

Обзор Управление поливами в условиях дефицита воды

Luis Santos Pereira, Theib Oweis, Abdelaziz Zairi

Реферат

Использование воды в сельскохозяйственном производстве в регионах, подверженных дефициту воды, требует передовых и поддерживающих исследований и соответствующего трансферта технологий. В этой статье рассматриваются некоторые из этих аспектов, в основном, связанные с внутрихозяйственным управлением поливами, включая использование обработанных сточных и минерализованных вод. Во-первых, статья предлагает некоторые концепции, связанные с дефицитом воды, касаясь аридности, засухи, опустынивания и нехватки воды, а также политику преодоления этих режимов водного стресса. Концептуальные подходы эксплуатационных характеристик орошения, водопользования и водосбережения рассматриваются в широкой перспективе. После этого следует обсуждение управления подачей воды для преодоления дефицита воды, уделяя особое внимание использованию сточных вод и вод низкого качества, включая соответственное воздействие на здоровье и окружающую среду, так как дефицит воды требует, чтобы воды худшего качества больше использовались для полива. Затем статья фокусирует внимание на управление потребностями, начиная с аспектов, связанных с усовершенствованием способов полива и соответственным повышением производительности полива, в основном, равномерности распределения (DU), как фундаментального средства для снижения потребности в воде на уровне хозяйства и контроля за негативным воздействием переполива на окружающую среду, включая стресс засоления. Обсуждения подтверждаются результатами современных исследований. Анализируется готовность способов полива для использования обработанных сточных и минерализованных вод. Обсуждаются также стратегии дополнительного орошения (SI) и дефицитного орошения, включая ограничения на применение похожих приемов. Статья также идентифицирует потребность во внедрении появляющихся технологий управления водными ресурсами, а также разработку соответствующих методологий для анализа социальных, экономических и экзогенных выгод от усовершенствованного управления поливами.

Ключевые слова: Дефицит воды, производительность полива, управление водоподачей, сточные воды, минерализованные воды, управление потреблением, способы полива, дефицитное орошение.

1. Концепции дефицита воды и смысл управления водными ресурсами

Вода становится дефицитом не только в аридных и засушливых регионах, но также в регионах с обильными осадками: дефицит воды связан с количеством доступных ресурсов и с качеством воды, потому что деградирующие водные ресурсы становятся недоступными для более строгих потребностей.

Устойчивое использование воды – охрана ресурсов, окружающей среды, уместность технологий, экономическая целесообразность и социальная приемлемость результатов развития – является приоритетным для сельского хозяйства в регионах с нехваткой воды. В этих регионах часто имеют место дисбаланс между наличием и потребностями, деградация качества поверхностных и грунтовых вод, соперничество между секторами, межрегиональные и международные конфликты. Отсюда следует, что новации требуются главным образом, в управлении поливами и опытом, так как сельскохозяйственный сектор далеко опережает по потребностям в воде в этих регионах.

Дефицит водных ресурсов может быть обусловлен различными причинами, относительно различных режимов, создаваемых природой и вызываемыми людьми (Vlachos & James, 1983; Pereira, 1990), как показано в таблице 1. Pereira et al. (2002) предлагает углубленную дискуссию по этим концепциям.

Аридность представляет собой природное явление, вызываемое постоянным дисбалансом доступной воды, заключающееся в низком среднегодовом количестве осадков, с высокой пространственной и временной изменчивостью, приводящее в результате к всеобщей низкой влажности и низкой производительности экосистем.

Таблица 1
Ксерические режимы, вызывающие дефицит воды

Продолжительность	Создаваемые природой	Вызванные людьми
Постоянный	Аридность	Опустынивание
Временный	Засуха	Дефицит воды

Засуха представляет собой природное явление, вызываемое лишь временным дисбалансом доступной воды, состоящее из постоянного ниже среднего количества осадков неопределенной частоты, продолжительности и степени воздействия, появление которых трудно предсказать, что приводит к сокращению доступности водных ресурсов и производительности экосистем. Засухи не только опасны, но и катастрофичны. Опасно, потому что природное бедствие почти всегда непредсказуемо и случайно, кроме тех, которые могут быть предсказаны или повториться. Катастрофа, потому что засуха связана с отсутствием атмосферных осадков, что вызывает нарушения водоснабжения в естественных и сельскохозяйственных экосистемах, так же как и человеческая деятельность.

Опустынивание – это стимулированный человеком постоянный дисбаланс доступности воды, в сочетании с поврежденной почвой, нецелесообразным землепользованием, выкачиванием грунтовых вод, увеличением внезапных наводнений, потерей прибрежных экосистем и снижением производительности экосистем. Эрозия почвы и засоление связаны с опустыниванием. Изменения климата также способствуют опустыниванию, которое возникает в аридном, полуаридном и субгумидном климате. Засуха сильно обостряет процесс опустынивания при увеличении давления на сокращающиеся поверхностные и подземные ресурсы. Для опустынивания используются различные определения, главным образом, сфокусированные на деградации земель и иногда не относящиеся к воде. Однако, при рассмотрении ситуаций с дефицитом воды кажется более уместным определить опустынивание в связи с водой и природным дисбалансом, вызванным неправильным использованием водных и земельных ресурсов, таким образом, обращая внимание тому факту, что опустынивание, включая деградацию земель, определенно является причиной дефицита воды.

Водный дефицит – это также стимулированный человечеством, но временный водный дисбаланс, включая сверх-эксплуатацию грунтовых вод, снижение емкости водохранилищ, разрушающее и сниженное землепользование и последующая измененная производительность экосистем. Низкое качество воды зачастую связано с дефицитом воды и, подобно засухе, обостряет связанные между собой воздействия.

Политика и практика управления орошением при дефиците воды должны фокусироваться на конкретных целях в соответствии с причинами, вызывающими дефицит воды. Оценка воды, как экономического, годного для продажи товара может быть недостаточной, так как вода не только принимает участие в производстве, но также поддерживает другие природные ресурсы. Для оценки воды требуется объединенный экзогенный, экономический и социальный подход, в тоже время важен интегрированный технический и научный подход для разработки и внедрения практики управления, учитывающей дефицит воды.

Среди других характеристик *аридность* очень часто ассоциируется с высоким давлением на природные ресурсы, острой борьбой за воду, что усугубляет ограничение использования ресурсов в сельском хозяйстве, часто встречающееся засоление почв, обусловленное плохим управлением орошением, и хрупкие и ранимые экосистемы. По этой причине устойчивое использование водных ресурсов в условиях аридности означает следующее:

- эффективное применение и внедрение интегрированного планирования использования земельных и водных ресурсов;
- усовершенствование систем водоснабжения и оросительных систем для достижения лучших служебных характеристик, которые будут способствовать более эффективному водопользованию и повышению продуктивности использования воды;
- внедрение политики распределения воды, способствующей водосбережению и эффективному использованию;
- оценивание воды в качестве экономического, социального и экзогенного товара, включая охрану природы;
- меры по увеличению доступных водных ресурсов, включая использование сточных и коллекторно-дренажных вод, и совокупное использование воды различного происхождения и качества;
- внедрение соответствующих водных и оросительных технологий, которые будут способствовать эффективному водопользованию и содействовать ликвидации сброса и потерь; и

- информирование пользователей о значении дефицита воды, а также их участие в управлении водными ресурсами и оросительными системами.

Управление водными ресурсами при *засухе* требует мер и политики, которые являются общими с аридностью, такие как ликвидация сброса воды, снижение потребностей в воде, повышение эффективности водопользования или увеличение информированности общественности о соответствующем использовании дефицитных водных ресурсов. Другие меры, которые присущи условиям засухи, следующие:

- поскольку засуха трудна для прогнозирования или непредсказуема в определенных регионах, первостепенными являются подготовительные меры для преодоления засухи;
- так как они обладают глубоким долговременным воздействием и их опасность может быть очень высокой, требуются соответствующие меры по смягчению воздействий;
- так как возникает перерыв в природном водоснабжении, необходимы изменения политики распределения и подачи воды, а также в управлении водными и оросительными системами;
- следовательно, требуется, чтобы фермеры были способны внедрять практику снижения потребностей в воде; и
- поскольку доходы фермеров коренным образом сократятся, также требуются другие соответствующие меры, включая меры финансового характера, для поддержания фермеров в преодолении засухи.

Опустынивание и дефицит воды, так как они вызваны человеческой деятельностью и ассоциируются с проблемами, такими как деградация, обусловленная эрозией и засолением почв, сверхэксплуатация земельных и водных ресурсов и ухудшение качества воды, требуют, чтобы политика и меры были ориентированы на решение существующих проблем. Меры по борьбе с опустыниванием и дефицитом воды будут следующие:

- восстановление экзогенного баланса в использовании природных ресурсов;
- восстановление плодородия почвы;
- усиление контроля за эрозией, почвой и охраной почв;
- борьба с засолением почвы и воды;
- контроль за выкачиванием грунтовых вод и содействие подпитке водоносных горизонтов;
- минимизирование сброса; и
- управление качеством воды.

Подводя итоги, скажем, что преодоление дефицита воды требует мер и политики управления водными ресурсами, которые могли быть сгруппированы по двум основным направлениям: управление запросами и управление снабжением. Эти два взаимодополняющие друг друга аспекты управления водными ресурсами представлены и обсуждаются в следующих разделах, предшествующих короткому обзору концепций по водопользованию, водопотреблению, потерям воды и характеристикам для обоснования анализа управления водоподачей и запросами, который является главной целью этой статьи.

2. Водопользование, потери воды и производительность полива

Термин *эффективность* очень часто используется для выражения производительности оросительных систем. Он обычно применяется для каждой оросительной подсистемы: подсистемы накопления, транспортировки, распределения межхозяйственного и внутрихозяйственного, и внутрихозяйственные поливные подсистемы. Он может быть определен соотношением между объемом воды, доставленным рассматриваемой подсистемой и объемом воды, поставленным этой подсистеме (Wolters, 1992; Bos, 1997; Pereira, 1999). Однако, часто это неправильное употребление, главным образом тогда, когда применяется как синоним производительности полива.

Понятие *эффективности* не достаточно для оценки производительности систем хранения, транспортировки и распределения, когда намереваются оценить надежность и гибкость снабжения для усовершенствования управления запросами. Исследования IWMI выявили новые проблемы в этом отношении, главным образом ориентированные на поверхностные системы (Murray-Rust & Snellen, 1993; Renault, 2000; Renault & Vehmeier, 1999). Обзоры и анализ применения представлены Bos (1997) и Sanace-Jahromi & Feyen (2001). Lamaddalena & Pereira (1998), Lamaddalena & Sagardoy (2000), и Pereira et al. (2001) дают примеры, касающиеся анализа производительности, применяемого для на-

порных систем. Широкий обзор показателей производительности для оросительных систем представлен Malano & Burton (2001).

Еще один часто используемый термин эффективности – эффективность использования оросительной воды (WUE). Она определяется как соотношение между биомассой сельхозкультуры или урожаем зерновых 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). Показатель WUE, определяемый этими соотношениями, полезен при идентификации стратегий составления графика поливов для дополнительного орошения (SI) зерновых культур (Zhang & Oweis., 1999), при анализе водосбережения оросительных систем и соответствующего управления и при сравнении различных оросительных систем, включая дефицитное орошение (Howell et al., 1995; Scheneider & Howell, 1995). Однако, существует источник путаницы в терминологии, потому что тот же самый термин WUE используется для анализа продуктивности растений, которая определяется соотношением между нормами ассимиляции и транспирации (Steduto, 1996; Steduto et al., 1997). Иногда термин WUE используется как синоним эффективности использования поливной нормы (AE, %) или эффективности орошения. Вероятно, термин WUE следует использовать как показатель продуктивности растений, применяемый физиологами сельхозкультур, в то же время эффективность орошения по отношению к урожайности сельхозкультур будет лучше заменить другим термином, таким как продуктивность использования воды (WP), как принято в этой статье. В любом случае, его не следует использовать как синоним эффективности орошения.

Обычно говорят, что повышение эффективности орошения является первостепенным в условиях дефицита воды, потому что высокая эффективность будет представлять условия, близкие к оптимальному условию использования воды. В большинстве случаев, это верно, в том смысле, что меньше воды должно быть извлечено из источников поверхностных или грунтовых вод для получения определенного урожая. Однако, когда достижение высокой эффективности будет рассматриваться как водосбережение, это не совсем верно. Во избежание путаницы при использовании термина эффективность, Jensen (1996) предложил термин доли суммарного потребления назначить как отношение между количеством воды, потребляемым орошаемой сельхозкультурой, и количеством воды, отведенным в оросительную систему, таким образом делая различие между используемой водой и потребляемой водой.

В соответствии с этими направлениями Allen et al. (1997) и Burt et al. (1997) предложили новые концепции для ясного различия между безвозвратным и возвратным водопотреблением, полезным и бесполезным водопотреблением и повторным использованием воды и отсутствием такового для непотребляемой воды, отведенной к оросительной системе или подсистеме. Эти концепции приведены в таблице 2. Используя эти концепции, можно прийти к заключению, что потери воды являются лишь потерями, соответствующими бесполезному безвозвратному водопотреблению и отсутствию повторного использования отведенной воды. Однако, в случае засоления окружающей среды, часть потерь воды полезна для сельхозкультуры и почвы, потому что используется для промывок и, следовательно, это неизбежно. Возвратное водопользование и повторное использование воды фактически не является потерями, потому что другие пользователи ниже по течению могут использовать воду снова или они могут повторно использовать в той же самой системе, если имеются системы повторного использования.

Таблица 2

Потребление, использование и потери оросительной воды (Allen et al., 1997 и Burt et al., 1997)

	Безвозвратное	Возвратное и неиспользуемое повторно	Возвратное, но используемое повторно
Полезное использование	Эвапотранспирация Испарение для регулирования климата	Промывка, добавляемая к минерализованной воде Вода, включенная в продукт	Промывка, добавляемая к повторно используемой воде
Бесполезное использование	Избыточная влажность почвы и эвапотранспирация фреатофита Испарение с поверхности воды в каналах и водохранилищах Фракция испарения	Глубинная фильтрация, питающая засоленные грунтовые воды Дренажная вода, добавляемая в минерализованные воды Неиспользуемая повторно фракция	Повторно используемая глубинная фильтрация Повторное использование сбросных вод Повторное использование сброса из каналов Используемая повторно фракция

Если не используемая для промывки солей повторно используемая фракция подобно фракции без повторного использования обусловлена плохим или неудовлетворительным управлением, то она считается потерянной. Фактически, это временные потери системы, которые вносят свой вклад в затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание и могут причинить ущерб, если принимать во внимание конкуренцию между пользователями. Однако, с точки зрения гидрологии или в терминах экономии водных ресурсов вообще, это не является потерями.

Эти показатели водопользования далеки еще от всеобщего использования, но они потенциально очень полезны для планирования и управления водными ресурсами на уровне бассейна или проекта или в масштабах системы. Для внутрихозяйственного орошения все еще очень полезны показатели равномерности водораспределения.

Принимая вышеуказанные концепции, можно сказать, что повышение эффективности орошения имеет большое значение в условиях дефицита воды, потому что высокая эффективность соответствует увеличению полезного использования воды. Все же следует принять во внимание следующие дополнительные цели, относящиеся к показателям водопользования:

- контролирование бесполезного безвозвратного водопотребления, особенно, связанного с испарением с почвы и эвапотранспирацией фреатофитов и сорняков, принимая впитывание и избыток оросительной воды;
- минимизирование не используемой повторно фракции полученной воды, следовательно, избегая просачивания в минерализованные грунтовые воды или продвижения сбросных возвратных вод в минерализованные воды, где качество воды будет деградировать; и
- снижение бесполезной, но используемой повторно фракции путем контролирования глубинной фильтрации, фильтрации из каналов, сбросных возвратных потоков и избыточного сброса из каналов, которые негативно воздействуют на затраты на эксплуатацию и техобслуживание и могут быть причиной заболачивания, борьбы за воду между сорняками, потерь питательных элементов и удобрений, загрязнения вод, используемых для нужд людей, и могут вызвать потери урожая и прибылей.

Эти цели неявно используются в нижеследующем обсуждении, но они составляют логически последовательную базу для решения проблем управления снабжением и снижения запросов и практики, требуемой для преодоления дефицита воды, описанного выше. Однако, эти меры и практика не являются эксклюзивными для дефицита воды и могут также применяться в условиях строгого снижения доступности воды, таким образом, более эффективное использование оросительной воды является важной тенденцией в сегодняшнем орошении (NRC, 1996).

3. Управление водоснабжением

3.1. Главные аспекты

Важность стратегий управления водоподачей для преодоления дефицита воды в орошении удовлетворительно идентифицирована в литературе и наблюдается на практике. Здесь упоминается, что существует сильная взаимозависимость между управлением снабжением и управлением запросами. С одной стороны, критерии водоснабжения, относящиеся к воде низкого качества, можно правильно применить лишь при усовершенствовании внутривозделного орошения. С другой стороны эффективное внедрение управления сниженными запросами может быть затруднено ограничениями в системе водоснабжения, такими как составление графика распределения (cf. Goussard, 1996; Sanaee-Jahromi et al., 2000; Santhi & Pundarikanthan, 2000).

Управление снабжением включает: (а) повышенная регулирующая способность, включая содействие дополнительным поливам; (б) усовершенствованные системы транспортировки воды на орошение и распределения, которые обеспечивают повышенную гибкость подачи и снижение системных потерь воды; (в) улучшенная эксплуатация и техобслуживание, в чем следует предусмотреть участие фермеров и тренинг ирригационных агентов; и (г) разработка новых источников водоснабжения. Последние включает очищенные сточные воды и минерализованные грунтовые воды и коллекторно-дренажные воды, использование которых в орошении требует усовершенствованной ирригационной практики управления, главным образом во избежание воздействий на здоровье и минимизировать воздействия на окружающую среду. Короткий обзор этих тем предлагается ниже.

Управление водоснабжением можно рассматривать с точки зрения систем эксплуатации, главным образом, связанным с графиком подачи (Hatcho, 1998). Это включает исследование гидрометеорологических сетей, баз данных и информационных систем, которые содействуют улучшенному управлению водохранилищ и оросительных систем, обеспечивают информацию о наступлении засух и исчезновении их и к тому же могут быть использованы как информация для поддержки решений фермера о поливе. Дополнением к этим сетям являются агрометеорологические ирригационные информационные системы, которые включают ряд средств для фермеров и управляющих для доступа к информации, включая модели, информационные системы, такие как ГИС и системы поддержки решений. Особенно уместны для системных менеджеров современные технологии, относящиеся к эксплуатации и техобслуживанию водохранилищ и систем водоснабжения, которые обеспечивают эффективное использование автоматизации и дистанционного управления, а также планирование для засух, в основном, через организацию политики распределения и поставки и правила эксплуатации. Математические модели, информационные системы и DSS могут быть уместны для поддержки фермеров в выборе возможностей водопользования, включая структуру посевов и оросительные системы, и составление соответствующего графика поливов. Недавние разработки по этим направлениям представлены Rossi et al. (2002).

К управлению водоснабжением также относится внутривозделное водосбережение. Оно включает в себя земледелие и приемы сохранения пашни, использование управления вегетацией для контроля за сбросом, мульчирование для ограничения испарения с поверхности почвы (Unger & Howell, 1999). Небольшие внутривозделные резервуары, сбор воды и полив затоплением играют центральную роль в засушливых полуаридных и аридных регионах (Tauer & Humborg, 1992; Prinz, 1996; Oweis et al., 1999; Sharma, 2001).

3.2. Нетрадиционные способы водоснабжения

Городские сточные воды содержат относительно небольшую концентрацию взвешенных и растворенных органических и неорганических примесей. Органическая субстанция содержит карбогидраты, лигнин, жиры, мыла, синтетические моющие средства, протеины и продукты их распада, а также различные натуральные и синтетические органические химикаты от промышленного производства. В аридных и полуаридных странах, поскольку водопользование часто находится на довольно низком уровне, сточные воды очень сильно загрязнены по сравнению со сточными водами в обеспеченных водой странах (Pescod, 1992; Al-Nakshabandi et al., 1997).

Городские сточные воды также содержат ряд неорганических субстанций из бытовых и промышленных источников, включая возможные токсические элементы и тяжелые металлы, которые могут быть на фитотоксических уровнях или представляют риск для здоровья. Однако, риск для здоровья обусловлен, главным образом, наличием патогенных микро- и макро-организмов. Патогенные

вирусы, бактерии, простейшие и гельминты могут быть представлены в необработанных городских сточных водах и будут продолжать существовать в окружающей среде в течение долгих периодов (см. например, Mara & Cairncross, 1989; Pescod, 1992; Hespagnol, 1996). Основной риск для здоровья связан с заражением сельхозкультур или грунтовых вод оросительной водой, особенно с накопленными ядами, в основном тяжелыми металлами и канцерогенами, главным образом, органическими химикатами. Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ) имеет нормы для качества питьевой воды (WHO, 1984), которые можно принять непосредственно в целях защиты грунтовых вод. Принимая во внимание возможное накопление определенных токсических элементов в растениях (например, кадмий и селен), должно быть оценено потребление их сельхозкультурами, орошаемыми загрязненными сточными водами.

Патогенные организмы наносят величайший вред здоровью в связи с использованием сточных вод в орошении. Отрицательное влияние на здоровье замечено только в связи с использованием неочищенных или плохо очищенных сточных вод, в то же время соответствующая обработка должна обеспечивать защиту здоровья. Угрозу здоровью, связанную с патогенными организмами, можно классифицировать следующим образом (Mara & Cairncross, 1989; Pescod, 1992):

- *Высокая угроза (широкая сфера распространения излишней инфекции):* Гельминты (*Ancylostoma*, *Ascaris*, *Trichuris* и *Taenia*).
- *Умеренная угроза (умеренная сфера распространения излишней инфекции):* Кишечные бактерии (*Vibrio cholera*, *Salmonella typhosa*, *Shigella*).
- *Низкая угроза (малая сфера распространения излишней инфекции):* Кишечные вирусы.

Во избежание нанесения вреда здоровью и ущерба окружающей природе сточные воды должны быть обработаны, перед тем как использовать их для орошения в сельском хозяйстве и природе. Требуемое качество сточных вод будет зависеть от целей водопользования, орошаемых культур, почвенных условий и оросительной системы. Анализ использования очищенных сточных вод в небольших населенных пунктах представлен Oron et al. (1999). Наиболее подходящей обработкой сточных вод является такая, которая будет создавать слияние сточных вод рекомендованного микробиологического и химического качества в сочетании с низкими затратами и минимальными требованиями по эксплуатации и техобслуживанию (Arag, 1988). Желательно внедрение уровня обработки по возможности низкого, но достижимого, особенно в развивающихся странах. Обработка по удалению составляющих, которые могут быть токсичными или пагубными для сельхозкультур, водных растений и рыб, обычно является экономически невыгодно. Напротив, следует предусмотреть удаление токсичных элементов и патогенных организмов, которые могут нанести вред здоровью людей. Хорошие обзоры по обработке сточных вод для орошения представлены Pescod (1992) и Westcot (1997). Обсуждение желательного уровня очистки сточных вод, в соответствии с целями их использования, включая подпитку питьевых подземных и поверхностных водохранилищ, приведено у Bouwer (2000) и London (2001). Некоторые исследования по обработке и повторному использованию сточных вод представлены Goosen & Shauya (2001).

Факторы, влияющие на распространение болезней, включают степень очистки сточных вод, возделываемые сельскохозяйственные культуры, способ полива, используемый для подачи сточных вод, и используемые агротехнические приемы и практика уборки урожая. Инфекционные заболевания полевых работников могут возникать в результате прямого контакта с сельхозкультурой или почвой в том районе, где применяется полив сточными водами. Поэтому для минимизации угрозы здоровью требуется защита. В большинстве случаев, принимаются во внимание три уровня угрозы здоровью людей (Westcot, 1997):

1. Наивысший риск для потребителей, полевых и транспортных работников, который представляют любые сельскохозяйственные культуры, использованные в пищу без горячей обработки и возделываемые в близком контакте с загрязненными сточными водами, и орошение садово-парковых участков с публичным доступом.
2. Умеренный риск для потребителей, полевых и транспортных работников, представляют пастбищные, зеленые кормовые культуры, сельхозкультуры для потребления людьми, которые не имеют прямого контакта со сточными водами, сельхозкультуры для потребления людьми, обычно используемые в пищу после горячей обработки или очищенные от верхнего слоя и любые культуры, орошаемые при помощи дождевания.
3. Небольшой риск для потребителей, но для полевых работников нужна защита. Это относится к сельскохозяйственным культурам, не предназначенным для потребления человеком, культуры следует обработать паром, подвергнуть сушке, консервированию или другим видам обработки,

которые эффективно уничтожают болезнетворные бактерии, перед использованием человеком, а сельхозкультуры для кормления животных следует высушить на солнце перед употреблением их животными (сено, силос).

ВОЗ (WHO) приняты международные нормы микробиологического качества оросительной воды (Mara & Cairncross, 1989). Эти стандарты используются чаще всего для процесса контроля на водоочистных станциях, но следует обеспечить мониторинг оросительных систем, использующих сточные воды. Идентифицируются три категории сельхозкультур, соответствующих уровням, перечисленным выше. Нормы ВОЗ описывают следующее:

- количество кишечных нематод (гельминтов), среднеарифметическое значение которых, число яиц/л будет составлять 1 для категорий А и В;
- количество фекальных колиформ, среднегеометрическое значение которых на 100 мл должно составлять 1000 для категории А и различным в зависимости от местных условий для категории В;
- требуемый расчетный уровень очистки, который соответствует серии стабилизационных отстойников, запроектированных для достижения микробиологического стандарта, назначенного для категории А, или эквивалентного сохранению в стабилизационных отстойниках в течение 8-10 дней в случае категории В и предварительная очистка, если требуется по технологии полива, но не меньше чем первичный осадок в случае категории С.

Нормы можно использовать для мониторинга и сертификации качества (Westcot, 1997), в конечном итоге выполненного по стандартам, соответствующим другим местным требованиям. Мониторинг должен включать контроль угрозы здоровью, обусловленной использованием неочищенных или неудовлетворительно очищенных сточных вод. Применение ограничений по сельхозкультурам, соответствующих категориям риска, перечисленным выше, часто считается наиболее эффективной мерой для защиты потребителей. Ограничения по сельхозкультурам должны фокусироваться главным образом на культурах, которые потребляют в сыром виде. Однако, для этого требуется строгая организационная структура и способность к мониторингу и контроль за соблюдением норм (Mara & Cairncross, 1989).

Качество оросительной воды имеет особое значение в аридных регионах, где у испарения высокая интенсивность с последующей аккумуляцией солей в почвенном профиле. Физические и механические свойства почвы, такие как дисперсия частиц, стабильность агрегатов, инфильтрация и проницаемость сильно зависят от типа взаимозаменяемых ионов, присутствующих в оросительной воде. Растворенные примеси (TDS) в оросительной воде также влияют на развитие растений и урожайность сельскохозяйственных культур. TDS увеличивает осмотический потенциал и, следовательно, развитие и урожайность большинства культур постепенно снижается, т.к. осмотическое давление увеличивается соответственно чувствительности к наличию солей в почве и оросительной воде. Следовательно, при использовании загрязненных и/или минерализованных вод из грунтовых вод или коллекторно-дренажных вод должны учитываться несколько факторов, связанных с почвенными свойствами, а также фитотоксичных ионов, присутствующих в воде. Однако, отдаленные последствия все еще не изучены до конца и требуются дополнительные исследования по этим направлениям, например, исследования описываемые Ogop (1999), использующим капельное орошение, и Yoon et al. (2001), относящиеся к поливу риса затоплением.

Основные рекомендации относительно использования воды плохого качества проведены Ayers & Westcot (1985) и Rhoades et al. (1992), включая связанные с оценкой требований промывки земель и удовлетворительного управления агротехникой во избежание засоленности и деградации почв. В изобилии имеется литература, относящаяся к влиянию засоления и контроля в орошаемом земледелии (например, сводные нормы, вытекающие из индийских исследований Tyagi & Minhas, 1998, и обзоров Minhas, 1996; Katerji et al., 2001). Таким образом, несмотря на актуальность темы, здесь она не рассматривается, за исключением возможности применения способов полива, связанных с использованием сточных и минерализованных вод, которые анализируются ниже.

4. Управление потреблением

4.1. Главные аспекты

Управление потребностями орошения в воде в условиях дефицита воды включает приемы и решения управления сложного характера: агрономические, экономические и технические, что приведено в таблице 3. Цели имеют отношение к снижению потребности орошения в воде, внедрение приемов, ведущих к водосбережению и экономии в орошении, а также снижение потребностей в воде в хозяйстве и повышение урожайности сельхозкультур и доходов на единицу используемой воды. Виртуальная вода, т.е. означающая товар, обладающий большим количеством воды «виртуально», вложенной в продукт для ... (Bouwer, 2000). Однако, воздействие связанных между собой стратегий очень разное, когда рассматриваются большие, ориентированные на рынок хозяйства или, наоборот, небольшие хозяйства, ориентированные на производство основных продуктов питания, которых большинство в регионах с дефицитом воды. Первые можно легко адаптировать к новой рыночной ориентации, но вторые, как правило, не имеют средств и приспособляемости к изменению хозяйственных систем. Экономическое и социальное воздействие будет затем ужасным, если стратегия виртуальной воды применяется без соответствующей поддержки малых фермеров. Эти аспекты, среди других экономического и социального характера, требуют фундаментальных и новаторских исследований.

Агрономические и экономические решения и практика земледелия часто рассматривались в литературе. В ряде статей давался обзор этих проблем в орошаемом земледелии (Bucks et al., 1990; Pereira, 1989, 1990; Tarjuelo & de Juan, 1999), включая аспекты, связанные распределением воды (Rosa et al., 2001; Shangguan et al., 2002). Вследствие этого здесь рассматривается только практика орошения, связанная с потребностями орошения.

Таблица 3

Управление внутрихозяйственной оросительной системой в условиях дефицита воды

Цели	Технология
Снижение потребности в воде	Сорта культур с низким водопотреблением/система земледелия; высокая производительность оросительных систем; дефицитное орошение
Водосбережение	Практика культивации с контролем водного стресса (например, даты сева, избегающие борьбы с сорняками); повышение равномерности оросительных систем и улучшение управления; повторное использование транзитных сбросов и сбросных вод; мульчирование поверхности почвы и обработка почвы для регулирования
Повышение урожайности на единицу воды	Усовершенствование приемов земледелия (например, контроль за внесением удобрений, пестицидов и ядов); избегание водного стресса растений в критические периоды
Повышение доходов фермеров	Выбор денежных культур; высокое качество продукции

Часто проблемы управления потребностями орошения в воде относятся, главным образом, к составлению графика поливов (Endale & Fipps, 2001), отводя вследствие этого второстепенную роль способам полива. Однако, требуется комбинированный подход (Pereira, 1996, 1999) особенно при использовании сточных вод и минерализованных вод низкого качества.

Составление графика поливов требует знания (а) водопотребления культуры и отзывчивости урожайности на воду (см. Allen et al., 1998), (б) ограничения, особые для каждого способа полива и оросительного оборудования (см. Pereira & Trout, 1999), (в) отзывчивость культуры на засоление при использовании воды худшего качества (см. Ayers & Westcot, 1985; Rhoades et al., 1992; Minhas, 1996), (г) ограничения, связанные с системой водоподачи (см. Goussard, 1996), и (д) финансовые и экономические расходы, связанные с практикой орошения (например, El Amami et al., 2001). Усовершенствование способа полива и повышение производительности системы требует рассмотрения ряда факторов, главным образом, это влияние гидравлических процессов, инфильтрация воды и равномерность

водоподачи по всему полю (Burt et al., 1997; Pereira, 1999). Аспекты, которые имеют отношение к управлению потребностями при дефиците воды, кратко обсуждаются ниже.

4.2. Усовершенствование внутривозделных оросительных систем

При поливе в хозяйстве в настоящее время используется ряд показателей производительности (Burt et al., 1997; Pereira, 1999). Равномерность распределения воды по всему полю обычно оценивается *равномерностью распределения* (DU, %), которая определяется отношением среднего слоя инфильтрации на нижней четверти поля и на всем поле, выраженного в мм. В капельном и микроорошении часто используется *коэффициент равномерности* (CU, %). Однако, CU и DU взаимосвязаны (Keller & Bliesner, 1990), следовательно, в следующем анализе будет упоминаться просто DU.

Основным показателем эффективности использования оросительной воды на поле хозяйства является *эффективность использования поливной нормы на поле*, который лучше всего определяется отношением между средним слоем воды, поданной в корнеобитаемую зону в нижней четверти поля, к среднему слою воды, поданной на все поле, оба измеряются в мм.

Факторы, влияющие на равномерность распределения и эффективность использования поливной нормы, приведены в таблице 4, показывая, что эффективность использования поливной нормы зависит от равномерности распределения (Pereira, 1999). Обычно наблюдаемые значения равномерности распределения являются верхними пределами эффективности использования поливной нормы, когда переменные системы остаются неизменными. Существуют полезные соотношения между равномерностью орошения и урожайностью сельхозкультур (например, см. Warrick & Yates, 1987). Однако, они еще недостаточно изучены на практике.

Таблица 4

Основные переменные управления и системы, которые определяют производительность орошения в хозяйстве

Оросительные системы	Равномерность распределения	Эффективность использования поливной нормы
Поверхностный полив Системные переменные	Единичный расход воды Длина борозд, полос или чеков Коэффициент шероховатости Продольный уклон Точность планировки Характеристики инфильтрации Форма борозд, полос или чеков	Единичный расход воды Длина борозд, полос или чеков Коэффициент шероховатости Продольный уклон Точность планировки Характеристики инфильтрации Форма борозд, полос или чеков
Переменные управления	Продолжительность полива	Продолжительность полива Дефицит влажности почвы в момент полива
Дождевание Системные переменные	Давление в дождевальной установке Изменение давления в рабочем режиме Ширина дождевальной установки Расход дождевальной установки Смоченный периметр Схема распределения воды Угол инжектора Скорость и направление ветра	Давление в дождевальной установке Изменение давления в рабочем режиме Ширина дождевальной установки Расход дождевальной установки Смоченный периметр Схема распределения воды Угол инжектора Скорость и направление ветра Характеристики инфильтрации почвы Норма полива дождевальной установки
Переменные управления	Техническое обслуживание	Техническое обслуживание Продолжительность полива Дефицит влажности почвы в момент полива

Оросительные системы	Равномерность распределения	Эффективность использования поливной нормы
Микро-орошение Системные переменные	Давление эмиттеров Изменение давления в рабочем режиме Режим потока эмиттера Изменения расхода эмиттера Коэффициент эмиттера с заводскими вариантами Фильтрующая способность	Давление эмиттеров Изменение давления в рабочем режиме Режим потока эмиттера Изменения расхода эмиттера Коэффициент эмиттера с заводскими вариантами Фильтрующая способность Водопроницаемость почвы Характеристики инфильтрации почвы
Переменные управления	Техническое обслуживание	Техническое обслуживание Влажность почвы в момент полива Продолжительность полива Частота поливов

4.2.1. Поверхностный полив

Используется несколько способов полива. При поливе по чекам вода подается на спланированную под плоскость поверхность поля (чек), обвалованную по всему периметру и производительность полива получается лучше всего, когда поверхность поля точно спланирована, а продолжительность добега минимизирована. Полив по чекам является наиболее обычным способом полива во всем мире. Полив по бороздам – способ полива, при котором вода подается в борозды с небольшим расходом, чтобы содействовать инфильтрации воды одновременно с продвижением воды по полю. При поливе по полосам вода также впитывается одновременно с добеганием, но по коротким или длинным полосам земли, обвалованным с двух сторон и открытым в конце поля. Обычно системы поверхностного полива не способны поливать небольшими, а только грузными поливными нормами.

В традиционных системах регулировка расходами воды осуществляется вручную. На больших чеках или полосах и коротких бороздах ирригатор прекращает водоподачу, когда добеж завершен. Эта практика приводит к большим вариациям в объемах воды, подаваемых при каждом поливе и от одного поля к другому. Часто практикуется переполив. В модернизированных системах используются некоторые формы регулирования расходов, такие как сифоны, поливные трубопроводы, плоские шланги или трубопроводы и некоторые формы автоматизации. Поля часто спланированы с допустимой точностью, а продолжительность добега и длительность водоподачи, а также величину расхода можно измерить или оценить. Вследствие этого в этих системах по сравнению с традиционными легко проконтролировать, «сколько» воды следует подать.

При поверхностном поливе равномерность DU зависит главным образом от системных переменных (таблица 4), которые до некоторой степени может модифицировать или адаптировать ирригатор. Переменная управления – продолжительность полива – контролируется ирригатором, но зависит от системных переменных, которые определяют продолжительность добега. Эффективность использования поливной нормы зависит от тех же самых переменных, что и DU, а также от переменной управления – продолжительности полива и дефицита почвенной влаги в момент полива. Однако, на DU также влияют условия влажности почвы в растрескивающихся почвах, особенно когда из-за ограниченной доступности воды применяются длительные межполивные интервалы (Zairi et al., 1998). В обстоятельствах, когда имеются глубокие и большие трещины, распределение воды будет неодинаковым, и неизбежна глубинная фильтрация, требуется больше воды для подпитки почвы, чтобы уменьшить растрескивание почвы (Zairi et al., 1999).

Присутствие фермера играет главную роль в контроле переменных управления, но его способность достичь повышения производительности, несомненно, ограничивается характеристиками системы и почвы и, часто, решениями межхозяйственного распределения. Это означает, что недостаточно сказать фермерам внедрить правила целевого управления, когда не идентифицированы межхозяйственные и внутривладельческие ограничения, и не приняты меры по усовершенствованию оросительной системы.

Значение равномерности при поверхностном поливе хорошо описано в литературе. Sousa et al. (1995) установил влияние DU на урожайность кукурузы и потребность в орошении. Роль точности планировки при поливе по чекам хорошо проанализирована Clemmens et al. (1999) для усовершенствования управления орошением в Египте и рекомендовано усовершенствованное исследование. Полевые оценки играют фундаментальную роль в усовершенствовании систем поверхностного полива, так как они обеспечивают информацию для проектирования и для рекомендаций фермерам, как усовершенствовать их системы и практику. Среди многих других Pitts et al. (1996) представил интересный анализ полевой оценки производительности полива.

Пример – равнины Северного Китая, где вода для орошения становится все более и более дефицитной, показывает, что основным фактором повышения производительности орошения и снижения использования воды при поливе является внедрение более равномерных уклонов поверхности при поливе по чекам. Практика фермеров – отключить подачу воды, когда добеж завершен. Поэтому путем коррекции обратных уклонов в нижней части поля можно сократить продолжительность добега и, следовательно, также продолжительность водоподачи. Кроме того, значительную экономию воды можно получить, как показано в таблице 5. Результаты показывают, что улучшение уклонов чека является более эффективным при сокращении длительности добега и продолжительности полива, когда расход водоподачи небольшой: потенциальное снижение потребности близко к 320 мм при расходе водоподачи $2.5 \text{ л с}^{-1}\text{м}^{-1}$ и около 180 мм при $4.5 \text{ л с}^{-1}\text{м}^{-1}$ (Li & Calejo, 1998).

Таблица 5

Потенциальное сокращение потребления воды при орошении озимой пшеницы на равнинах Северного Китая, когда были скорректированы обратные уклоны, так как влияли на расходы водоподачи (Li & Calejo, 1998)

Расход ($\text{л с}^{-1}\text{м}^{-1}$)	Зимний полив (мм)	I весенний полив (мм)	II весенний полив (мм)	III весенний полив (мм)	Всего (мм)
2.5	94	104	79	47	324
3.0	80	82	67	34	263
3.5	70	74	61	25	230
4.0	64	68	53	16	201
4.5	54	58	50	16	178

При использовании воды низкого качества и при поливе засоленных земель для контроля засоления в корнеобитаемой зоне следует добавить промывную долю. Кроме того, часто практикуется переполив, главным образом, когда поверхность поля неоднородная. Пример – старая система Hui-pong в китайской провинции Ningxia в верховьях реки Хуанхе – представлен на рис.1. Это аридная зона со среднегодовым количеством осадков ниже 200 мм, где за сотни лет орошение спровоцировало засоление многих площадей. Фермеры регулируют засоление почв путем переполива. Требуется снижение потребления воды на орошение вследствие дефицита воды в бассейне реки Хуанхе. Это подразумевает, что промывная доля должна быть ограничена. На рис.1 сравниваются нынешние слои инфильтрации по длине поля, рассчитанные после соответствующей калибровки модели (Fabião et al., 2001), когда поверхности земли сохранялась не спланированной с улучшенной ситуацией применения точной планировки. В первом случае (рис.1a) равномерность слабая и практиковался переполив, когда целью было применение 10 % промывной доли на целое поле. Изменение расхода водоподачи $1.3 - 3.0 \text{ л с}^{-1}\text{м}^{-1}$ не изменило производительность полива. Поливная норма брутто была много больше, чем целевая. Наоборот, внедрение точной планировки земель приводит к почти одинаковым слоям инфильтрации по длине поля (рис.1b) и, поэтому, к одинаковой промывке земель с много меньшим потреблением воды. Итоговая экономия воды за вегетационный период озимой пшеницы колеблется от 150 до 210 мм (Campos et al., 2001). Это подтверждает нужность высокого DU в регулировании потребностей орошения в воде, а именно, когда следует управлять засолением, включая когда используются сточные или минерализованные воды.

Когда поверхностно орошаемые площади поливаются из коллективных оросительных систем каналов, график поливов хозяйства зависит от графика подачи воды, т.е. расхода водоподачи, продолжительности и частоты, которые диктуются эксплуатационной политикой системы. Расход и продолжительность налагают ограничения на объем водоподачи, в то время как частота определяет даты поливов. Поверхностные системы подачи воды на орошение часто негибкие и межполивные периоды слишком длительные. В этом случае фермеры подают всю воду, какая доступна, и часто практикуют

переполнив. Следовательно, усовершенствование внутривладельческих оросительных систем с целью снижения потребления должно осуществляться совместно с модернизацией систем подачи воды, для того чтобы допустить большую гибкость при выборе соответствующего расхода и даты водоподачи.

Ограничения системы и подачи воды требуют, чтобы график поливов был простым. Использование упрощенных ирригационных календарей, таких как графики поливов, составленные моделями составления графиков поливов с учетом среднего или фактического климатического потребления, обычно полезно и легко в применении. В литературе приводится ряд примеров, включая примеры с учетом промывки (Smith et al., 1996; Camp et al., 1996). Пример улучшенного графика поливов озимой пшеницы на равнинах Северного Китая (таблица 6) показывает, что потребность в орошении можно снизить почти на 200 мм, когда усовершенствовать и оросительную системы, и график поливов (Fernando et al., 1998).

Таблица 6

Сравнение текущих и оптимальных поливных норм для озимой пшеницы в Xiongxian, равнины Северного Китая, для различного климатического водопотребления, используя полив по чекам (Fernando et al., 1998)

Дата полива	Фактические поливные нормы (мм)		Поливные нормы при ограничениях системы (мм)		Планируемые поливные нормы (мм) при улучшенной планировке земель		
	Наблюдаемый диапазон	Наблюдаемое среднее	Более приемлемый уклон	Менее приемлемый уклон	Среднее	Засушливый год	Очень засушливый год
Сев	90-230	156	70	75	-	70	70
Зима	116-142	129	105	115	90	90	90
Весна	116-140	124	100	110	80	80	80
Колошение	119-143	133	80	85	80	80	80
Налив зерна	84-117	97	70	75	80	90	100
Итого		640	425	460	330	410	430
Снижение потребления			215	180	155	230	230

4.2.2. Дождевание

Дождевальные системы включают стационарные, двигающие дальнеструйный аппарат и системы с непрерывным движением распределителей. Стационарные системы могут подавать от малых до больших поливных норм и лучше всего приспособлены для небольших хозяйств. Большое разнообразие дождевальных установок позволяет подобрать их для различных культур и почв. Двигающиеся дальнеструйные дождевальные установки обычно способны подавать относительно высокие поливные нормы, требуют высокого давления и подходят для небольших полей или для подачи очень маленьких или очень больших поливных норм. Они не подходят для орошения почв тяжелого механического состава, земель с уклоном, чувствительных сельскохозяйственных культур и в аридных условиях с сильным ветром. Непрерывно двигающиеся распределители спроектированы для больших хозяйств и для небольших и частых поливов, но поливные нормы обычно очень высокие.

Равномерность полива зависит, по существу, от переменных, характеризующих систему (таблица 4), которые устанавливаются на фазе проектирования. Аналогично, эффективность использования поливной нормы зависит от тех же системных переменных, также как и DU, и от переменных управления, относящихся к продолжительности и частоте поливов. Ирригатор может ненамного повысить равномерность полива и ограничивается системными характеристиками для повышения AE, даже применяя хороший график поливов. Несмотря на то, что это сделать легче, чем в системах поверхностного полива, ирригатор часто не регулирует поливную норму.

Полевые оценки дают хорошие рекомендации фермерам по усовершенствованию управления и по введению ограниченных изменений в систему, а также полезную информацию проектировщикам и по качественному контролю проектирования и обслуживания. Пример идентификации проблем на действующих дождевальных системах представлен в таблице 7. Эти результаты показывают, что системы часто плохо спроектированные вызывают проблемы, которые влияют на DU и, следовательно, фермеры фактически не контролируют подаваемую поливную норму. Результаты, представленные Pitt et al. (1996), до некоторой степени аналогичны. Проблемы усугубляются при плохом техобслуживании (Louie & Selker, 2000).

Таблица 7

Главные причины низкой производительности полива, идентифицированные из полевых оценок во Франции (Dubalen, 1993)

Проблемы	Дальнеструйные установки (% наблюдений)	Стационарные системы (% наблюдений)
Поливная норма отличается от ожидаемой		
10-20 % разница	30	25
Разница выше 20 %	46	34
Низкая равномерность, причины		
Чрезмерные междурядья	65	70
Колебания давления (> 20%)		56
Асимметричный угол увлажнения	59	
Переменная скорость движения (> 20%)	39	
Недостаточное давление	38	20
Избыточное давление	10	22

Основываясь на полевых оценках, Mantovani et al. (1995) показал, что когда цена на воду низкая, фермеры стремятся оптимизировать урожайность, не заботясь о водопотреблении. Затем, при DU около 40 %, фермеры используют в 2.25 раза больше требуемой поливную норму и всего лишь в 1.25 раза, когда DU приближается к 85 %. Напротив, если вода дорогая, фермеры применяют недополив при низкой равномерности системы, допуская урожайность ниже потенциальной, и поливают полностью только, когда система может достигнуть высокого DU. Фактически это объясняется тем, что чем ниже DU, тем больше разница между поливными нормами в недополитой и переполивной частях поля. Это факт делает полезным внедрение заданного DU при проектировании (Keller & Bliesner, 1990; Seginer, 1987), а также использование DU при оптимизации структуры посевов (Tarjuelo et al., 1996). В заключение скажем, что снижение потребления воды при низком воздействии на урожайность требует, во-первых, чтобы система была способна достичь высокой равномерности и, во-вторых, чтобы был принят соответствующий график поливов.

4.2.3. Микро-орошение

Микро-орошение включает капельные, микро дождевальные и подпочвенные системы. Эти системы обычно проектируются для малых и частых поливов.

Равномерность микро-орошения, также как и DU дождевальных систем, зависит от системных переменных, т.е. за исключением техобслуживания, фермеры не могут сделать много для достижения высокой равномерности распределения (см. таблицу 4). Эффективность использования поливной нормы зависит большей частью от тех же системных переменных, что и DU, и от переменных управления, связанных с продолжительностью полива и частотой поливов. Следовательно, фермер может повысить АЕ, применяя соответствующий график поливов, но производительность ограничена системными препятствиями.

Полевые оценки также играют значительную роль в рекомендациях фермерам, создании информации для проектирования новых систем и для качественного контроля проектирования и обслуживания. Результаты полевых оценок показывают, что производительность полива часто является ниже ожидаемой. Pitts et al. (1996), основываясь на оценке 174 систем микро-орошения в США, обнаружил, что в среднем DU = 70 %, и в 75 % случаев DU ниже 85 %. Низкий DU обусловлен главным образом несоответствующей фильтрацией воды и плохим подбором эмиттеров, а именно относительно их производственных характеристик. Результаты, приводимые Carra & Scicolone (1998), проясняют эти проблемы.

Равномерность в микро-орошении влияет на экономию воды системами и, главным образом, на урожайность сельхозкультур. Обзор, сделанный Bralts et al. (1987), придает особое значение пользе равномерности при проектировании. Santos (1996) приводит данные, что наилучшая урожайность томатов (около 102 т/га) была достигнута для 470 мм водоподачи и равномерности 90 %, в то же время максимальная урожайность упала до 85 т/га при водоподаче 500 мм, когда равномерность была только 60 %. Максимальный доход был на 12 % выше в первом случае. Пространственный анализ Ayars et al. (1990) показывает, что преимущества подпочвенного орошения применимы к ряду сельхозкультур для максимизации урожайности и снижения водопотребления по сравнению с другими методами.

4.3. Пригодность способов полива для использования нетрадиционных вод

Способы полива обладают особыми характеристиками, которые определяют их соответствие для использования сточных и минерализованных вод. Факторы влияния такого поведения связаны со способностями, предлагаемыми соответствующими оросительными системами для легко достижимой минимизации/предотвращения риска, связанного с использованием такой воды. Что касается минерализации, риск сводится к следующему:

- засоление почв, которое связано с легкостью проникновения солей в корнеобитаемую зону, в связи со способностью применять промывку равномерно и под контролем;
- токсичность растений, связанная с прямым контактом воды с листьями растений;
- трудности при инфильтрации подаваемой воды без излишнего сброса; и
- стресс сельскохозяйственных культур и снижение урожайности, включая невозможность поддерживать соответствующий запас доступной влаги в почве.

Из анализа характеристик оросительных систем в таблице 8 приведены соответственные ограничения управления или легкость применения наиболее уместных приемов минимизации риска, главные аспекты, характеризующие пригодность способов полива, принятых для орошения минерализованной водой.

В случае орошения сточными водами пригодность способов полива учитывает минимизацию следующего:

- опасность токсичности, связанная с контактом листьев со сточными водами;
- опасность загрязнения, связанная с прямым контактом воды с фруктами и съедобными частями растений;
- опасность засоления, связанная с солями в корнеобитаемой зоне; и
- опасность для здоровья, возникающая при прямом контакте человека со сточными водами.

В таблице 9 приведены основные аспекты, влияющие на пригодность способов полива для применения сточных вод.

При анализе таблиц 8 и 9 становится очевидным, что дождевальные системы и , в определенной степени, микро дождевальные системы менее других соответствуют контролю за здоровьем и опасности загрязнения, а также опасности токсичности. Напротив, капельное орошение выглядит более подходящим, что отстаивают многие авторы, например, Oron (1999). Однако, когда в воде велико содержание TDS, капельные системы легко засоряются. Поэтому требуется соответствующая фильтрация и обработка оросительной воды кислотой и хлором (Al-Nakshabandi et al., 1997). В случае жидких отходов от предприятий, перерабатывающих продукцию сельского хозяйства, которые обычно не представляют опасности здоровью, загрязнения и токсичности, наиболее целесообразны дождевальные установки, например, дальнеструйные, для подачи жидких отходов предприятий, перерабатывающих сахарный тростник. Выбор способов полива также связан с соответствующим оборудованием, потому что сточные воды и воды низкого качества могут содержать компоненты, которые вызывают коррозию оборудования или могут создавать трудности для фильтрации или вполне вероятно наносят ущерб контрольным и автоматическим устройствам, таким образом создавая риск системного сбоя. Следовательно, выбор системы является более сложным, чем относительно простой анализ таблиц 8 и 9.

Таблица 8

Пригодность способов полива для орошения минерализованной водой

Способ полива	Накопление солей в корнеобитаемой зоне	Контакт с листьями, избегая токсичности	Возможность инфильтрации воды и подпитки корнеобитаемой зоны	Контроль стресса растений и снижения урожайности
Полив по чекам	Вероятно, не имеет места, за исключением концевых частей поля при очень низкой равномерности водоподачи; промывную долю трудно контролировать в традиционных системах	Возможен только для нижних листьев у невысоких и кормовых культур, и в течение первой фазы развития однолетних культур	Достаточна, потому что при каждом поливе, как правило, подаются большие объемы воды и вода остается в чеке, пока не закончится инфильтрация	Достаточно, поскольку токсичность обычно предотвращена, соли опускаются через корнеобитаемую зону, инфильтрация завершается и можно планировать полив
Полив по чекам с малыми бороздами	Соли имеют тенденцию к накоплению в верхней части гребня; требуется промывка перед севом или плантация для прорастания и укоренения сельскохозяйственной культуры	Исключен, потому что сельскохозяйственные культуры растут на гребнях	Также как и для плоских чеков	Также как и для плоских чеков, но в зависимости от предотвращения солевого стресса при появлении всходов и укоренении культуры
Полив по полосам	Также, как и при поливе по чекам, но контроль инфильтрации более труден, также как и контроль промывной доли	Также как и для плоских чеков	Поскольку вода впитывается, одновременно двигаясь по поверхности почвы, потери на сброс возрастают при уменьшении инфильтрации	Вероятно, имеет место стресс растений вследствие пониженной инфильтрации, вызывая таким образом относительно высокие потери урожая
Полив по бороздам	Соли имеют тенденцию к накоплению в верхней части гребня; требуется промывка перед севом/плантация	Исключен, потому что сельскохозяйственные культуры растут на гребнях	Засоление, вызванное проблемами инфильтрации, приводит к очень высоким потерям на сброс	Очень вероятно, имеет место стресс растений вследствие пониженной инфильтрации, вызывая таким образом значительные потери урожая
Дождевание	Вероятно, не имеет места при орошении стационарными системами, за исключением концевых частей поля; промывка затруднена или невозможна с оборудованием, спроектированным для легких и частых поливов	Серьезное повреждение листьев может иметь место, несомненно влияя на урожайность, в основном, если поливы производятся часто	Засоление, вызванное проблемами инфильтрации, включая то, что почвенная корка может привести к очень высоким потерям на сброс	Очень вероятен стресс растений вследствие токсичности при контакте с листьями и плодами и снижения инфильтрации, таким образом, могут иметь место значительные потери урожая
Микро-орошение: капельное и внутрипочвенное	Вероятно, не имеет места, за исключением концевых частей поля вследствие низкой равномерности, включая засорение при плохой фильтрации воды	Вероятно, не имеет места	Как правило, эти проблемы не возникают, за исключением тех случаев, когда практикуется недостаточное количество эмиттеров при внутрипочвенном орошении	Эти системы способны обеспечивать контроль за стрессом растений и токсичностью, поэтому потери урожая минимальны

Способ полива	Накопление солей в корнеобитаемой зоне	Контакт с листьями, избегая токсичности	Возможность инфильтрации воды и подпитки корнеобитаемой зоны	Контроль стресса растений и снижения урожайности
Микро-орошение: микро дождевание и микро распыление	Вероятно, не имеет места, за исключением концевых частей поля вследствие низкой равномерности и засорения; промывка легка для контроля	Повреждение листьев может иметь место, несомненно влияя на урожайность однолетних культур, но меньше для деревьев	Проблемы аналогичны проблемам при орошении стационарными дождевальными установками, поэтому потери на сброс могут быть значительными	Токсичность вследствие прямого контакта с листьями и стресс культуры при неравномерности и сбросе может вызвать высокие потери урожая

Таблица 9

Пригодность способов полива для орошения сточными водами

Способ полива	Человеческий контакт (опасно для здоровья)	Контакт с плодами и урожаем (опасность загрязнения)	Накопление солей в корнеобитаемой зоне (опасность засоления)	Контакт с листьями (опасность токсичности)
Полив по чекам и полив по полосам	Вероятно, имеет место, главным образом при регулировании воды вручную; превентивные меры включают ткань	Не встречается у деревьев и виноградников и большинства садовых и полевых культур; может иметь место для невысоких овощных культур, таких как салат и дыня	Вероятно, не имеет места, за исключением концевых частей поля при очень низкой равномерности водоподачи	Возможен для нижних листьев у невысоких (например, салат, дыня) и кормовых культур, и в течение первой фазы развития однолетних культур
Полив по чекам с малыми бороздами	Вероятно, имеет место при регулировании воды вручную, менее при внедрении автоматизации; превентивные меры включают ткань	Вероятно, не имеет места, поскольку растения растут на гребнях	Соли аккумулируются в верхней части гребня; требуется промывка перед севом или плантация для прорастания и укоренения сельхозкультуры	Исключен, потому что сельхозкультуры растут на гребнях, а вода течет между ними
Полив по бороздам	Вероятно, имеет место при регулировании воды вручную, менее при внедрении автоматизации	Вероятно, не имеет места, поскольку растения растут на гребнях	Соли имеют тенденцию к накоплению в верхней части гребня; требуется промывка перед севом/плантация	Исключен, потому что сельхозкультуры растут на гребнях
Дождевание	Обычно рабочие не появляются в поле во время полива, но они могут контактировать с влажным поливным оборудованием	Плоды и урожай загрязняются	Вероятно, не имеет места, за исключением концевых частей поля вследствие низкой равномерности	Серьезное повреждение листьев может иметь место, несомненно влияя на урожайность
Микро-орошение: капельное и внутривпочвенное	Вероятно, не имеет места, за исключением контакта с влажным поливным оборудованием	Вероятно, не имеет места	Вероятно, не имеет места, за исключением концевых частей поля вследствие низкой равномерности	Вероятно, не имеет места
Микро-орошение: микро дождевание и микро распыление	Обычно рабочие не появляются в поле во время полива, но они могут контактировать с влажным поливным оборудованием	Плоды и овощи могут быть загрязнены, но немного при подкрановом орошении без ветра	Вероятно, не имеет места, за исключением концевых частей поля вследствие низкой равномерности	Серьезное повреждение листьев может иметь место, несомненно влияя на урожайность однолетних культур, но не деревьев

4.4. Дефицитное орошение и продуктивность использования воды

Дефицитное орошение, как описано в обзоре English & Raja (1996), является оптимизационной стратегией, при которой сельхозкультуры умышленно подвергаются воздействию некоторой степени водного дефицита и снижения урожайности. Применение дефицитного орошения подразумевает соответствующее знание ET культуры, отзывчивость культуры на водный дефицит, включая идентификацию критических периодов развития и экономическое воздействие на стратегию снижения урожайности.

Дефицитное орошение подразумевает применение соответствующих графиков поливов, которые строятся при помощи утвержденных моделей расчета графиков поливов (например, Teixeira et al., 1995; Liu et al., 2000; Sarwar & Bastiansen, 2001) или на основе экстенсивных полевых опытов (например, Oweis, 1997).

Когда стратегия дефицитного орошения выводится из многофакторных полевых опытов, как для дополнительного орошения зерновых, оптимальный график поливов часто основан на концепции WP или, как часто называется, WUE (например, Oweis et al., 1998; Zhang et al., 1998; Oweis & Zhang, 1998; Zhang & Oweis, 1999). Здесь используется символ WP ($\text{кг}/\text{м}^3$). В таблице 10 приводятся