаги является функцией глубины корнеобитаемой зоны, коэффициента истощения (D) и запаса доступной влаги в почве (AWC). Запас доступной почвенной влаги измерялся в лаборатории САНИИРИ и эти величины приводятся в Таблице 4, а средневзвешенные величины этого запаса для различных глубин корнеобитаемой зоны по всем демонстрационным полям приводятся в

Таблице 7. В таблице также приводятся величины легко доступной почвенной влаги для различных глубин корнеобитаемой зоны и диапазон коэффициентов истощения, подходящих для хлопчатника, от 50 до 65 процентов.

Таблица 7 Оросительные потребности нетто в мм для различной глубины корней и коэффициента истощения по демонстрационным полям

Как пользоваться таблицей: Здесь приводятся примерные оросительные потребности нетто (в мм) по каждому демонстрационному полю в зависимости от глубины корней культуры и максимально допустимого процента истощения запаса доступной почвенной влаги в корнеобитаемой зоне (D). Величина D для хлопчатника должна быть 50-60% в течение максимального вегетативного роста, 65% в течение пика цветения, 50-60% в течение пика наполнения коробочек и 65% в течение созревания коробочек. Величины AWC взяты по лабораторным анализам образцов почвы в 1999 году.

№ хоз-ва	№ поля	Коеф-т истощен (%)	Глубина корнеобитаемой зоны (см)												
			30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
3	1		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			78	96	113	115	118	123	126	128	130	131	132	133	134
		50	12	19	28	34	41	49	57	64	71	79	86	93	101
		55	13	21	31	38	46	54	62	70	78	87	95	103	111
		60	14	23	34	41	50	59	68	77	86	94	103	112	121
	65	15	25	37	45	54	64	73	83	93	102	112	121	131	
9	2		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
		50	19	25	31	37	43	50	56	62	68	74	81	87	93
		55	20	27	34	41	48	55	61	68	75	82	89	95	102
		60	22	30	37	45	52	60	67	74	82	89	97	104	112
	65	24	32	40	48	56	64	73	81	89	97	105	113	121	
14	5		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			80	80	77	75	74	73	73	73	72	72	72	72	72
		50	12	16	19	23	26	29	33	36	40	43	47	50	54
		55	13	18	21	25	28	32	36	40	44	48	51	55	59
		60	14	19	23	27	31	35	39	44	48	52	56	60	64
	65	16	21	25	29	34	38	43	47	52	56	61	65	70	
18	7		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			113	113	113	114	121	131	138	144	148	151	154	156	158
		50	17	23	28	34	42	52	62	72	81	91	100	110	119
		55	19	25	31	38	46	58	68	79	90	100	110	120	131
		60	20	27	34	41	51	63	75	86	98	109	120	131	143
	65	22	29	37	44	55	68	81	93	106	118	130	142	154	
22	10		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			78	77	75	76	77	78	79	81	81	81	80	80	80
		50	12	15	19	23	27	31	36	40	45	48	52	56	60
		55	13	17	21	25	30	34	39	44	49	53	57	62	66
		60	14	18	23	27	32	37	43	48	54	58	63	67	72
	65	15	20	24	29	35	41	46	53	58	63	68	73	78	
24	9		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			96	105	114	116	119	123	126	129	130	132	133	134	134
		50	14	21	29	35	42	49	57	64	72	79	86	94	101
		55	16	23	31	38	46	54	63	71	79	87	95	103	111
		60	17	25	34	42	50	59	68	77	86	95	104	112	121
	65	19	27	37	45	54	64	74	84	93	103	112	122	131	
28	9		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			78	78	78	87	100	102	98	96	94	92	91	90	89
		50	12	16	20	26	35	41	44	48	52	55	59	63	67
		55	13	17	21	29	38	45	49	53	57	61	65	69	74
		60	14	19	23	31	42	49	53	57	62	67	71	76	80
	65	15	20	25	34	45	53	58	62	67	72	77	82	87	
34	1		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			78	96	113	115	118	123	126	128	130	131	132	133	134
		50	12	19	28	34	41	49	57	64	71	79	86	93	101
		55	13	21	31	38	46	54	62	70	78	87	95	103	111
		60	14	23	34	41	50	59	68	77	86	94	103	112	121
	65	15	25	37	45	54	64	73	83	93	102	112	121	131	
35	10		Средневзвешенная величина AWC (мм/м)												
			134	134	132	130	129	129	130	130	131	131	132	132	
		50	20	27	33	39	45	52	58	65	72	79	85	92	99
		55	22	29	36	43	50	57	64	72	79	86	94	101	109
		60	24	32	40	47	54	62	70	78	86	94	102	110	119
	65	26	35	43	51	59	67	76	85	93	102	111	120	128	

Величина запаса легко доступной почвенной влаги (RAM) – это тот объём воды на день полива, который был поглощён культурой из корнеобитаемой зоны со дня последнего полива (или выпадения осадков) и поэтому эта величина и является поливной потребностью нетто. Истощение почвенной влаги определяется ежедневно полевыми работниками и поэтому подсчитать поливную потребность нетто довольно легко. В Таблице 7 приводятся величины поливных потребностей нетто в зависимости от глубины корней и коэффициента

истощения в качестве руководства, так как поливная потребность является одной из исходных величин для расчётов элементов техники полива по программе ПУМА.

При расчёте графика орошения необходимо учитывать подпитку корнеобитаемой зоны за счёт капиллярного подъёма влаги из грунтовых вод, которая также идёт на покрытие потребностей растения в воде. На большинстве из демонстрационных полей уровень грунтовых вод высокий, что ещё больше затрудняет демонстрацию выгоды от научного подхода к организации и проведению поливов. При составлении суточного водного баланса поля для определения подпитки из грунтовых вод используется модифицированное уравнение Лактаева (см отчёт по программе WUFMAS за 1997 год).

2.6 Ограничения для использования тензиометров

Использование тензиометров по-видимому является распространённой концепцией в Центральной Азии, как альтернативная основа для составления графиков орошения. Во всём мире тензиометры широко используются в системах капельного орошения. Они также используются при составлении графиков орошения овощных культур. С помощью тензиометра можно непосредственно измерять натяжение почвенной влаги и по предварительно определённой зависимости между показанием тензиометра и содержанием влаги в этой конкретной почве можно определять содержание влаги на момент измерения. Основным недостатком тензиометра, кроме того, что требуются навыки и время для его установки на поле, является максимальная величина натяжения влаги, которую можно измерять с их помощью. И хотя круглая шкала тензиометра обычно проградуирована до 100 миллибар, воздух, выделяющийся из растворённого состояния, образует в водном столбе пузырьки и искажает отсчёт при величине сосущей силы почвы свыше примерно 800 миллибар. Эта критическая величина снижается с увеличением высоты над уровнем моря примерно на 11 миллибар на каждые 100 метров увеличения высоты.

Таблица 8 Ограничения по применению тензиометра для определения сроков полива хлопчатника на демонстрационных полях программы WUFMAS

Номер хозяйства	3	9	14	18	22	24	28
Название хозяйства	Джамбул	Садыков	им. 1-го Мая	Мургаб	Талашкан	Тимур Малик	Шортанбай
Область	Юж-Казахстан	Ошская	Ленинабадская	Марыйская	Сурхандарьинс	Сырдарьинская	Каракалпакия
Республика	Казахстан	Киргизстан	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан	Узбекистан	Узбекистан
Номер поля	1	2	2	7	10	9	9
Дата взятие отсчёта	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997
Глубина взятия отсчёта (см)	70	70	70	30	30	70	70
Высотное положение хозяйства (м)	257	954	300	240	390	280	75
Лимит показания тензиометра (мбар)	821	743	816	823	806	819	842
Мехсостав почвы по USBR	ZL	ZL	fLS	fSL	ZCL	L	ZL
Мехсостав почвы по Качинскому	средн суглинки	тяжёл суглинки	супесь	супесь	лёгкие глины	средн суглинки	средн суглинки
Запас доступной влаги (мм/м)	165	143	140	115	124	135	80
Натяжение почвенной влаги (в мбар) при:							
Истощение AWC равно 50%	2080	1958	1290	1250	1869	1194	795
Истощение AWC равно 55%	2561	2358	1572	1562	2345	1488	975
Истощение AWC равно 60%	3130	2811	1917	1959	2914	1861	1201
Истощение AWC равно 65%	3799	3316	2340	2464	3585	2335	1482
Натяжение почвенной влаги (по pF) при:							
Истощение AWC равно 50%	3.33	3.30	3.12	3.11	3.28	3.09	2.91
Истощение AWC равно 55%	3.42	3.38	3.21	3.20	3.38	3.18	3.00
Истощение AWC равно 60%	3.50	3.46	3.29	3.30	3.47	3.28	3.09
Истощение AWC равно 65%	3.59	3.53	3.38	3.40	3.56	3.38	3.18
Лимит показания тензиометра (по pF)	2.93	2.89	2.91	2.92	2.91	2.94	2.93
Лимит показания тензиометра по D (в %)	30	28	38	40	33	42	51

Максимально допустимый процент истощения (D%) запаса доступной влаги (AWC) в корнеобитаемой зоне для оптимального режима орошения

Ячмень	55	Травы	50	Картофель	25
Бобовые	45	Арахис	40	Сафлор	60
Свекла	50	Латук	30	Сорго	55
Капуста	45	Кукуруза-зерно	60	Соя	50
Морковь	35	Кукуруза-силос	50	Клубника	15
Хлопчатник	65	Бахчевые	35	Сахар свекла	50
Огурцы	50	Лук	25	Томаты	40
Сады	50	Горох	35	Овощи	20
Виноград	35	Перец	25	Пшеница	55

Литература: Инструкция по CROPWAT, ФАО Материалы по ирр и дренажу № 45

На Рис.3 в качестве примера приводится распечатка результатов расчётов по программе, написанной в Excel, по определению величины натяжения почвенной влаги при разных величинах истощения запаса доступной почвенной влаги для хозяйства №18. В Таблице 8 для семи демонстрационных полей хлопчатника показаны величины натяжения почвенной влаги, рассчитанные по этой программе на основании водно-физических характеристик почвы и для различных коэффициентов истощения почвенной влаги.

В последней строчке Таблицы 8 для семи демонстрационных полей показаны максимальные величины отсчётов тензиометра, до которых можно определять натяжение почвенной влаги без ошибок. Эти величины даны в виде допустимых процентов истощения запаса доступной почвенной влаги (AWC). За исключением демонстрационного поля в Каракалпакстане, которое является рисовым чеком, на всех остальных полях полив хлопчатника должен проводиться при такой величине натяжения почвенной влаги, которая находится за пределами шкалы измерения тензиометра. В таких условиях использование тензиометров для определения дня полива приведёт в результате к слишком частым поливам и, соответственно, к большим затратам. На практике же, в канале просто может не быть воды, а поливальщики без дополнительной оплаты не будут проводить поливы так часто. Ниже под Таблицей 8 по инструкции ФАО приводятся величины коэффициентов истощения (D) запаса доступной влаги для различных культур и по этим коэффициентам можно видеть, что в этих хозяйствах с помощью тензиометров можно составлять графики орошения только для овощных культур и фруктовых садов.

2.7 Компьютерная программа ПУМА (МИРОБ-А) для расчёта элементов техники полива

В этом отчёте не раскрывается уравнение Маннинга, и, конечно же, не даётся методика решения этого уравнения с пятью переменными величинами, изменяющимися одновременно. Эта методика подробно рассматривается в Инструкции ФАО по ирригации и дренажу №45. На стадии проектирования длину борозд и их уклон можно изменять в определённых пределах, которые определяются значительной стоимостью и техническими возможностями при планировке, когда необходимо перемещать большие объёмы земли. В качестве краткосрочной меры можно уменьшить длину борозд с помощью нарезки поперёк поля дополнительных ок арыков, изменить ширину междурядий и форму поперечного сечения борозд и увеличить глубину развития корней с помощью глубокого рыхления почвы. Ко времени проведения полива эти исходные элементы техники полива уже неизменны и поливальщик может изменять только расход воды, подаваемый в борозду (Q л/сек), и продолжительность подачи воды в борозду (t часов) от открытия и до закрытия воды. Необходимо примерно определить величину коэффициента шероховатости по Маннингу (n), величина которого может изменяться от 0.04 для шероховатой (сразу после культивации) поверхности почвы до 0.02 для сглаженной поверхности почвы, либо дождём, либо поливом. Если борозды заросли сорняками или в них имеются гальки (после смыва мелкозёма), то величина коэффициента шероховатости может быть намного больше, до 0.15.

Компьютерная программа ПУМА, написанная в Excel, для расчёта элементов техники полива, работающая с помощью сервисной программы «Поиск решения», была подготовлена иностранным консультантом в 1998 году для агентства Мироб в рамках ирригационного компонента проекта модернизации хлопководства, финансировавшегося Всемирным Банком. На Рис 4 приводится пример, иллюстрирующий исходные данные, необходимые для расчётов, и результаты расчётов. Преимущество сервисной программы «Поиск решения» состоит в том, что она быстро находит решение методом итерации, изменяя при этом две величины, расход в борозде и продолжительность подачи воды в борозду, до тех пор, пока не будет достигнуто такое сочетание этих двух переменных, которое позволит достичь максимального КПД полива поля.

В Приложении 1 по каждому демонстрационному полю приводятся результаты расчётов по программе ПУМА с использованием различной длины борозд, их уклонов и поливных потребностей нетто. Все эти величины называются критериями водопользования или элементами техники полива.

3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПРАКТИКИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

3.1 Уклоны и длина борозд

По данным обследования демонстрационных полей, борозды на **всех** из них слишком длинные, с очень неравномерными уклонами, и при том как они поливались раньше, невозможно повысить КПД поливов. Проектная длина борозд изменяется от 125 метров в хозяйстве №18 Мургаб в Марыйской области Туркменистана до почти 600 метров в хозяйстве №3 Джамбул в Южно Казахстанской области Казахстана. Ещё больше проблем с неравномерностью уклонов борозд. Много полей как правило разделяются на меньшие участки временными полевыми каналами (ок арыками), что тем самым укорачивает длину борозд.

Большинство полей имеют неприемлемо неровные поверхности земли и нарезка дополнительных ок арыков не может решить проблему во всех случаях. Демонстрационные поля в хозяйствах №18 и №35 в Марыйской и Бухарской областях имеют почти горизонтальную поверхность, а иногда борозды имеют уклоны в противоположных направлениях на одном и том же поле, что делает почти невозможным проведение поливов с высоким КПД. Длинные борозды на демонстрационном поле в хозяйстве №3 Джамбул имеют подъём в начале и в конце поля и его необходимо разделить ок арыками на более короткие участки, а в середине поля остаётся бессточное понижение. Демонстрационное поле в хозяйстве №22 Талашкан в Сурхандарьинской области делится гребнем напополам и ещё до приезда на это поле членов РРГ ок арык уже был нарезан по этому гребню для того, чтобы можно было поливать вторую часть поля. Демонстрационное поле в хозяйстве №34 Яккатут в Ферганской области имеет самую ровную поверхность, но мехсостав почвы на второй половине поля меняется и полевые работники разделили поле ок арыком примерно напополам. Это было также предложено как необходимая мера во время семинара в марте по результатам предварительных расчётов по программе ПУМА.

Два демонстрационных поля в хозяйстве №9 им. Садыкова в Ошской области и в хозяйстве №14 им 1-го Мая в Ленинабадской области имеют крутые, но сравнительно равномерные уклоны, особенно в хозяйстве им 1-го мая. Оба эти поля невозможно поливать с высоким КПД при существующей длине их борозд и поэтому они были разделены на участки несколькими ок арыками. Во время семинара в марте было рекомендовано, что при уклонах борозд более 3 процентов поле в Ошском хозяйстве нельзя поливать с высоким КПД, если только не нарезать грядки наискосок по склону. Но когда наблюдатель вернулся в хозяйство после семинара, поле было уже засеяно по рядкам, нарезанным как обычно, вдоль склона. Ещё до прибытия членов РРГ в это хозяйство наблюдатель понял необходимость деления борозд ок арыком пополам, но его убедили в необходимости разделить полученные борозды ещё раз пополам с помощью нарезки дополнительных двух ок арыков. Во время семинара в марте наблюдателю демонстрационного поля в Ленинабадской области, где длина борозд составляет 400 м с уклоном более 2-х процентов, было рекомендовано поделить борозды на более короткие участки, нарезав по крайней мере три ок арыка. Эти ок арыки были нарезаны ещё до проведения первого полива и работники хозяйства признали, что таким образом поливать это поле стало легче, но для нижней части поля было рекомендовано нарезать дополнительно ещё один ок арык.

Демонстрационное поле в хозяйстве №24 Тимур Малик Сырдарьинской области было обследовано членами РРГ до сева. Поверхность этого поля оказалась очень неровной в результате плохой вспашки. Директор хозяйства согласился предоставить трактор Кейс Магнум и переделать прицепное устройство на нём для использования длинно-базисного планировщика и глубокого рыхлителя почвы. Поверхность демонстрационного поля с помощью этих операций была выровнена, но она всё ещё далека от идеальной. Поперёк уклона поля было произведено глубокое рыхление с интервалом 1 метр. Но поскольку во время проведения рыхления почвы была влажная, вполне вероятно что плужная подошва была разрушена не полностью. После первого полива местами на поле по линиям прохода рыхлительного органа появились небольшие «воронки». Однако в пять раз большую

величину установившейся скорости инфильтрации на демонстрационном поле по сравнению с контрольным полем можно считать достаточным основанием для проведения глубокого рыхления, кроме этого намного лучший рост хлопчатника на этом поле также очевиден.

3.2 Продолжительность полива и расход воды в борозде

При условии, что поле поливается в оптимальный для этого день, в Таблице 7 приводятся величины поливных потребностей нетто в зависимости от глубины корней и коэффициента истощения почвенной влаги, соответствующего стадии развития культуры. По мере роста растений корни проникают всё глубже и пропорционально возрастают поливные потребности нетто. В то же время, интервал между поливами может удлиняться, если только не будет возрастать суточная эвапотранспирация культуры., что может иметь место вплоть до конца июля. Из-за наличия уплотнённых подпахотных горизонтов на большинстве полей нельзя ожидать развития корней глубже 0.7 метра, за исключением хозяйства №14. Поэтому поливные потребности нетто не будут превышать примерно 60 мм, если только культура не была подвергнута водному стрессу в результате проведения полива намного позже идеального для этого дня.

Из приведённых в Приложении 1 величин элементов техники полива видно, что продолжительность полива является обратной функцией расхода воды в борозде и прямой функцией поливной потребности нетто. С другой стороны расход воды в борозде в значительной степени является функцией скорости инфильтрации, а также уклона, длины и формы поперечного сечения борозды. Наличие обратной зависимости между продолжительностью подачи воды в борозду и её расходом означает, что если согласно другим условиям необходимо уменьшить до минимума расход воды в борозде, то продолжительность полива будет намного больше. Это иллюстрируется в Таблице 9 на примере средних величин элементов техники полива по восьми хозяйствам.

Таблица 9 Средние величины элементов техники полива на демонстрационных полях программы WUFMAS (для величины поливной потребности нетто 60 мм, n = 0.04)

№ хоз-ва	№ поля	Длина борозды (м)	Уклон борозды	Расход воды в борозде (л/сек)	Время полива (час)	КПД полива (Еа %)
3	1	280	0.0006	1.56	6.3	42
9	2	50	0.0230	0.17	19.3	23
14	5	80	0.0250	0.26	7.2	65
18	9	60	0.0005	0.36	6.1	41
22	10	150	0.0025	0.99	18.4	12
24	9	90	0.0010	0.25	9.2	59
34	1	140	0.0025	0.46	5.7	54
35	10	120	0.0001	0.33	22.0	25

Источник: результаты расчётов по программе ПУМА с использованием средних величин элементов техники полива поля.

Примечание: на демонстрационном поле хоз-ва №28 выращивается рис и для расчётов нельзя использовать программу ПУМА

При той же самой поливной потребности нетто 60 мм продолжительность полива изменяется от 6.3 часа с расходом в борозде 1.56 л/сек (хозяйство №3) до 19.3 часа с расходом в борозде 0.17 л/сек (хозяйство №9). Однако заметьте, что в хозяйстве №34 требуется не намного меньшая продолжительность полива по сравнению с хозяйством №3, но при этом расход в борозде в хозяйстве №34 составляет только небольшую часть от расхода в борозде в хозяйстве №3, а в хозяйстве №22 продолжительность полива почти равна продолжительности полива в хозяйстве №9, но с гораздо большим расходом в борозде. Поэтому, из-за сложности зависимости между элементами техники полива поля и наивысшим КПД полива, невозможно в обобщённом виде представить элементы техники полива различных полей.

На демонстрационном поле хозяйства №22 невозможно проводить поливы с высоким КПД и это является исключительным случаем, потому что программа ПУМА не может найти

решение для этого поля. Причина заключается в сочетании сравнительно крутых уклонов поверхности поля и низкой скорости инфильтрации. Невозможно достичь адекватного полива культуры не снизив скорость воды в борозде, и поэтому для снижения скорости воды в борозде рекомендуется наложить камыша в ближайших дренах и уложить его на дно борозд. Это увеличивает коэффициент шероховатости по Маннингу (n) и позволяет программе ПУМА найти решение, результаты которого показаны в таблице 9.

3.3 Размывающая скорость в борозде

Основным ограничением для программы ПУМА при решении уравнения Маннинга является максимальная не размывающая скорость воды в борозде, которую нельзя превысить во избежание эрозии почвы. Программа ПУМА рассчитывает скорость воды в борозде по её расходу и геометрическим характеристикам борозды. По системе классификации бюро мелиорации США (USBR) частицы почвы с размерами от 0.05 до 0.002 мм относятся к фракции пыли, частицы с размерами меньше 0.002 мм относятся к фракции ила и их не надо путать с местными классами частиц почвы по определению Качинского. Типичные почвы Центральной Азии имеют высокое содержание фракций пыли и низкое содержание фракций ила и во влажном состоянии такие почвы сильно подвержены эрозии. Скорость воды в борозде более 8м/мин является размывающей скоростью. Почвы с содержанием фракции ила встречаются редко, но для таких почв максимальная не размывающая скорость может быть увеличена до 13м/мин.

Эрозия является серьёзным фактором, ограничивающим поиск решения для нескольких демонстрационных полей, но более всего это очевидно на демонстрационных полях в хозяйствах №9 и 14, где самые крутые уклоны поверхности земли. По прибытии членов РРГ в хозяйство №8 на демонстрационном поле были явно видны следы эрозии после последнего полива. На дне борозд были видны гальки и гравий, а более мелкие частицы почвы были смыты. В данном случае такую ситуацию можно назвать саморегулирующейся, поскольку эти оставшиеся гальки и гравий будут замедлять скорость воды в борозде и сведут к минимуму дальнейшую эрозию, пока не будет проведена следующая междурядная культивация.

3.4 КПД полива поля

В виду тех серьёзных ограничений по возможностям для улучшения практики водопользования на демонстрационных полях программы WUFMAS, которые уже обсуждались выше, перспективы достижения целей по водосбережению в 1999 году нельзя назвать обнадеживающими. Даже если бы полевые работники в точности следовали рекомендуемым величинам элементов техники полива, расчётные величины КПД полива поля E_a на большинстве полей всего лишь умеренные, а в некоторых случаях низкие. Только на одном опытном поле в хозяйстве № 14 на коллювиальных склонах реки Сырдарьи в Таджикистане, где по прошлым оценкам величина КПД (E_a) была очень низкой, при хорошей организации поливов можно достичь КПД полива поля более 60 процентов.

Основная причина низких расчётных величин КПД полива поля E_a – это неглубокая корневая система хлопчатника в регионе Центральной Азии. Из таблиц с элементами техники полива, приведённых в Приложении 1, можно видеть, что величина КПД (E_a) резко увеличивается с увеличением поливной нормы нетто. В условиях, когда корневая система хлопчатника в редких случаях превышает глубины 70 см, поливные потребности нетто, как это уже объяснялось выше, редко когда будут превышать норму в 60 мм. Если бы была возможность обеспечить условия для более глубокого развития корней, то тогда потребности воды нетто на полив могли бы достичь или превысить 100 мм и потенциальные величины КПД полива также заметно бы увеличились. Это является самой большой проблемой в увеличении КПД полива поля в республиках Центральной Азии.

Другим фактором, который заметно влияет на КПД полива поля, является длина борозд. Оптимальная длина борозд в основном намного короче, чем это традиционно принято в регионе. Однако ясно, что средняя длина борозд является оптимальной, так как при очень коротких бороздах величина КПД полива поля снижается.

3.5 Водопользование при выращивании риса

Во время приезда членов РРГ в хозяйство № 28 Шортанбай в Каракалпакстане чеки для риса были уже хорошо подготовлены, за исключением того, что не было сделано уплотнение почвы в чеке для снижения потерь воды на глубокое просачивание. По расчётам иностранного консультанта, сделанным в 1995 году, величина этих потерь составляет 12 мм в сутки, а снижение глубины воды на рисовом демонстрационном поле в течение мая 1999 года с 300 мм до 200 мм подтверждает, что эти потери составляют 11 мм в сутки. За период в 150 дней потери на глубокое просачивание достигнут 18 тысяч кубометров воды на гектар, что в три раза больше потребности риса на эвапотранспирацию. Даже без потерь на конечной сброс, величина которых в многоводные годы бывает значительной, величина КПД (Еа) составляет меньше 25 процентов.

Рис был посеян в мае разбрасыванием не проросших семян в рисовом чеке с глубиной 200 мм очень холодной воды. Во время посещения поля две недели спустя после сева, как и следовало ожидать, не было никаких признаков появления всходов, а информация, полученная позже, подтвердила, что всхожесть была очень низкая. Такую агрономическую практику нельзя назвать приемлемой для высокопродуктивного производства риса в районах с коротким вегетационным периодом.

3.6 Каким образом полевым работникам надлежит осуществлять эти рекомендации?

Кроме выполнения выше приведённых рекомендаций по нарезке временных ок арыков и укорачиванию борозд, поливальщикам надо ещё объяснить, что продолжительность полива и расход воды в борозде на каждом участке поля должны быть оптимальными. Наблюдателю рекомендуется установить небольшие вешки в тех местах на поле, где длина борозды и/или уклон значительно изменяются и на каждой такой вешке прикрепить табличку с указанием величин этих параметров. Когда будет просчитана поливная потребность нетто для следующего полива, на этих табличках можно будет указать соответствующие величины продолжительности полива и расход в борозде для данного участка поля.

Продолжительность полива борозды от открытия воды и до её закрытия будет нетрудно соблюсти, так как у всех имеются часы. Однако, эти рекомендации серьёзно противоречат общепринятой практике в регионе, согласно которой полив продолжается до того момента, когда поливальщику будет удобно закрыть воду. Для соблюдения требующейся продолжительности полива необходимо будет организовать строгое наблюдение.

На практике очень трудно регулировать расход воды в борозде до предписываемой величины. Для измерения расхода воды в борозде в каждое хозяйство было поставлено несколько водосливов Томсона, но для получения точной величины расхода необходим минимальный перепад между горизонтами воды перед и за водосливом. Это условие не соблюдается на нескольких полях с более или менее горизонтальной поверхностью. Поэтому важно также измерять расходы воды с помощью имеющихся водосливов Чиполетти в подводящем канале или ок арыке, подающем воду на блок одновременно поливаемых борозд. Этот расход в подводящем канале, разделённый на предписываемый расход воды в борозде даёт количество борозд, которое можно поливать одновременно. Такую проверку необходимо делать даже в том случае, если в отдельных бороздах установлены водосливы Томсона.

Водоподача на рисовые чеки является более простой, но при этом нужно быть осторожным и сводить к минимуму сброс воды из чеков. Это особенно относится к тому району, где расположено демонстрационное поле, так как вода из чеков здесь сбрасывается в основном прямо в дренажную систему, а не из чека в чек.

3.7 Ограничения по использованию этих рекомендаций

В конечном счёте от наблюдателей потребуется, как это было объяснено на семинаре в марте, чтобы они понимали, что величины всех этих рекомендуемых параметров хороши

только в качестве предварительных исходных параметров для ввода в программу ПУМА. Эта модель чувствительна к величинам параметров Костякова-Льюиса и эти параметры всё еще адекватно не измерены. Модель также чувствительна к параметрам, зависящим от формы поперечного сечения борозды, и от коэффициента шероховатости по Маннингу. Для подготовки настоящих рекомендаций были взяты предположительные величины этих параметров. Калибровка величин расходов воды в борозде должна будет проводиться полевыми работниками и затем эти данные будут использоваться, в тех случаях когда это возможно, для корректировки использованных величин параметров и затем будет подготовлен третий пакет рекомендаций.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Элементы техники полива и рекомендации по проведению поливов
на демонстрационных полях