



12

выпуск

**Систематизация методов
водосбережения
на основе опыта стран
и прежних проектных проработок**

Ташкент - 2015

**Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия
Центральной Азии**

Научно информационный центр

В.И. Соколов, М.Г. Хорст

**Систематизация методов водосбережения
на основе опыта стран Центральной Азии
и прежних проектных проработок**

Ташкент 2015 г.

Содержание

Введение	5
1. Источники проблем	6
2. Пути решения вопросов водосбережения на уровне водоподачи	9
3. Пути решения вопросов водосбережения на уровне использования воды	13
4. Основные определения термина – «эффективность» при оценках систем орошения	14
5. Основные критерии оценки эффективности водосбережения на уровне поля	15
6. Полевая оценка возможностей снижения требований на воду в условиях центральной части Ферганской долины	17
7. Оценка уровней возможного водосбережения в орошаемом земледелии	20
7.1 Зависимости урожайности сельхозкультур от водопотребления	20
7.2 КПД техники полива в зависимости от применяемой технологии полива	22
7.3 КПД оросительной сети (от водовыдела до орошаемых полей)	27
8. Оценки требуемых инвестиций на водосберегающие технологии в сопоставлении с возможной прибылью	37
Ссылки	43

Введение

В последние десятилетия человечество осознало нарастание проблем глобального масштаба, связанных с интенсификацией использования водных ресурсов. Сегодня уже не секрет, что пресные водные ресурсы на Земле, хотя и имеют свойство возобновления в процессе глобального круговорота воды, но их доля, пригодная для использования ограничена – то есть, человечество с ростом населения и экономического развития столкнулось с нарастанием дефицита водных ресурсов. Этот глобальный феномен отягощен еще и процессами изменения климата. Нарастание дефицита водных ресурсов, пригодных для обеспечения всех видов потребностей общества и природы происходит повсеместно, но в отдельных регионах мира этот процесс идет весьма интенсивно. Одним из таких регионов является Центральная Азия.

В чем суть нарастания дефицита водных ресурсов в Центральной Азии? Особенность ситуации последних десятилетий в водном хозяйстве нашего региона заключается в том, что объем спроса на воду превышает (особенно в маловодные периоды) объем технически доступных водных ресурсов в источниках (реках). На фоне роста численности населения и роста социально-экономических нужд, это создает проблемы при обеспечении общей водной безопасности, и, в частности, для продуктовой и экологической составляющих этой безопасности¹.

Одно из приоритетных решений этих проблем – реализация мер водосбережения и рационального водопользования. В Центральной Азии главным потребителем водных ресурсов является орошаемое земледелие, которое использует 88-91 % общих располагаемых водных ресурсов. Поэтому, далее говоря о водосбережении, мы будем подразумевать его именно в контексте орошаемого земледелия.

Также следует иметь в виду, что главным приоритетом совершенствования водного хозяйства стран Центральной Азии является внедрение принципов интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР). Водосбережение, в свою очередь, является ключевым принципом ИУВР. Сложившаяся концепция ИУВР в Центральной Азии рассматривает аспекты интеграции двух главных компонентов процесса управления водными ресурсами – а) забор воды из источника и доставка ее до потребителей, б) рациональное использование воды потребителем или пользователем исходя из их нужд и целей.

Таким образом, ясно, что исходя из вышеописанного контекста (ИУВР в орошаемом земледелии) наша задача заключается в систематизации основных задач и опыта водосбережения в рамках двух последовательных компонентов

¹ Экологическая проблема - изменение природной среды в результате антропогенных воздействий, ведущее к нарушению структуры и функционирования природных систем (ландшафтов) и приводящее к деградации почв и изменения биоразнообразия и других компонентов экосистем.

процесса управления водными ресурсами. Во-первых, необходимо систематизировать опыт водосбережения в процессе забора воды из источников и ее доставки до потребителей, где приоритетной задачей является оптимизация непродуктивных потерь воды. Во-вторых, систематизировать опыт водосбережения в процессе использования воды, где приоритетными являются: меры экономии оросительной воды, повышение эффективности использования оросительной воды, улучшение продуктивности использования воды и земли и др.

В Центральной Азии в указанных направлениях уже сделано немало, особенно в последние десять-пятнадцать лет, что является следствием стабилизации экономики и начала общего экономического роста. Поэтому, для выработки конкретной программы усиления МКВК в вопросах водосбережения на перспективу целесообразно провести систематизацию уже накопленного опыта – как отправной точки будущей программы действий.

1. Источники проблем

Итак, отправная точка систематизации мер водосбережения в орошаемом земледелии Центральной Азии – разделение их на две части:

- меры водосбережения при доставке воды потребителям
- меры водосбережения при использовании воды.

Сегодня за доставку воды потребителям в орошаемом земледелии отвечает государство, которое представлено водохозяйственным ведомством со всеми его структурами, имеющими на своем балансе всю огромную инфраструктуру забора, хранения и доставки воды до границы конечного водопотребителя. Государство, помимо обеспечения орошаемого земледелия требуемыми (целесообразными) объемами воды, заинтересовано в снижении издержек, связанных с транспортировкой и отводом излишне забраных объемов воды и перераспределением высвобождающейся воды между другими отраслями экономики с учетом требований экологии. То есть, Государство должно быть заинтересовано в снижении объема забираемой из источника воды, повышении эффективности транспортировки воды до водопотребителей, что очень важно при отсутствии платного водопользования в некоторых странах (Узбекистан и Туркменистан).

Новая проблема, которая появилась в регионе в последние несколько лет – попытки Государства переложить часть ответственности за доставку воду на Ассоциации водопотребителей (АВП) – (Кыргызстан, Узбекистан, Таджикистан). Здесь требуется определенная поддержка Государства всему процессу становления АВП и передачи части ответственности за эксплуатацию межхозяйственной оросительной сети на их плечи. Требуется выработка приемлемого финансового механизма функционирования АВП и их

взаимоотношений как с вышестоящими водохозяйственными органами в цепочке подачи воды, так и с фермерами, которые формируют финансовый потенциал АВП, являясь конечными потребителями услуг по подаче воды. Соответственно, нужны инструменты и стимулы водосбережения на уровне АВП.

Основная цель сельхозпроизводителей (конечных пользователей воды) – получение максимального дохода от сельхозпроизводства на орошаемых землях. Поэтому, как водопотребители они не имеют прямых стимулов для водосбережения, особо при отсутствии платного водопользования. Однако, как уже отмечалось выше, в Центральной Азии идет нарастание дефицита водных ресурсов, главным образом за счет роста спроса на воду всех видов водопотребления и водопользования. Поэтому, сельхозпроизводители свою главную цель должны достигать в условиях лимитированного водопользования, при котором они реально получают в среднем 80-90 % от потребного объема воды. Лимитированное водопользование, имеющее место в Узбекистане и отчасти в Туркменистане сегодня играет главную роль в стимулировании водопотребителей к водосбережению и рациональному использованию воды. Следует помнить, однако, что этот мощный рычаг водосбережения при неразумном использовании может отрицательно повлиять на мелиоративное состояние орошаемых земель. Дальнейшая мобилизация стимулов к водосбережению на уровне водопотребителей в орошаемом земледелии будет происходить при переходе к экономическим механизмам (плата за услуги по подаче воды) и мерах по управлению спросом на воду. Следует также отметить, что в тех странах, где нет лимитированного водопользования (Казахстан, Кыргызстан и частично - Таджикистан), и где внедрен механизм платного водопользования для сельхозпроизводителей на орошаемых землях – этот механизм еще не является достаточно сильным стимулом для водосбережения.

В орошаемом земледелии стран Центрально-Азиатского региона происходят изменения, связанные с процессом реструктуризации сельского и водного хозяйства. Безусловно, они затрагивают и сферу управления водными ресурсами – в части доставки воды потребителям. Здесь следует указать проблемы, с которыми столкнулись органы водного хозяйства:

- Возросшее на несколько порядков число самостоятельных водопотребителей;
- Автоматический переход значительной части бывшей внутрихозяйственной оросительной сети в межхозяйственную-межфермерскую (на уровне АВП);
- Сегодня нет четких инструментов увязки различных уровней водоподачи с позиции сокращения потерь воды на стыках иерархии (из-за несогласованности требований на воду и водоподачи, слабости информационного механизма увязки);
- Очень низок уровень мониторинга водоподачи и водоотведения, что привело к снижению достоверности учёта воды. Это также отражается на слабой эффективности механизмов платного водопользования;

- Изменилась структура посевных площадей (особенно масштабное увеличение площадей озимой пшеницы), что отразилось на режиме орошения;
- Изменения режима орошения отразились на условиях эксплуатации оросительных систем (водоподача осуществляется без остановки круглый год).

Следует иметь в виду, что оросительные системы и, особенно на массивах нового освоения, прежде проектировались исходя из устанавливаемой директивными органами определенной структуры севооборота, т.е. в расчете на определенный расчетный гидромодуль. Нынешнее, зачастую стихийное изменение структуры посевов без учета возможностей пропускной способности оросительной сети, провоцирует снижение водообеспеченности и, как следствие, продуктивности орошаемых земель.

Все указанные проблемы на уровне водоподачи усугубляются на фоне ограниченных возможностей по широкомасштабной модернизации магистральных и межхозяйственных оросительных систем.

Вставка: Водохозяйственная система Центральной Азии получила в наследство две совершенно различные системы по потенциальному уровню использования вод:

- Системы нового орошения с КПД 0.70...0.75 с определенными элементами новой техники полива и совершенного дренажа, с удельными расходами воды брутто около 10 тыс. м³/га
- Системы старого орошения с оросительной сетью в земляных руслах с КПД 0.56...0.60, с открытыми дренами и коллекторами, с удельными расходами воды брутто 15...17 тыс. м³/га

В тоже время, системы нового орошения требовали на поддержание в работоспособном состоянии систематического выделения значительных средств и материальных затрат. В последние двадцать лет, в результате несвоевременного и не в полном объеме финансирования эксплуатационных затрат на поддержание систем в работоспособном состоянии, системы нового орошения постепенно пришли к уровню несовершенных систем. Однако, положение в этих бывших «новых» системах оказалось хуже, чем в старых, ибо они не были приспособлены к существованию в нынешних сложнейших условиях, т.к. требуют больше средств на свое восстановление и обеспечение нормальной работы.

Водохозяйственные организации должны не только изыскать средства для их восстановления, но и найти технические решения, как и в каком виде восстанавливать эти системы.

Низшим звеном водохозяйственного комплекса в орошаемом земледелии – где происходит использование воды – являются фермерские хозяйства. От того насколько эффективно и продуктивно используется вода на этом уровне и

насколько экономически целесообразны затраты воды на производимый урожай в значительной степени зависит эффективность всего водохозяйственного комплекса орошаемого земледелия.

В этой связи, важен поиск таких решений по повышению эффективности использования оросительной воды на орошение сельхозкультур, которые могли бы дать эффект преимущественно за счет четкого планирования и управления водными ресурсами на внутрихозяйственном уровне. Вместе с тем, необходима оценка целесообразности применения более совершенных способов орошения, таких как капельное, дождевание, внутрипочвенное в тех природно-хозяйственных условиях и при тех составах сельхозкультур, при которых эффект водосбережения может быть проявлен наиболее существенно в процессе применения этих способов.

На уровне использования воды вырисовывается достаточно широкий круг вопросов, которые требуют решения:

- Нужна приемлемая система планирования водораспределения и водопользования на уровне АВП – фермер;
- Требуется уточнение гидромодульного районирования и норм водопотребления сельхозкультур;
- Оптимизация мелиоративных режимов на фоне реального состояния дренажа и техники полива;
- Развитие навыков агротехнических приемов, повышающих плодородие почв;
- Внедрение совершенных способов орошения;
- Повышение материальной заинтересованности водопотребителей в экономии воды – переход от погектарной оплаты за услуги по водоподаче к оплате за услуги из расчета поданного объема воды.

Необходимо иметь в виду, что водосбережение это не только технологический процесс, но в значительной мере институциональный, неразрывно связанный с дальнейшим распространением принципов ИУВР.

2. Пути решения вопросов водосбережения на уровне водоподачи

В 2005 году НИЦ МКВК предложил определенную систематизацию мер по предотвращению потерь воды на различных уровнях водохозяйственной иерархии [Духовный В.А., и др., 2005] -см. таблицу 2.1.

Таблица 2.1

**Причины потери продуктивности воды на оросительных системах
и меры по их устранению**

Уровень иерархии	Причина потерь воды	Меры по предотвращению	
		тип	описание
Бассейн	Неустойчивость головного водозабора и водоотведения вследствие:		
	• политических трений (верховья-низовья);	юридический	Соглашения
	• нарушения плановых графиков водоподачи;	организационный	создание органа или выработка порядка регулирования;
	• перебора воды на вышерасположенных водозаборах;	юридический технические	• соглашения и штрафы; • повышение точности распределения системой SCADA
	• недоучета потерь вверху;	технический	организация учета воды и потерь
	• нестабильности источника водоподачи	технический	регулирование водоподачи подпитка из дренажных вод
	• бесконтрольности за распределением	технический	организация систем водоподачи и вододеления
Система каналов	• отсутствие системы планирования распределения и диспетчеризация	технический	• подготовка и внедрение правил управления; • моделирование плана и его корректировка
	• отсутствие дисциплины водораспределения и планирования	организационный технические	• правила водоучета и контроля; • внедрение ГИС и плана водопользования
	• перебор воды сверх графика	организационные, экономические	• штрафные санкции
	• отсутствие учета воды	технические	• внедрение гидрометрии; • внедрение SCADA; • создание информационной системы;

Уровень иерархии	Причина потерь воды	Меры по предотвращению	
		тип	описание
	отсутствие порядка распределения	технические	- внедрение водооборота; - привлечение всех видов вод
АВП	стохастичность и неупорядоченность требований	технические меры	- план водопользования; - метод распределения между группами; - методы водооборота (Варабанди и т.д.)
	отсутствие баланса водоподачи и учета воды	технические меры	- внедрение средств учета; - информационная система; - диспетчеризация
	заинтересованность в водосбережении	финансовые меры	- премии работникам АВП; - штрафы и льготы; - система оплаты ВХО
	отсутствие четкости в плане полива	технические	- суточное планирование и корректировка водоподачи; - прогноз системы требований на воду
Хозяйство	отсутствие плана водопользования	технический	обучение и планирование водопользования
	непригодность схемы полива	технический	рекомендации по технике и способам полива
	недоучет погодных колебаний	технический	консультативные службы
	неравномерность увлажнения	технический	ГИС, рекомендации по выравниванию урожая
	потеря урожая из-за мелиоративного состояния земель	технический	улучшение работы дренажа

Принято считать, что основа борьбы против нерационального водопользования на водохозяйственных системах заключается в повышении КПД систем двух типов: технического и организационного. Повышение технического КПД водоподводящих систем достигается, как всем известно, путём ликвидации утечек в сети, борьбы с фильтрацией в оросительных каналах облицовкой или переводом земляных каналов в трубы, лотки, внедрением автоматизации и т.д. Повышение организационного КПД достигается путём недопущения сбросов, холостых прогонов воды по каналам, ликвидацией несанкционированных водозаборов, строительством внутри системных водохранилищ, улавливающих излишнюю подачу, а также бассейнов суточного регулирования, выравнивающих суточную неравномерность водоподачи и водозабора.

Однако, не меньшее внимание следует уделить ликвидации неравномерности распределения воды между ветвями каналов меньшего порядка или между водопользователями. Любой распределительной системе, и водохозяйственной в

том числе, свойственна энтропия, которая тем более, чем больше ступеней иерархии и меньше степень регулирования и ограничений. Для водохозяйственных систем характерно также нарастание степени отклонения от средней величины водообеспеченности по мере удаления от источника воды. Таким образом задача уменьшения непродуктивных затрат воды сводится в сети к максимальной организации порядка и контроля работы эксплуатационных органов.

Особое значение имеют показатели качества управления. В рамках проекта «ИУВР-Фергана» разработана и внедрена информационная управляющая система (ИУС) на уровне магистрального канала, включающая модели планирования водораспределения, компьютерные программы и базу данных (БД) и позволяющая рассчитывать, в частности, показатели качества управления водоподачей и водораспределением [Духовный В.А. и др., 2009]. Предложены в частности следующие показатели:

$$\text{Коэффициент водообеспеченности} = \frac{\text{Фактическая водоподача}}{\text{Плановая}} \quad (2.1)$$

Оптимальным (с биологической точки зрения) является случай, когда коэффициент водообеспеченности равен единице. Коэффициент водообеспеченности на практике не всегда точно отражает степень обеспеченности сельхозкультур в воде. Коэффициент водообеспеченности², в зависимости от цели анализа, рассчитывается различных уровней водной иерархии сверху до низу, включая конечных пользователей.

Коэффициент суточной стабильности может определяться на отдельный отвод, как:

$$\text{КСС} = 1 - \frac{\text{среднеквадратическое отклонение внутрисуточных наблюдений расходов воды относительно среднесуточного расхода воды}}{\text{среднесуточный расход воды}} \quad (2.2)$$

Максимальное значение коэффициента стабильности равно единице.

Коэффициент декадной стабильности аналогично определяется для отдельного отвода в канал:

$$\text{Коэффициент декадной стабильности} = 1 - \frac{\text{Среднеквадратическое отклонение среднесуточных расходов воды относительно среднедекадного расхода}}{\text{Среднедекадный расход воды}} \quad (2.3)$$

² Коэффициенты водообеспеченности, стабильности, равномерности и др. являются безразмерными. Чтобы выразить коэффициенты в % надо увеличить их на 100.

Коэффициент равномерности водоподачи

Рассчитывается для отвода или группы отводов (хозяйство, АВП, район, область и т.д.)

$$\text{Коэффициент равномерности водоподачи} = 1 - \frac{\text{Абсолютное значение разности между водообеспеченностью отвода (или группы отводов) и водообеспеченностью канала}}{\text{Водообеспеченность канала}} \quad (2.4)$$

Основополагающим принципом водораспределения, вытекающим из принципа социальной справедливости, в настоящее время является - принципе пропорциональности. Критерием оценки справедливости фактического распределения воды между водопользователями является коэффициент равномерности водоподачи. Максимальное значение коэффициента равномерности равно единице. Чем выше коэффициент равномерности, тем справедливее происходит процесс водораспределения из канала.

$$\text{Коэффициент равномерности водоподачи из канала} = \text{среднеарифметическое значение коэффициентов равномерности водоподачи водопользователей канала} \quad (2.5)$$

3. Пути решения вопросов водосбережения на уровне использования воды

Общеизвестный спектр совершенных водосберегающих технологий на уровне фермера включает лазерную планировку поверхности поливных участков, капельное орошение и фронтальное дождевание. Эти технологии позволяют снизить водопотребление на 10-40 % по сравнению с традиционным бороздковым поливом. Однако, перечисленные способы повышения эффективности использования водных ресурсов требуют значительных капиталовложений, для окупаемости которых необходимо по мнению специалистов повышение урожайности не менее, чем на 30%.

Создание в широких масштабах систем дождевания и капельного орошения пропашных сельхозкультур сопряжено с большими капитальными затратами и эксплуатационными издержками, связанными с необходимостью создания искусственных напоров. В каждом конкретном случае для принятия решения о создании таких систем необходимы тщательные технико-экономические обоснования и, помимо этого, принципиальные изменения в технологических картах на возделывание сельхозкультур. Возможные перебои в подаче электроэнергии делают эти системы уязвимыми с позиции гарантированности систематического орошения.

Приемы уменьшения безвозвратных потерь на уровне «хозяйство-поле», влияющих на продуктивность орошения, в современных условиях, ограничены повсеместным распространением в бассейне Аральского моря самотечных оросительных систем, обуславливающих применение поверхностных способов полива в связи с незначительным командованием уровней воды в оросителях над орошаемой площадью. Поверхностные способы орошения, как известно, имеют определенные ограничения в достижении высоких значений КПД и равномерности увлажнения по площади.

Вместе с тем, системы поверхностного полива из самотечных оросительных систем продолжают играть важную роль в орошаемом сельском хозяйстве Региона, хотя целый ряд этих систем не дают желаемые экономические результаты, недостаточно эффективны с позиций использования водных, почвенных и трудовых ресурсов, оказывают отрицательное влияние на окружающую среду.

Актуальны достоверная оценка приемов водосбережения, ориентированных на реальную социально-экономическую ситуацию и возможности фермеров улучшить характеристики орошения (эффективность использования поливных норм - E_a и равномерность распределения оросительной воды – DU) доступными им средствами и без существенных инвестиций в оросительную сеть, т.е. главным образом за счет повышения уровня управления водой и качества полива.

4. Основные определения термина – «эффективность» при оценках систем орошения

Оценка эффективности систем поверхностного орошения для ее четкой определенности фокусируется в зависимости от цели предпринимаемой оценки. Так, если оценивать эффективность орошения на уровне одного поля, то она и, особенно, в условиях повышенных уклонов, может быть ниже, чем на уровне хозяйства, так как образующиеся при поливе сбросы оросительной воды, могут использоваться на других полях этого же хозяйства. Аналогично эффективность орошения в контурах гидрологических бассейнов аридных регионов, как правило, выше, чем в отдельных хозяйствах [Burt, 1987].

В обзоре, представленным Профессором Л.С.Перейрой и его соавторами [Pereira at al., 2002], рассмотрены концептуальные подходы к определению эксплуатационных характеристик орошения, водопользования и водосбережения и предлагается использовать соответствующую унифицированную терминологию в зависимости от целей оценок.

Термину КПД или эффективности оросительной системы или ее подсистемы соответствует соотношение между объемом воды, доставленным рассматриваемой подсистемой и объемом воды, поставленным этой подсистеме [Wolters, 1992; Bos, 1997; Pereira, 1999]. Однако, когда целью является совершенствование управлением требованиями на орошение и необходимо

оценить надежность и гибкость водоснабжения, одного этого понятия эффективности не достаточно.

Часто употребляемым термином эффективности является термин – эффективность использования оросительной воды (WUE). В соответствие с этим термином, эффективность определяется как соотношение между биомассой сельхозкультуры или урожаем и объемом воды, затраченным на сельхозкультуру, включая осадки, или поданной оросительной водой, или транспирацией культуры [Oweis et al., 1998; Zhang et al., 1998; Oweis & Zhang, 1998; Zhang & Oweis, 1999]. Причем, иногда термин WUE используется как синоним эффективности использования поливной нормы (АЕ, %) или эффективности орошения, хотя по смыслу таковым не является.

Во избежание путаницы в используемой терминологии Л.С.Перейра предлагает ограничить использование этого термина лишь в качестве показателя продуктивности растений, применяемого физиологами растений при оценке соотношения между нормами ассимиляции и транспирации. В качестве же термина, характеризующего эффективность орошения по отношению к урожайности сельхозкультур, наиболее соответствует смыслу термин - продуктивность использования воды (WP).

Термину же эффективность орошения, наиболее соответствует, определение его как соотношения между количеством воды, потребляемым орошаемой сельхозкультурой, и количеством воды, поданным в оросительную систему [Лактаев, 1978; Jensen, 1996], делая различие между используемой водой и потребляемой водой.

5. Основные критерии оценки эффективности водосбережения на уровне поля

При анализе эффективности предлагается рассматривать три критерия:

- КПД техники поверхностного полива ($E_{a(irrigation)}$), этот показатель характеризует эффективность использования оросительной воды в процессе вегетационных поливов при данной технике полива на данном поле:

$$E_{a(irrigation)} = (W_{field(veg)} - TLo_{s(DP)} - TLo_{s(tail\ end)}) / W_{field(veg)} \quad (5.1)$$

где

$E_{a(irrigation)}$	- КПД техники поверхностного полива
$W_{field(veg)}$	- водоподача на поле в период вегетации, м ³ /га;
$TLo_{s(DP)}$	- потери воды на глубинную инфильтрацию за пределы корнеобитаемой зоны, м ³ /га;
$TLo_{s(tail\ end)}$	- потери на поверхностный сброс за пределы поля, м ³ /га;

- Эффективность использования оросительной воды на уровне поля в период вегетации ($Ea_{field(veg)}$). Этот показатель характеризует эффективность использования оросительной воды в процессе вегетационных поливов, с учетом возврата в виде капиллярной подпитки с поверхности грунтовых вод в корнеобитаемый слой, части оросительной воды, профильтровавшейся при поливах ниже границы корнеобитаемой зоны:

$$Ea_{field(veg)} = (Ea_{(irrigation)} * W_{field(veg)} + Ge_{(Ir)}) / W_{field(veg)} \quad (5.2)$$

где

$Ea_{field(veg)}$ - эффективность использования оросительной воды (поданной в период вегетационных поливов) на уровне поля.

$Ge_{(Ir)}$ - возврат оросительной воды в виде капиллярной подпитки корнеобитаемой зоны с поверхности грунтовых вод, м³/га;

Такое разделение введено для того, чтобы расчленить безвозвратные для водопотребления хлопчатника на поле-индикаторе потери на поверхностный сброс ($TLos_{(tail\ end)}$) и глубинную инфильтрацию ($TLos_{(DP)}$) от части потерь оросительной воды на глубинную инфильтрацию, которая возвращается в виде капиллярной подпитки корнеобитаемой зоны с поверхности грунтовых вод ($Ge_{(Ir)}$). Эти «относительно полезные» потери (в условиях нормальной дренированности) присущи поверхностному орошению и участвуют в водопотреблении сельхозкультур. Таким образом, общая эффективность использования оросительной воды на уровне поля в условиях существования подпитки из грунтовых вод выше КПД техники полива. Однако, при планировании водоподачи на уровне поля, необходимо ориентироваться на КПД техники полива.

Этот показатель зависит от применяемых способа и техники полива, уклона поля в направлении полива (для поверхностных способов орошения) и водопроницаемости почвогрунтов.

- Общая эффективность использования оросительной воды на уровне поля ($Ea_{field(TOTAL)}$). Этот показатель характеризует степень соответствия полной водоподачи на поле (влагозарядка+вегетационные поливы) требованиям сельхозкультуры на орошение, т.е. водопотреблению сельхозкультурой на достигнутый уровень урожайности за вычетом суммы эффективной части атмосферных осадков за вегетационный период. Этот критерий близок по определению предложенному M.G.Bos [Bos and other, 1994]:

$$Ea_{field(TOTAL)} = CIWR / W_{field(TOTAL)} \quad (5.3)$$

где:

$Ea_{field(TOTAL)}$ - эффективность использования оросительной нормы;

$CIWR$ - требования сельхозкультуры на орошение, м³/га;

$W_{field(TOTAL)}$ - объем поданной на поле воды (брутто), м³/га.

6. Полевая оценка возможностей снижения требований на воду в условиях центральной части Ферганской долины

На основе предварительных исследований характеристик орошения [Хорст и др., 2005], были проведены полевые исследования четырех, приведенных на Рис.6.1 и в Таблице 6.1., вариантов полива хлопчатника по установлению связей «вода-урожай».

Сравнивались варианты дискретного регулирования водоподачи с непрерывной водоподачей и полив с чередованием поливаемых и сухих междурядий с поливом в каждую борозду:

- ЕС - полив постоянной струей в каждую борозду;
- ES - дискретный полив в каждую борозду;
- AC - полив постоянной струей через борозду (чередование поливаемых и сухих борозд);
- AS - дискретный полив через борозду (чередование поливаемых и сухих борозд).

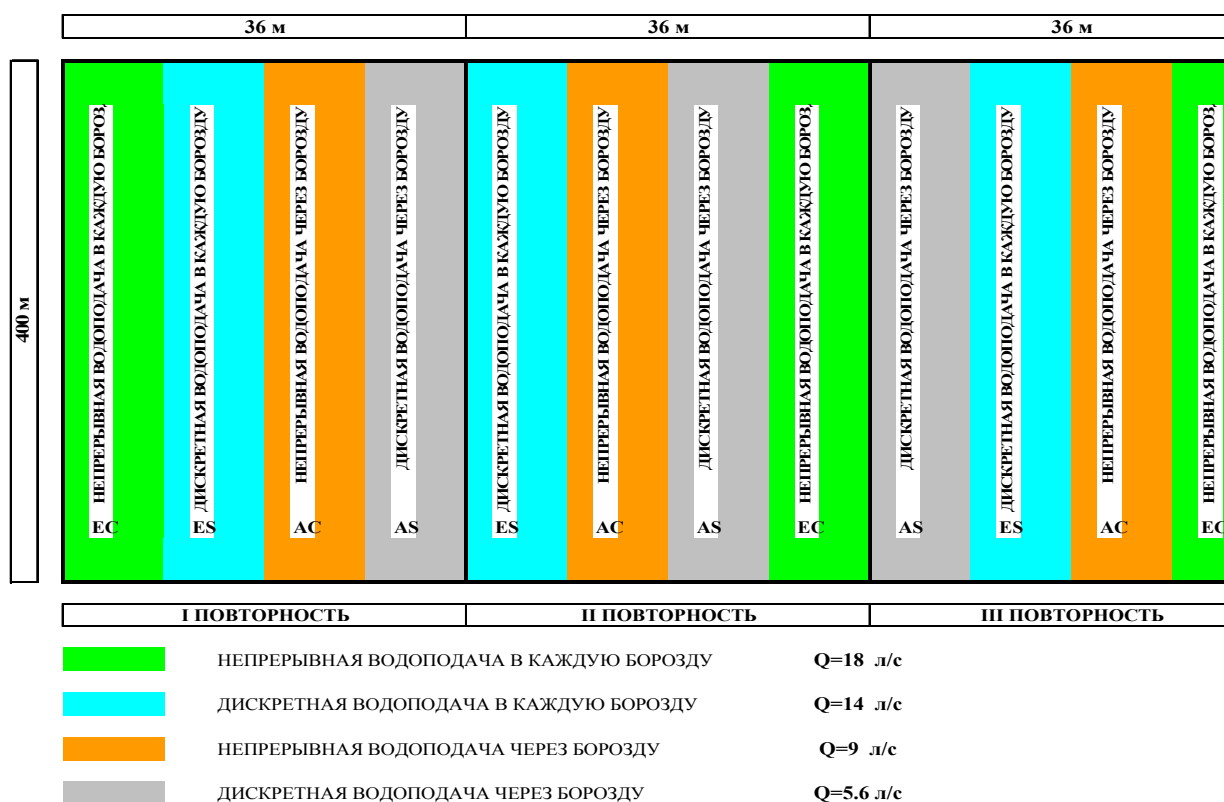


Рис. 6.1. Схема полевого опыта по оценке различных способов полива

Каждый из вариантов относился к различной схеме организации бороздкового полива. Каждый из вариантов отрабатывался в трех повторностях, площадь под каждой из повторностей составляла 0.36 га. Число вегетационных поливов во всех вариантах в период с 15.06. по 12.09. - шесть.

Таблица 6.1

Затраты воды (D), фактическая урожайность (Y_a) и продуктивность использования воды (WP) при четырех способах полива хлопчатника

Схемы полива	D	Изменения водоподачи относительно среднего	Y _a	Изменения урожайности относительно среднего	WP	Изменения продуктивности оросительной воды относительно среднего
	(м ³ /га)	(%)	(кг/га)	(%)	(кг/м ³)	(%)
ЕС	8813	31	3391	9	0.38	-20
ES	6925	3	3041	-2	0.44	-8
АС	6225	-7	2988	-4	0.48	0
АС	4922	-27	3010	-3	0.61	28
Среднее	6721		3108		0.48	

Наибольшая продуктивность использования оросительной воды WP = 0.61 кг/м³ соответствовала варианту дискретный полив с чередованием поливаемых и сухих междурядий (АС), где также использовалось меньше воды, а урожай относительно среднего для всех вариантов уменьшился лишь на 100 кг. В сравнении с вариантом традиционного полива непрерывной струей в каждую борозду (ЕС) вариант АС использовал на 3890 м³/га (44 %) меньше, а урожайность уменьшилась лишь на 380 кг/га (11 %).

На вариантах ES и АС использовалось практически одинаковое количество воды и получены близкие показатели урожайности и продуктивности использования воды.

Доля потребленной оросительной воды от использованной на уровне поля за вегетационный период WCF_(field), представляющая долю водопотребления сельхозкультурой от общего объема использованной воды [Pereira et al., 2002a] определялось из следующего соотношения:

$$WCF_{(field)} = \frac{ET_a}{(D + P)} \quad (6.1)$$

где относящиеся к вегетационному периоду:

ET_a – фактическое водопотребление хлопчатника (мм), обеспечивающее урожайность хлопчатника Y_a;

D – суммарный слой водоподачи (мм);

P – атмосферные осадки (мм); все.

Учитывая, что для почв Ферганской долины требуется промывная доля **LF**, доля полезно используемой воды **BWUF_(field)** может быть представлена как:

$$BWUF_{(field)} = \frac{ET_a \left(1 + \frac{LF}{100}\right)}{(D + P)} \quad (6.2)$$

где **LF** соответствует приблизительно 5 % для большинства почв орошаемых земель Ферганской Долины..

Сравнение оценок показателей **WCF_(field)** и **BWUF_(field)** для варианта полива непрерывной струей в каждую борозду (EC) с вариантами полива через борозду (AC) и полива через борозду с дискретным регулированием водоподачи (AS) приведено в таблице 6.2.

Также включено соотношение **ET_a/ET_{max}**, где **ET_{max}** – водопотребление хлопчатника на максимальный уровень урожайности (**ET_{max}** = 693 мм в соответствии с расчетами [Э.Чолпанкулов и соавторы, 2005];

Y_a – фактическая урожайность (кг/га); и **Y_{max}** – максимальная урожайность районированных сортов хлопчатника в Центральной части Ферганской долины (3 600 кг/га).

Таблица 6.2

Сравнительная эффективность использования воды на уровне поля при поливе в каждую борозду и через борозду

Варианты полива	ET _a (мм)	ET _a /ET _{max} (%)	Y _a (кг/га)	Y _a /Y _{max}	D (мм)	P (мм)	WCF _(field)	BWUF _(field)
EC	598	86	3 391	0.94	881	70	0.63	0.66
AC	480	69	2 988	0.83	623	70	0.69	0.72
AS	480	69	3 010	0.84	492	70	0.85	0.89

Наивысшие значения долей продуктивного водопотребления и полезно использованной воды соответствовали варианту дискретный полив с чередованием поливаемых и сухих междурядий (AS), соответственно 0.85 и 0.89 при относительном дефиците ET в 31 % и относительном снижении урожайности в 16 %. Следующие лучшие результаты относятся к варианту непрерывного полива с чередованием поливаемых и сухих междурядий (AC), показывающему аналогичные относительное ET и относительную урожайность, но более низкие значения **WCF_(field)** и **BWUF_(field)**.

Эти результаты показывают явное преимущество полива с чередованием поливаемых и сухих междурядий перед поливом в каждую борозду, а также преимущество дискретной водоподачи перед непрерывной.

7. Оценка уровней возможного водосбережения в орошаемом земледелии

Перечень информации необходимой для оценок уровней возможного водосбережения в орошаемом земледелии включает следующие данные:

- Метеоданные для лет различной водообеспеченности (сухих, средневодных и влажных)
- Зависимости урожайности сельхозкультур от водопотребления
- КПД техники полива в зависимости от применяемой технологии полива
- КПД оросительной сети (от водовыдела до орошаемых полей).

7.1 Зависимости урожайности сельхозкультур от водопотребления

Величина оросительной нормы обычно (при нормальной обеспеченности другими факторами сельхозпроизводства) рассчитывается на получение высоких урожаев. На основе обработки опытных данных по орошению хлопчатника в различных физико-географических условиях Центральной Азии В.Р. Шредером [1977] была получена зависимость урожая хлопчатника от оросительной нормы $Y_{\text{факт}}/Y_{\text{max}}=f(M_{\text{факт}}/M_{\text{max}})$, аналогичные зависимости получены Г.Х. Хасанхановой [1999] для кукурузы (на зерно) и люцерны (рис.7.1). По этим кривым можно прогнозировать вероятное снижение урожайности в зависимости от водообеспеченности (при нормальной обеспеченности другими факторами сельхозпроизводства).

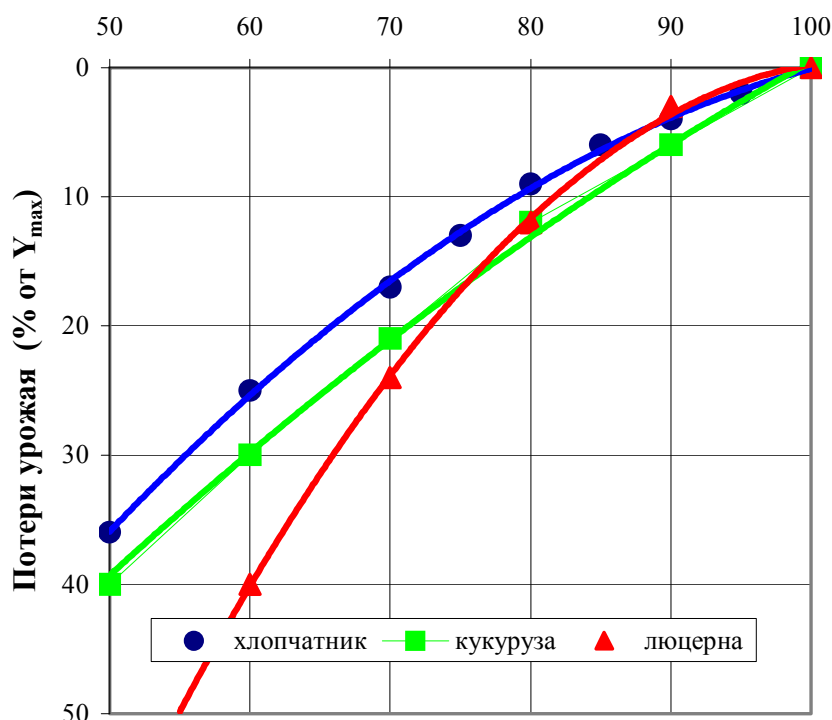


Рис.7.1. Зависимости потерь урожая от водообеспеченности

Однако, поскольку в этих зависимостях используются относительные величины, необходимо оценивать суммарное испарение сельхозкультуры при конкретном литологическом строении почвогрунтов и в зависимости от значений метеозлементов в выбранный для расчетов период. Для оценки суммарного испарения хлопковым полем — ET_{cotton} в условиях III гидромодульного района (легкие и средние суглинки (пылеватые) при глубоком залегании грунтовых вод) В.Р.Шредером [1977] на основании материалов многолетнего изучения суммарного испарения с хлопковых полей была установлена довольно тесная связь ($R^2=0.91$) суммарного испарения (эвапотранспирации) с испаряемостью (ф-ла.6.1):

$$ET_{cot\ ton} = \frac{E_0^{1.58}}{31.62} \quad (7.1)$$

Где

ET_{cotton} - суммарное испарение, мм/месяц;
 E_0 - испаряемость (примерно равная суммарному испарению эталонной сельхозкультуры³ ET_0), мм/месяц.

³ эвапотранспирация с гипотетической эталонной травяной поверхности с предполагаемой высотой 0,12 м, активно растущей в условиях неограниченного водного питания

Для возможности сравнения водопотребления сельхозкультур, возделываемых на почвах с различными водно-физическими свойствами В.Р.Шредером [1977] предложено использовать коэффициент увеличения значений ET_{cotton} , рассчитанных для III гидромодульного района (таблица 7.1).

Таблица 7.1

**Коэффициент увеличения значений ET_{cotton} , рассчитанных
для III гидромодульного района**

#	Литологическое строение почвогрунтов	Коэффициент увеличения значений, рассчитанных для III гидромодульного района
I	Мощные (>1 м) песчаные; маломощные (0.2–0.5 м) суглинистые на песчано-галечниковых отложениях и супесчаные на гипсах	1.14
II	Мощные супесчаные; среднемощные (0.5-1.0 м) суглинистые на песчано-галечниковых отложениях и гипсах	1.10
III	Легко- и среднесуглинистые (пылеватые); суглинистые, облегающиеся к низу	1.00
IV	Среднесуглинистые (плотные) и тяжелосуглинистые; суглинистые, утяжеляющиеся к низу	0.86
V	Глинистые; резкослоистые с наличием глин	0.75

7.2 КПД техники полива в зависимости от применяемой технологии полива

При оценках расчетной эффективности применяемой техники полива рекомендуется использовать показатели эффективности различных способов полива в оптимальных условиях их применения, приведенные в таблице 7.2. Основываются они на данных многолетних исследований САНИИРИ.

Таблица 7.2

КПД техники полива в зависимости от применяемой технологии полива

№	Особенности технологии орошения	КПД техники полива (%)
1	Обычный бороздковый полив	65
2	Полив через междурядье на суглинистых и глинистых почвах	73
3	Дискретный полив без применения специального оборудования при уклоне поля 0.005 м/м	75
4	Многоярусный полив на супесчаных и легкосуглинистых почвах	80
5	Планировка земель полосами под горизонтальную поверхность или под уклон <0.0005	85
6	Дискретный полив с применением специального оборудования и планировкой поверхности поля	85
7	Дождевание на автоморфных почвах	85
8	Капельное орошение	95
9	Внутрипочвенное орошение	98

Первые пять способов полива не требуют для осуществления специального оборудования, хотя в пятом способе – «полив по горизонтально спланированным полосам», необходима предварительная высококачественная планировка поверхности. Диапазон возможного водосбережения относительно обычного бороздкового полива для этих способов от 13% до 20%. При чем при все они применимы и на землях подверженных засолению, т.к. позволяют осуществлять при необходимости промывной режим орошения. Последние три способа высокоэффективны (рис.7.3), но предъявляют жесткие требования к качеству оросительной воды (мутность, минерализация), т.е. применимы в узком диапазоне природных условий, кроме того предъявляют специфические требования к организации поливных участков.

Из приведенных данных (таб. 7.2 и 7.3) видно, что наибольший потенциал водосбережения соответствует внутрипочвенному орошению. Высокая эффективность этого способа полива (на 33% выше обычного полива по бороздам) достигается за счет отсутствия потерь на физическое испарение с поверхности почвы и возможности осуществление дозированной, равномерной водоподачи в корневую зону растений.

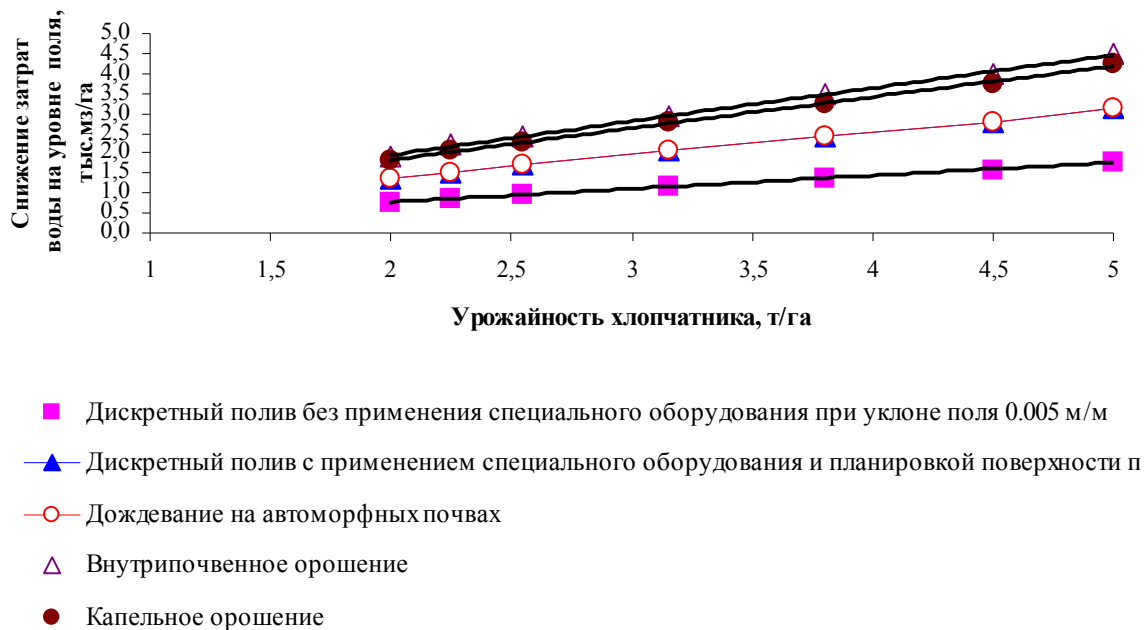


Рис. 7.3. Снижение затрат оросительной воды на уровне поля в сравнении с обычным поливом по бороздам в зависимости от способа орошения

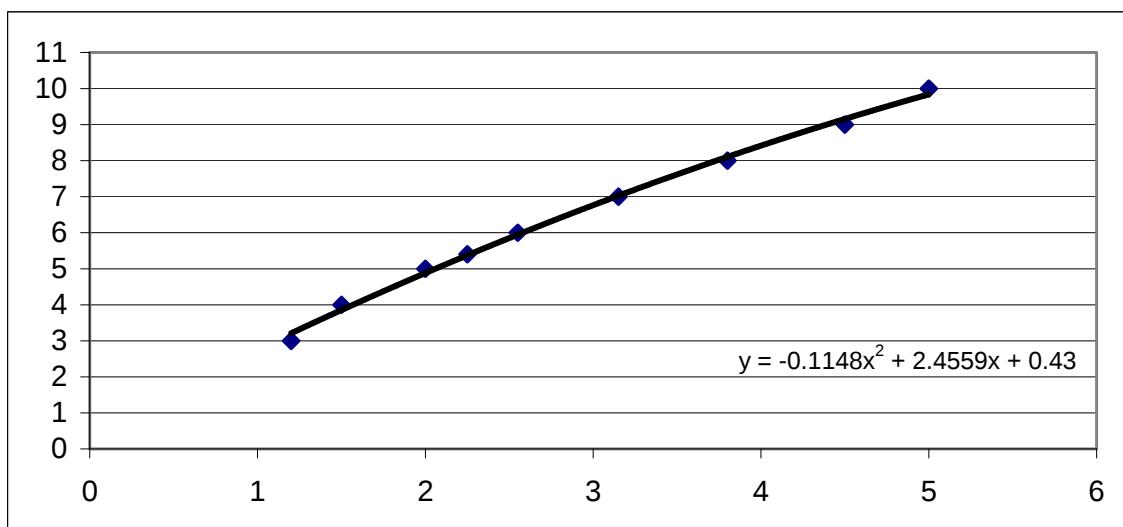


Рис. 7.4. Связь водопотребления (W тыс.м³/га - вертикальная ось) и урожайности хлопчатника (тонн/га - горизонтальная ось) в III гидромодульном районе по данным Н.Т. Лактаева

Таблица 7.3

**Оценка возможного водосбережения (на уровне поля) относительно обычного бороздкового полива
в зависимости от применяемых способов совершенствования полива и урожайности хлопчатника
(III гидромодульный район)**

№№ вариантов	Особенности технологии орошения	Параметры	Ед.изм.	Урожайность хлопчатника, т/га (ц/га)									
				1	1,2	1,5	2	2,25	2,55	3,15	3,8	4,5	5
				10	12	15	20	22,5	25,5	31,5	38	45	50
1	Обычный бороздковый полив	W (водопотребление)	тыс.м³/га	2,3	3	4	5	5,4	6	7	8	9	10
		M _{нт} (оросительная норма-нетто)	тыс.м³/га	1	1,7	2,7	3,7	4,25	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
		КПД техники полива	доля	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
		M _{бр}	тыс.м³/га	1,54	2,62	4,15	5,69	6,54	7,23	8,77	10,31	11,85	13,38
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³	0,65	0,46	0,36	0,35	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,37
2	Дискретный полив без применения специального оборудования при уклоне поля 0.005 м/м	КПД	доля				0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
		M _{бр}	тыс.м³/га				4,93	5,67	6,27	7,60	8,93	10,27	11,60
		Снижение затрат воды	тыс.м³/га				0,76	0,87	0,96	1,17	1,37	1,58	1,78
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³				0,41	0,40	0,41	0,41	0,43	0,44	0,43
3	Дискретный полив с применением специального оборудования и планировкой поверхности поля	КПД	доля				0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
		M _{бр}	тыс.м³/га				4,35	5,00	5,53	6,71	7,88	9,06	10,24
		Снижение затрат воды	тыс.м³/га				1,34	1,54	1,70	2,06	2,43	2,79	3,15
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³				0,46	0,45	0,46	0,47	0,48	0,50	0,49
4	Полив через междурядье на суглинистых и глинистых почвах	КПД	доля				0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
		M _{бр}	тыс.м³/га				5,07	5,82	6,44	7,81	9,18	10,55	11,92
		Снижение затрат воды	тыс.м³/га				0,62	0,72	0,79	0,96	1,13	1,30	1,47

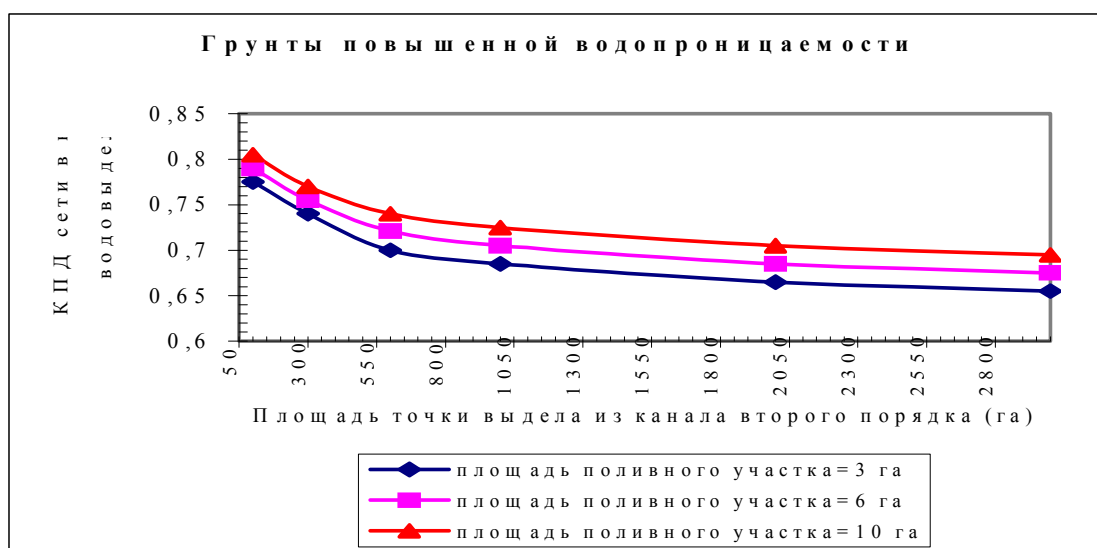
№№ вариантов	Особенности технологии орошения	Параметры	Ед.изм.	Урожайность хлопчатника, т/га (ц/га)									
				1	1,2	1,5	2	2,25	2,55	3,15	3,8	4,5	5
				10	12	15	20	22,5	25,5	31,5	38	45	50
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³				0,39	0,39	0,40	0,40	0,41	0,43	0,42
5	Многоярусный полив на супесчаных и легкосуглинистых почвах	КПД	доля				0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
		М _{бр}	тыс.м³/га				4,63	5,31	5,88	7,13	8,38	9,63	10,88
		Снижение затрат воды	тыс.м³/га				1,07	1,23	1,36	1,64	1,93	2,22	2,51
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³				0,43	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47	0,46
6	Дождевание на автоморфных почвах	КПД	доля				0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
		М _{бр}	тыс.м³/га				4,35	5,00	5,53	6,71	7,88	9,06	10,24
		Снижение затрат воды	тыс.м³/га				1,34	1,54	1,70	2,06	2,43	2,79	3,15
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³				0,46	0,45	0,46	0,47	0,48	0,50	0,49
7	Внутрипочвенное орошение	КПД	доля				0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
		М _{бр}	тыс.м³/га				3,78	4,34	4,80	5,82	6,84	7,86	8,88
		Снижение затрат воды	тыс.м³/га				1,92	2,20	2,43	2,95	3,47	3,99	4,51
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³				0,53	0,52	0,53	0,54	0,56	0,57	0,56
8	Капельное орошение	КПД	доля				0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
		М _{бр}	тыс.м³/га				3,89	4,47	4,95	6,00	7,05	8,11	9,16
		Снижение затрат воды	тыс.м³/га				1,80	2,06	2,28	2,77	3,26	3,74	4,23
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³				0,51	0,50	0,52	0,53	0,54	0,56	0,55
9	Планировка земель полосами под горизонтальную поверхность или под уклон <0.0005	КПД	доля				0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
		М _{бр}	тыс.м³/га				4,35	5,00	5,53	6,71	7,88	9,06	10,24
		Э	тыс.м³/га				1,34	1,54	1,70	2,06	2,43	2,79	3,15
		WP (продуктивность)	т/тыс.м³				0,46	0,45	0,46	0,47	0,48	0,50	0,49

7.3 КПД оросительной сети (от водовыдела до орошаемых полей)

Для оценки удельных объемов возможного снижения водоподачи в точке выдела в орошаемый контур (уровни возможного водосбережения) используются значения КПД оросительной сети орошаемых земель в контуре водовыделов.

Исследованиями САНИИРИ установлена закономерность понижения КПД при увеличении площади точки выдела КПД ирригационной микросистемы (АВП) тем ниже, чем большая площадь подвешена к точке водовыдела на канале [И.Х.Джурабеков и Н.Т.Лактаев, 1983]. Нормативные значения КПД оросительной сети в контуре водовыдела в зависимости от площади водовыдела, средней площади поливного участка, определенные для почвогрунтов различной водопроницаемости приведены на рис. 7.4.

Для охарактеризования всего диапазона уровней реального водосбережения принимаем четыре сочетания условий, влияющих на КПД оросительной сети в контуре водовыдела, приведенные в таблице 7.4.



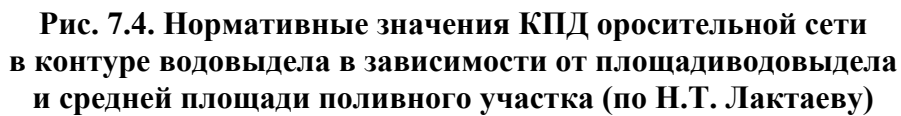


Таблица 7.4

**Технические КПД оросительной сети в контурах водовыделов
(по Н.Т.Лактаеву)**

Условия, влияющие на КПД оросительной сети		КПД (технический)
Благоприятные	Каналы выполнены в железобетонных лотках. Точка выдела обслуживает менее 100 га. КЗИ более 0,9, Удельная протяженность каналов 35-40 п.м.га. Средняя площадь поливного участка ≥ 10 га.	0,90
	Каналы проходят в слабоводопроницаемых грунтах. УГВ 1,5-2,0 м. Точка выдела обслуживает менее 100 га. КЗИ $> 0,9$, Удельная протяженность каналов 35-40 п.м.га. Средняя площадь поливного участка ≥ 10 га.	0,83
Средние		0,77
Неблагоприятные	Каналы проходят в слабоводопроницаемых грунтах. УГВ $> 5,0$ м Точка выдела обслуживает более 500 га. КЗИ $< 0,9$, Удельная протяженность каналов 80-100 п.м.га. Средняя площадь поливного участка 2-2.5 га.	0,72

Основываясь на этих значениях, определяются уровни возможного водосбережения при различных уровнях урожайности и при разных способах совершенствования орошения на поливных участках (табл. 7.5. и рис.7.5 -7.9).

Таблица 7.5

**Оценка возможного водосбережения (на уровне водовыделов в хозяйства) относительно
обычного бороздкового полива в зависимости от применяемых способов совершенствования полива,
КПД оросительной сети и урожайности хлопчатника (III гидромодульный район)**

№№ вари анто в	Особенности технологии орошения	Параметры	Ед.изм.	Урожайность хлопчатника, т/га (ц/га)									
				1	1,2	1,5	2	2,25	2,55	3,15	3,8	4,5	5
				10	12	15	20	22,5	25,5	31,5	38	45	50
1	Обычный бороздковый полив в хозяйствах	W	тыс.м³/га	2,3	3	4	5	5,4	6	7	8	9	10
		M _{нт}	тыс.м³/га	1	1,7	2,7	3,7	4,25	4,7	5,7	6,7	7,7	8,7
		КПД техники полива	доля	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
		M _{бр-поле}	тыс.м³/га	1,54	2,62	4,15	5,69	6,54	7,23	8,77	10,31	11,85	13,38
		M _{бр-хоз при КПДсети=0.9}	тыс.м³/га	1,71	2,91	4,62	6,32	7,26	8,03	9,74	11,45	13,16	14,87
		M _{бр-хоз при КПДсети=0.83}	тыс.м³/га	1,85	3,15	5,00	6,86	7,88	8,71	10,57	12,42	14,27	16,13
		M _{бр-хоз при КПДсети=0.77}	тыс.м³/га	2,00	3,40	5,39	7,39	8,49	9,39	11,39	13,39	15,38	17,38
		M _{бр-хоз при КПДсети=0.72}	тыс.м³/га	2,14	3,63	5,77	7,91	9,08	10,04	12,18	14,32	16,45	18,59
2	Дискретный полив без применения специального оборудования при уклоне поля 0.005 м/м	КПД техники полива	доля				0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
		M _{бр-поле}	тыс.м³/га				4,93	5,67	6,27	7,60	8,93	10,27	11,60
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПОЛЯ	тыс.м³/га				0,76	0,87	0,96	1,17	1,37	1,58	1,78
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ВОДОВЫДЕЛА											
		при КПДсети=0.90	тыс.м³/га				0,84	0,97	1,07	1,30	1,53	1,75	1,98
		при КПДсети=0.83	тыс.м³/га				0,91	1,05	1,16	1,41	1,66	1,90	2,15
		при КПДсети=0.77	тыс.м³/га				0,99	1,13	1,25	1,52	1,78	2,05	2,32

№№ вари анто в	Особенности технологии орошения	Параметры	Ед.изм.	Урожайность хлопчатника, т/га (ц/га)												
				1	1,2	1,5	2	2,25	2,55	3,15	3,8	4,5	5			
				10	12	15	20	22,5	25,5	31,5	38	45	50			
3	Дискретный полив с применением специального оборудования и планировкой поверхности поля	при КПДсети=0.72	тыс.м³/га					1,05	1,21	1,34	1,62	1,91	2,19	2,48		
		КПД техники полива	доля					0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85		
		М _{бр-поле}	тыс.м³/га					4,35	5,00	5,53	6,71	7,88	9,06	10,24		
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПОЛЯ	тыс.м³/га					1,34	1,54	1,70	2,06	2,43	2,79	3,15		
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ВОДОВЫДЕЛА														
		при КПДсети=0.90	тыс.м³/га					1,49	1,71	1,89	2,29	2,69	3,10	3,50		
		при КПДсети=0.83	тыс.м³/га					1,61	1,85	2,05	2,49	2,92	3,36	3,79		
		при КПДсети=0.77	тыс.м³/га					1,74	2,00	2,21	2,68	3,15	3,62	4,09		
		при КПДсети=0.72	тыс.м³/га					1,86	2,14	2,36	2,87	3,37	3,87	4,37		
		4	Полив через междурядье на суглинистых и глинистых почвах	КПД техники полива	доля					0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
М _{бр-поле}	тыс.м³/га							5,07	5,82	6,44	7,81	9,18	10,55	11,92		
СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПОЛЯ	тыс.м³/га							0,62	0,72	0,79	0,96	1,13	1,30	1,47		
СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ВОДОВЫДЕЛА																
при КПДсети=0.90	тыс.м³/га							0,69	0,80	0,88	1,07	1,26	1,44	1,63		
при КПДсети=0.83	тыс.м³/га							0,75	0,86	0,95	1,16	1,36	1,56	1,77		
при КПДсети=0.77	тыс.м³/га							0,81	0,93	1,03	1,25	1,47	1,69	1,90		
при КПДсети=0.72	тыс.м³/га							0,87	1,00	1,10	1,33	1,57	1,80	2,04		
5	Многоярусный полив на			КПД техники полива	доля					0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
				М _{бр-поле}	тыс.м³/га					4,63	5,31	5,88	7,13	8,38	9,63	10,88

№№ вари анто в	Особенности технологии орошения	Параметры	Ед.изм.	Урожайность хлопчатника, т/га (ц/га)									
				1	1,2	1,5	2	2,25	2,55	3,15	3,8	4,5	5
				10	12	15	20	22,5	25,5	31,5	38	45	50
	супесчаных и легкосуглинистых почвах	СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПОЛЯ	тыс.м³/га				1,07	1,23	1,36	1,64	1,93	2,22	2,51
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ВОДОВЫДЕЛА											
		при КПДсети=0.90	тыс.м³/га				1,19	1,36	1,51	1,83	2,15	2,47	2,79
		при КПДсети=0.83	тыс.м³/га				1,29	1,48	1,63	1,98	2,33	2,68	3,02
		при КПДсети=0.77	тыс.м³/га				1,39	1,59	1,76	2,14	2,51	2,88	3,26
		при КПДсети=0.72	тыс.м³/га				1,48	1,70	1,88	2,28	2,68	3,08	3,49
		КПД техники полива	доля				0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
		М _{бр-поле}	тыс.м³/га				4,35	5,00	5,53	6,71	7,88	9,06	10,24
6	Дождевание на автоморфных почвах	СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПОЛЯ	тыс.м³/га				1,34	1,54	1,70	2,06	2,43	2,79	3,15
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ВОДОВЫДЕЛА											
		при КПДсети=0.90	тыс.м³/га				1,49	1,71	1,89	2,29	2,69	3,10	3,50
		при КПДсети=0.83	тыс.м³/га				1,61	1,85	2,05	2,49	2,92	3,36	3,79
		при КПДсети=0.77	тыс.м³/га				1,74	2,00	2,21	2,68	3,15	3,62	4,09
		при КПДсети=0.72	тыс.м³/га				1,86	2,14	2,36	2,87	3,37	3,87	4,37
		КПД техники полива	доля				0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
		М _{бр-поле}	тыс.м³/га				3,78	4,34	4,80	5,82	6,84	7,86	8,88
7	Внутрипочвенное орошение	СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПОЛЯ	тыс.м³/га				1,92	2,20	2,43	2,95	3,47	3,99	4,51
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ВОДОВЫДЕЛА											

№№ вари анто в	Особенности технологии орошения	Параметры	Ед.изм.	Урожайность хлопчатника, т/га (ц/га)									
				1	1,2	1,5	2	2,25	2,55	3,15	3,8	4,5	5
				10	12	15	20	22,5	25,5	31,5	38	45	50
8	Капельное орошение	при КПДсети=0.90	тыс.м³/га		2,13	2,45	2,71	3,28	3,86	4,43	5,01		
		при КПДсети=0.83	тыс.м³/га		2,31	2,65	2,93	3,56	4,18	4,81	5,43		
		при КПДсети=0.77	тыс.м³/га		2,49	2,86	3,16	3,83	4,51	5,18	5,85		
		при КПДсети=0.72	тыс.м³/га		2,66	3,06	3,38	4,10	4,82	5,54	6,26		
		КПД техники полива	доля		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95		
		М _{бр-поле}	тыс.м³/га		3,89	4,47	4,95	6,00	7,05	8,11	9,16		
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПОЛЯ	тыс.м³/га		1,80	2,06	2,28	2,77	3,26	3,74	4,23		
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ВОДОВЫДЕЛА											
		при КПДсети=0.90	тыс.м³/га		2,00	2,29	2,54	3,08	3,62	4,16	4,70		
		при КПДсети=0.83	тыс.м³/га		2,17	2,49	2,75	3,34	3,92	4,51	5,09		
9	Планировка земель полосами под горизонтальную поверхность или под уклон <0.0005	при КПДсети=0.77	тыс.м³/га	2,33	2,68	2,97	3,60	4,23	4,86	5,49			
		при КПДсети=0.72	тыс.м³/га	2,50	2,87	3,17	3,85	4,52	5,20	5,87			
		КПД техники полива	доля	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85			
		М _{бр-поле}	тыс.м³/га	4,35	5,00	5,53	6,71	7,88	9,06	10,24			
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ПОЛЯ	тыс.м³/га	1,34	1,54	1,70	2,06	2,43	2,79	3,15			
		СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВОДЫ НА УРОВНЕ ВОДОВЫДЕЛА											
		при КПДсети=0.90	тыс.м³/га	1,49	1,71	1,89	2,29	2,69	3,10	3,50			
		при КПДсети=0.83	тыс.м³/га	1,61	1,85	2,05	2,49	2,92	3,36	3,79			
		при КПДсети=0.77	тыс.м³/га	1,74	2,00	2,21	2,68	3,15	3,62	4,09			
		при КПДсети=0.72	тыс.м³/га										

№№ вари анто в	Особенности технологии орошения	Параметры	Ед.изм.	Урожайность хлопчатника, т/га (ц/га)									
				1	1,2	1,5	2	2,25	2,55	3,15	3,8	4,5	5
				10	12	15	20	22,5	25,5	31,5	38	45	50
		при КПДсети=0.72	тыс.м ³ /га				1,86	2,14	2,36	2,87	3,37	3,87	4,37

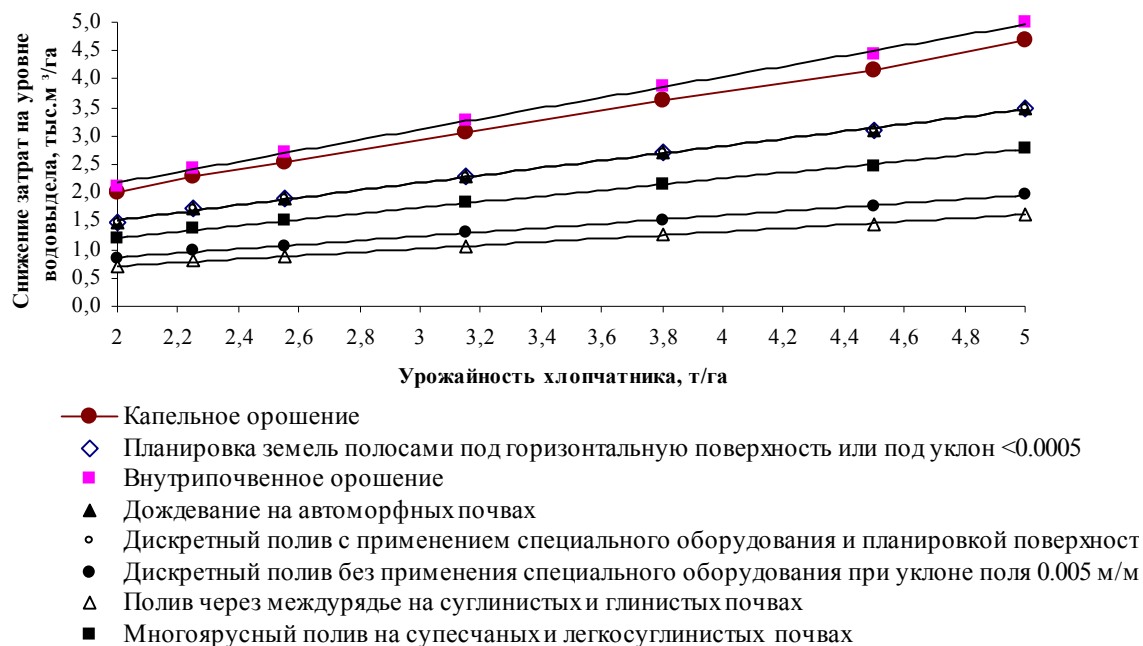


Рис. 7.5. Уровни водосбережения в точке водовыдела в хозяйства (КПД сети=90%)

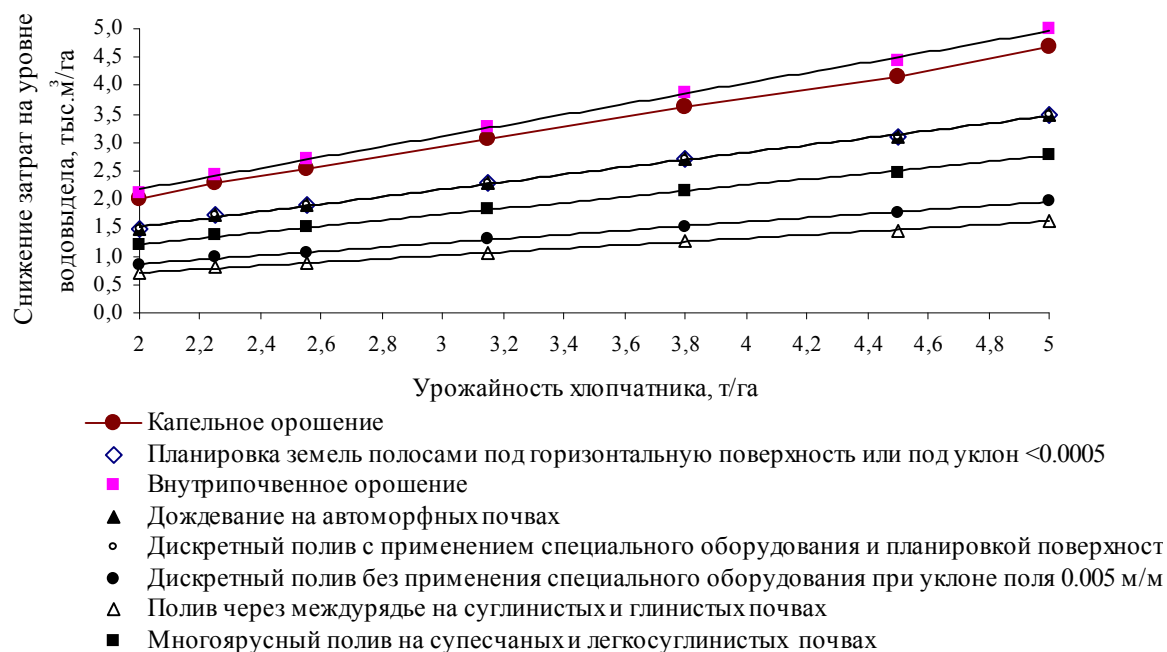


Рис. 7.6. Уровни водосбережения в точке водовыдела в хозяйства (КПД сети=83%)

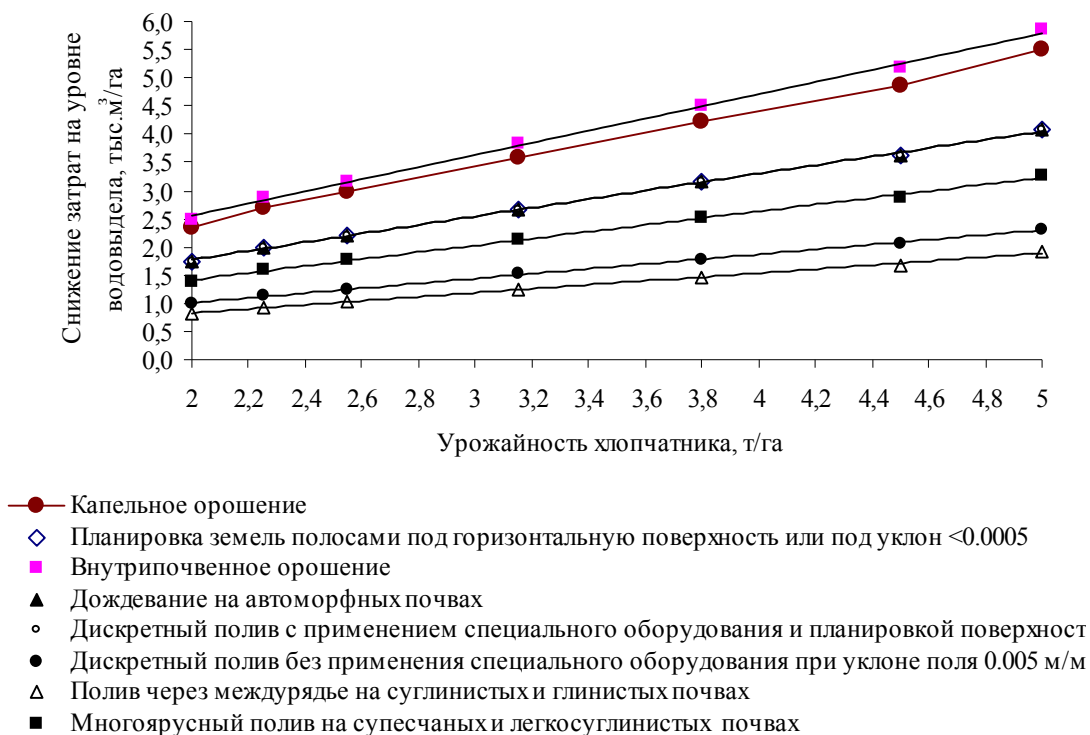


Рис. 7.7. Уровни водосбережения в точке водовыдела в хозяйства (КПД сети=77%)

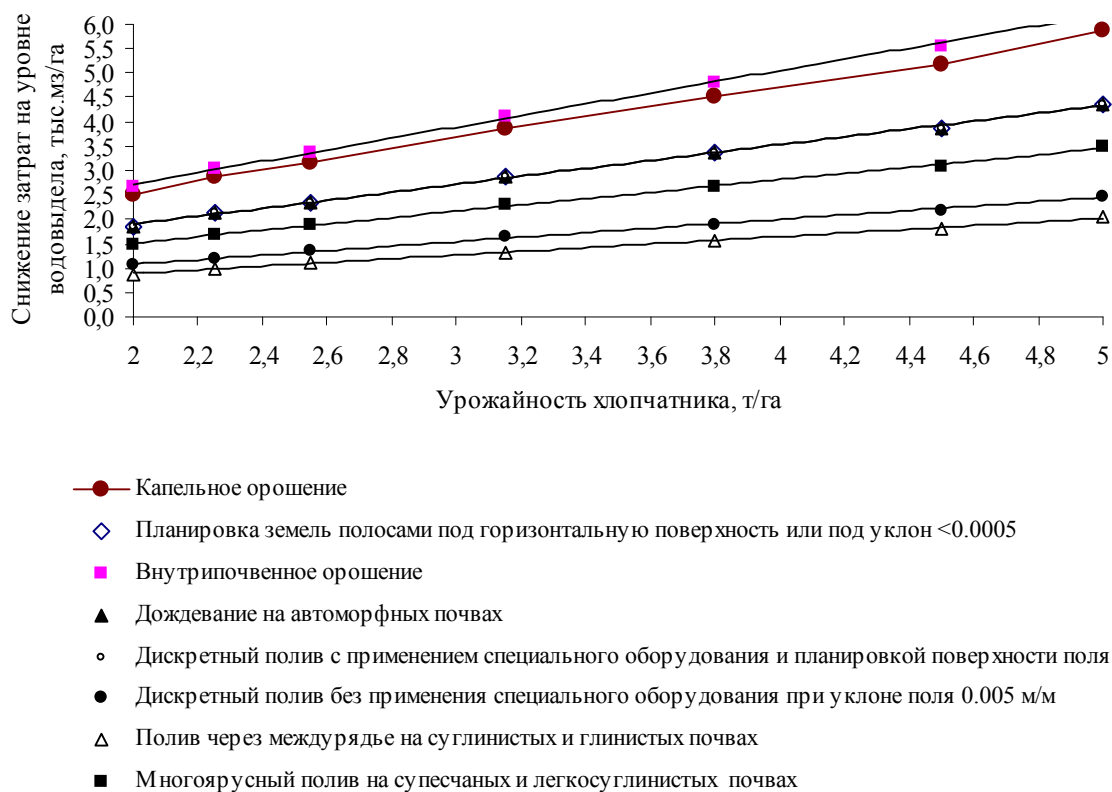


Рис. 7.8. Уровни водосбережения в точке водовыдела в хозяйства (КПД сети=72%)

8. Оценки требуемых инвестиций на водосберегающие технологии в сопоставлении с возможной прибылью

Достижение потенциально возможной урожайности, при одновременном снижении затрат воды, обусловлено достаточно общеизвестными мероприятиями, а именно: применение капельного орошения, дождевания и лазерной планировки поливных участков. Эти технологии позволяют снизить затраты воды на 10-40% по сравнению с используемым бороздковым поливом. Однако, перечисленные способы повышения эффективности использования водных ресурсов требуют значительных капиталовложений, для окупаемости которых необходимо, по экспертным оценкам, повышение урожайности не менее, чем на 20-30%. Безусловно, в условиях снижения водности рек и соответственно водообеспеченности, основной, действенной мерой повышения эффективности использования оросительной воды на поливе сельхозкультур является применение более совершенных методов и средств орошения. Создание в перспективе в широких масштабах таких оросительных систем для районированных по этим способам поливов зон неизбежно.

Из наиболее эффективных водосберегающих способов орошения широко известны такие, как внутриводочное, капельное, дождевание. Однако, в каждом конкретном случае вопрос целесообразности внедрения капиталоемких способов и средств совершенствования полива должен решаться на основе тщательных технико-экономических расчетов.

В качестве базового варианта, относительно которого ведется технико-экономическое сопоставление примем традиционный бороздковый полив хлопчатника в автоморфных условиях III гидромодульного района.

В качестве характеристик совершенных способов и средств полива воспользуемся технико-экономическими показателями, основанным на данных УзВодпроекта и САНИИРИ (первые четыре столбца таблицы 8.1).

Водопотребление хлопчатника при уровне урожая 3.5 т/га составляет порядка 6.45 тыс.м³/га. (табл.8.5).

Затраты воды – «брутто-поле» на этот уровень урожая при среднем в Узбекистане КПД_{поля} =60 % составят 10.8 тыс.м³/га.

Применяя те или иные средства совершенствования можно достичь экономии от 2500 тыс.м³/га (оптимизированный полив по бороздам с использованием гибких и жестких поливных трубопроводов – КПД_{поля} –78 %) до 4200 тыс.м³/га (внутриводочное орошение - КПД_{поля} –98 %).

Требуемые инвестиции на м³ сэкономленной воды составляют при этом (рис.7.10):

- от 0.65 \$/м³ (однобортные земляные оросители) до 2.20 \$/м³ (стационарное дождевание)

при ежегодных эксплуатационных затратах:

- от 0.01 \$/м³ (однобортные земляные оросители) до 0.10 \$/м³ (стационарное дождевание)

и ежегодных суммарных издержках по водосберегающим системам орошения:

- от 0.06 \$/м³ (дискретное регулирование водоподачи в борозды с использованием гибких и жестких поливных трубопроводов) до 0.24 \$/м³ (стационарное дождевание).

По данным оценок WUFMAS-98, проведенным для 68 полей хлопчатника в 1998 году в Узбекистане на выращивание урожая уровня 3.5 т/га хозяйства затрачивали 360 \$/га при средней стоимости реализованного хлопка-сырца – 760 \$/га, т.е. чистая прибыль хозяйств составляла – 400 \$/га.

Таблица 8.1

**Технико-экономические показатели способов и средств полива в условиях их оптимального применения (по данным
Узводпроекта и САНИИРИ)**

Способы и технические средства полива	Капиталовложения в оросительную сеть и технику полива		Эксплуатационные затраты	КПД водосберегающей техники полива	Затраты воды "брутто-поле" на урожай 3.5 т/га		Возможная экономия воды	Требуемые инвестиции на м³/съэкономленной воды			Ориентировочный срок реновации инвестиций		Ежегодные эксплуатационные затраты по водосбережению	Ежегодные издержки по водосберегающей системе орошения		Из оценок WUFMAS-98 для 68 полей хлопчатника на уровень урожая 3.5 т/га			Расчетные показатели "затраты-прибыль"	
	Всего	В т.ч. стоимость поливного оборудования			при водосберегающей технике полива	современный уровень (средний КПД поля=0.6)		ВСЕГО	в том числе:		Капиталовложений в оросительную сеть	Поливного оборудования				затраты хозяйства на выращивание урожая	цена реализованного урожая	прибыль хозяйства	затраты хозяйства на выращивание урожая+ водосбережение	прибыль хозяйства при внедрении водосбережения
									строительно-монтажные работы	поливное оборудование										
	\$/га	\$/га	\$/га		м³/га	м³/га	м³/га	\$/м³	\$/м³	\$/м³	лет	лет	\$/м³	\$/м³	\$/га*год	\$/га	\$/га	\$/га	\$/га	\$/га
Полив по бороздам, с использованием гибких и жестких трубопроводов, работающих от потковой сети	2 390	90	50	0.78	8 300	10 800	2 500	0.96	0.92	0.04	20	3	0.02	0.08	195	360	760	400	555	205
То же, с использованием гибких и жестких трубопроводов, работающих от закрытой сети	2 050	115	50	0.78	8 300	10 800	2 500	0.82	0.77	0.05	20	3	0.02	0.07	185	360	760	400	545	215
То же, с использованием стационарных закрытых систем	3 680	60	25	0.78	8 300	10 800	2 500	1.47	1.45	0.02	20	5	0.01	0.09	218	360	760	400	578	182
То же, с использованием однобортных земляных оросителей	1 960	85	20	0.82	7 900	10 800	2 900	0.67	0.65	0.03	8	8	0.01	0.09	265	360	760	400	625	135
То же, с дискретным (импульсным) регулированием водоподачи в борозды и с использованием гибких и жестких трубопроводов, работающих от потковой сети	2 530	140	55	0.85	7 600	10 800	3 200	0.79	0.75	0.04	20	5	0.02	0.06	203	360	760	400	563	198
То же, с дискретным (импульсным) регулированием водоподачи в борозды и с использованием гибких и жестких трубопроводов, работающих от закрытой сети	2 215	165	55	0.85	7 600	10 800	3 200	0.70	0.64	0.05	20	5	0.02	0.06	191	360	760	400	551	210
Дождевание передвижными машинами	3 400	1 200	100	0.8	8 100	10 800	2 700	1.26	0.81	0.44	20	8	0.04	0.13	360	360	760	400	720	40
Дождевание стационарными системами	7 025	960	330	0.85	7 600	10 800	3 200	2.20	1.90	0.30	20	8	0.10	0.24	753	360	760	400	1 113	-353
Капельное орошение пропашных сельскохозяйственных культур	8 170	4 810	150	0.95	6 800	10 800	4 000	2.05	0.84	1.21	10	10	0.04	0.24	967	360	760	400	1 327	-567
Внутрипочвенное орошение	6 690	3 940	100	0.98	6 600	10 800	4 200	1.59	0.65	0.94	20	10	0.02	0.15	632	360	760	400	992	-232

ПРИМЕЧАНИЕ: При расчетах капитальных затрат произведен пересчет цен 1984 года, исходя из приблизительного соотношения на тот период 1\$ США=1 руб.

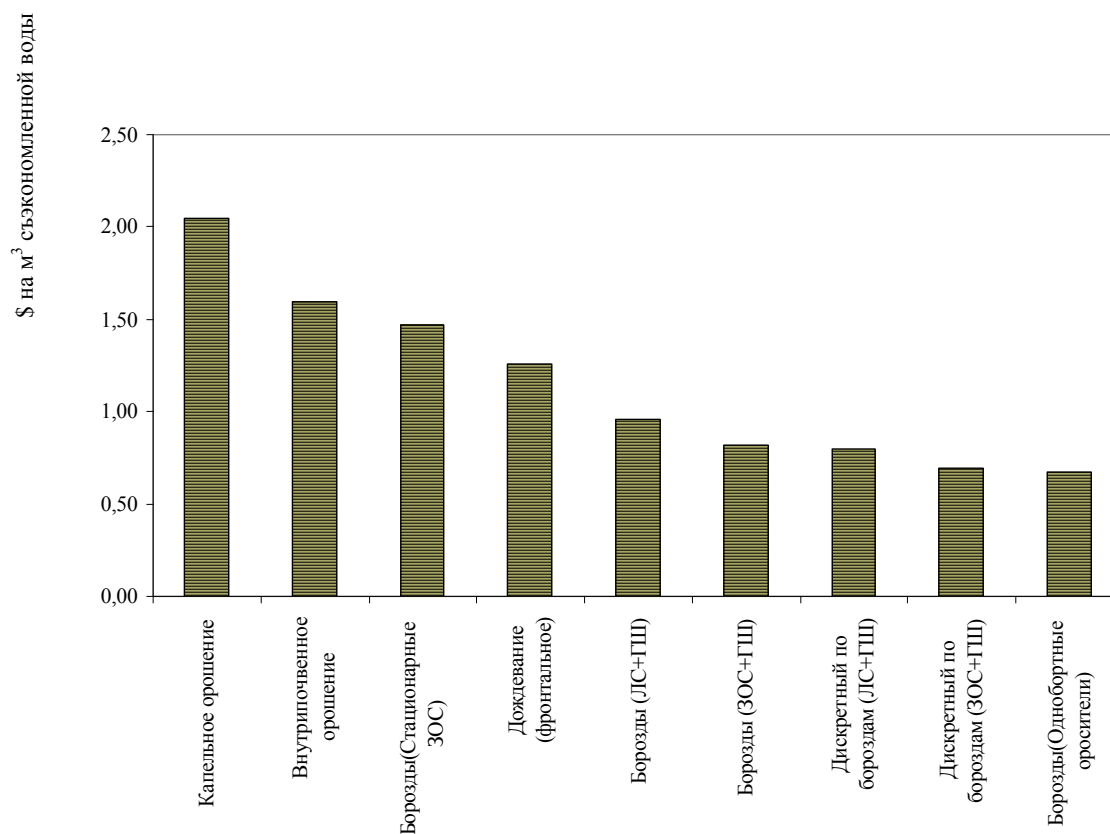


Рис. 8.1. Требуемые инвестиции на м³/экономленной воды

Таким образом, при внедрении капиталоемких водосберегающих способов с учетом издержек, связанных с этим внедрением реальная прибыль хозяйств при существующей конъюнктуре цен на хлопок-сырец и факторы сельхозпроизводства сократится, а внедрение систем стационарного дождевания, капельного и внутрипочвенного орошения в настоящее время сопряжено с убытками для хозяйств, т.е. невозможно без государственной поддержки⁴ (рис.8.2).

⁴ В настоящее время рентабельность систем капельного орошения возможно обеспечить лишь на 3-ий, 4-ый год возделывания сельхозкультур свободной реализации плодо-овощной продукции.

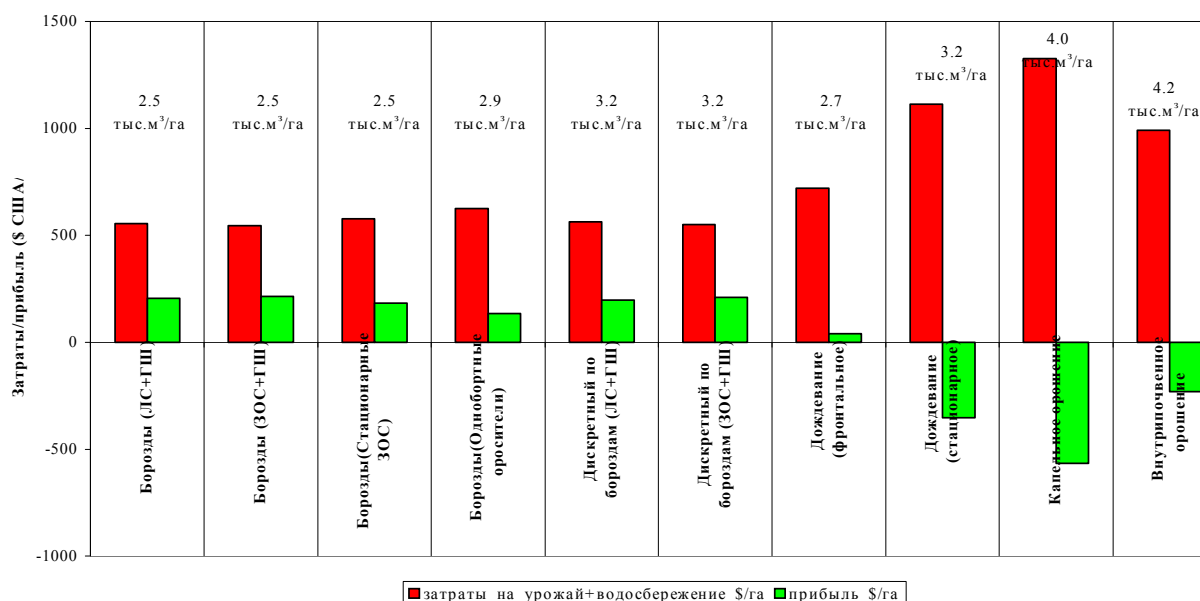


Рис. 8.2. Затраты и прибыль хозяйств при внедрении водосбережения (на примере хлопчатника с урожайностью 3.5 т/га в III гидромодульном районе)
В верхних строках приведены удельные объёмы возможной экономии воды относительно обычного полива по бороздам

В ближайшее же время речь может идти лишь о совершенствовании существующих способов поверхностного полива путем оптимизации технологий и организации полива, возрождении некоторых из применявшихся ранее в регионе рациональных приемов техники полива (многоярусный полив, полив с чередованием поливаемых и сухих междурядий).

Наряду с этим, следует развивать направление, стимулирующее применение современных видов поливной техники в частных и арендных хозяйствах. Здесь необходима разработка системы целевого льготного кредитования фермеров для приобретения ими совершенной поливной техники. Особенно это актуально для дорогостоящих систем дождевания и капельного орошения.

Альтернативными вариантами наиболее капиталоемким способам водосбережения (капельное орошение, внутрипочвенное орошение, дождевание) являются менее капиталоемкие способы: планировка земель полосами под горизонтальную поверхность или под уклон <0.0005 и дискретное регулирование водоподачи в борозды. Следом идут водосберегающие технологии традиционно применяемые в хозяйствах с высокой культурой орошаемого земледелия и не требующие инвестиций для осуществления: полив через междурядье (на суглинистых и глинистых почвах) и многоярусный полив (на песчаных и легкосуглинистых почвах).

В настоящий момент несоответствие закупочных цен на сельскохозяйственную продукцию ценам на энергоносители и оборудование, фактически приближенным к ценам мирового рынка, не способствует

заинтересованности фермеров вкладывать средства в модернизацию техники полива.

Решающим фактором применения совершенной техники полива должна быть заинтересованность и инициатива самих фермеров. Попытки государства, отраслевых министерств волевыми решениями стимулировать применение совершенной техники полива, как показывает весь прошлый опыт, оказывались тщетными.

Система повышения уровня рациональности водопользования должна предусматривать целенаправленную работу всех заинтересованных в эффективном использовании воды сторон в четырех взаимосвязанных направлениях:

- совершенствование правовой базы
- совершенствование нормативно-технической базы
- возрождение производства поливной техники
- создание сети демонстрационных систем и участков для обучения практическим приемам рационального водопользования и правовым вопросам вододеления
- создание зональных центров внедрения совершенных методов в практику орошаемого земледелия.

Исходя, из этого целесообразна разработка стратегии национальной системы повышения уровня рациональности водопользования с учетом специфических особенностей орошаемого земледелия природно-климатических зон и национальных законов о земле и воде.

Ссылки

1. Духовный В.А., Соколов В.И. Интегрированное управление водными ресурсами. Опыт и уроки Центральной Азии – навстречу четвертому Всемирному Водному Форуму. Ташкент 2005, 97с.
2. Интегрированное управление водными ресурсами: от красивой теории к реальной практике. Опыт Центральной Азии. Под ред. проф В.А. Духовного. - Ташкент: НИЦ МКВК, 2008. – 366с.
3. Bos M.G., 1997. Performance indicators for irrigation and drainage. *Irrig. Drain. Syst.* 11(2). 119-137.
4. Burt C.M., 1987. Irrigation evaluations. Technical Conference Proceedings “Irrigation and the Environment”// The irrigation Association, Arlington, pp. 107-123.
5. Horst M., Mirzayev N., Stulina G. (2002). Participation in water conservation: Regional monitoring of the II stage of competition. Ways of water conservation. SIC ICWC & IWMI Publication, Tashkent, 27-135.
6. Jensen M.E., 1996. Irrigated agriculture at the crossroads. In: Pereira L.S., Feddes R.A., Gilley J.R., Lesaffre B. (Eds). Sustainability of Irrigated Agriculture. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 19-33.
7. Oweis T., Zhang H., 1998. Water-use efficiency: index for optimising supplemental irrigation of wheat in water scarce areas. *Zeitschrift f. Bewaesserungswirtschaft* 33 (2), 321-336.
8. Pereira L.S., 1999. Higher performance through combined improvement in irrigation methods and scheduling: a discussion. *Agric. Water Manage.* 40 (2), 153-169.
9. Pereira L.S., Oweis T., A. Zairi, 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manage.* 57, 175-206.
10. SIC ICWC, 2002. Adoption of best practices for water conservation. 2001 year report of SIC ICWC (contract code - #312310). SIC ICWC & IW, 111 pp.
11. Wolters W., 1992. Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use. ILRI Publication No. 51, ILRI, Wageningen, 150 pp.
12. Zhang H., Oweis T., 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agric. Water Manage.* 38, 195-211.
13. Zhang H., Oweis T., Garabet S., Pala M., 1998. Water-use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rain-fed conditions and supplemental irrigation in a Mediterranean type environment. *Plant Soil* 201, 295-305.
14. Джурабеков И., Лактаев Н., 1983. Совершенствование оросительных систем и мелиорации земель Узбекистана. «Узбекистан», Ташкент, 151 стр.
15. Лактаев Н., 1978. Полив хлопчатника. «Колос», Москва, 176 стр.

Редакционная коллегия:

Духовный В.А.
Соколов В.И.
Зиганшина Д.Р.
Беглов Ф.Ф.
Беглов И.Ф.

Адрес редакции:

Республика Узбекистан,
100187, г. Ташкент, массив Карасу-4, д. 11
Научно-информационный центр МКВК

Составители

Соколов В.И., Хорст М.Г.

Компьютерная верстка и оформление

Беглов И.Ф.

<http://sic.icwc-aral.uz>