



УМЕРЕННЫЙ КЛИМАТ

РИСОВЫЕ СИСТЕМЫ

УПРАВЛЕНИЕ  
КАЧЕСТВОМ  
ПОСРЕДСТВОМ  
СЕРТИФИКАЦИИ

СУБТРОПИКИ

КОНТРОЛЬ  
КАЧЕСТВА

ПОДДЕРЖКА  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ  
ПРОДУКЦИИ  
СЕРТИФИКАЦИЯ  
ПОСРЕДСТВОМ  
ОТРИЦАТЕЛЬНОГО  
СЕРТИФИКАТА

ПОЛУЗАСУШЛИВЫЕ ТРОПИКИ

УПРАВЛЕНИЕ  
КАЧЕСТВОМ  
ПРОДУКЦИИ

УПРАВЛЕНИЕ  
КАЧЕСТВОМ  
ПРОДУКЦИИ  
СЕРТИФИКАЦИЯ  
ПОСРЕДСТВОМ  
ОТРИЦАТЕЛЬНОГО  
СЕРТИФИКАТА

УПРАВЛЕНИЕ  
КАЧЕСТВОМ  
ПРОДУКЦИИ  
СЕРТИФИКАЦИЯ  
ПОСРЕДСТВОМ  
ОТРИЦАТЕЛЬНОГО  
СЕРТИФИКАТА

НАГОРЬЯ

СИСТЕМЫ



## Глава 4

# ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ И ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Как уже обсуждалось в Главе 1, ожидалось, что более четырех пятых прироста производства к 2050 году будет получено на обрабатываемых сейчас площадях. Однако многие системы уже ограничены либо из-за существующего высокого уровня продуктивности, либо из-за наличия технических, социально-экономических и институциональных препятствий. Кроме того, по мере возрастания интенсивности земледелия риски и связанные с ними компромиссные решения станут еще более актуальными. В настоящей главе рассматриваются различные технические решения, позволяющие продвинуться по пути устойчивого управления земельными и водными ресурсами – иными словами, по пути более интенсивного интегрированного управления почвой, водой, питательными веществами и другими входными ресурсами в целях повышения урожайности при одновременном повышении качества окружающей среды и сохранении природных ресурсов как в месте сельскохозяйственного производства, так и вокруг него.


ТЕМЫ В АЗИИ



СИСТЕМЫ РЕЧНИ

И, ИСПОЛЬЗУЮЩ

КАЧЕСТВО ПРОИЗВОДСТВА



Несмотря на то, что прироста площадей богарного земледелия не происходило, по-прежнему ожидается, что богарное земледелие будет обеспечивать одну треть мирового прироста производства продуктов питания. Системы богарного земледелия в умеренных зонах еще высокоурожайны, но страдают от загрязнения удобрениями и пестицидами. Мелкие фермерские хозяйства в системах богарного земледелия в развивающихся странах сталкиваются с гораздо более серьезными проблемами – низким качеством почв, дефицитом влаги в почве и высокими уровнями агроклиматических рисков, усиливающихся в условиях изменения климата. Кроме того, у них отсутствует выход на выгодный рынок ресурсов для инвестиций в повышение продуктивности.

## Повышение продуктивности богарного земледелия

Рост объемов урожая играет значительную роль в снижении уровня бедности. Подсчитано, что каждый процент повышения урожайности обеспечивает уменьшение на 0,6–1,2% числа абсолютно бедных, то есть числа домохозяйств, которые не могут удовлетворить базовые потребности для выживания (Thirtle *et al.*, 2001). Однако эти данные также указывают на то, если не стимулировать изменение систем земледелия в развивающихся странах, то урожайность зерновых при сохранении традиционного управления остановится на уровне менее 2 т/га. Некоторые африканские страны собирают 20% от возможного размера урожая. В противоположность им другие страны повысили урожайность на несколько процентных пунктов за последние годы (например, страны на юге Африки). Тенденции, отмеченные в течение пятилетнего периода с 2000 по 2005 г., подтверждают, что повышение продуктивности возможно как в более развитых странах (повышение на 4%), так и в менее развитых странах (повышение на 3%), что приведет к уменьшению разрыва в урожайности. Разрыв между существующей и возможной урожайностью является наибольшим в странах Африки к югу от Сахары, где фермерские хозяйства с небольшими входными ресурсами могут удвоить урожайность зерновых. Таким образом, существует возможность сократить разрыв в урожайности для некоторых беднейших регионов мира, при этом развивающиеся страны могут удвоить среднюю урожайность зерновых с 2,9 до 5,7 т/га (Fischer *et al.*, 2001).

Быстрое повышение урожайности богарного земледелия в некоторых районах показывает, что улучшения можно добиться при наличии на месте благоприятных условий (Molden, 2007). Эти условия включают институциональную реформу, которая обеспечит внедрение передовых технологий, эффективные рынки для конечной продукции и товаров, необходимых в сельскохозяйственном производстве, дорожную инфраструктуру, механизацию, более рациональное использование удобрений и использование высокоурожайных сортов, а также улучшение управления влагой в почве. Это условия, которые обеспечили быстрый рост продуктивности богарного сельского хозяйства в Азии и в развитых странах. Однако, несмотря на то, что все эти условия хорошо известны и показали свою ценность, урожайность мелких фермерских хозяйств богарного сельского хозяйства в развивающихся странах, невзирая на многолетние усилия, предпринимаемые для повышения производительности, оставалась на прежнем уровне, особенно в странах Африки к югу от Сахары. Урожайность богарного земледелия в Восточной Африке в течение многих лет оставалась на уровне 16% от возможного.

Одной из основных проблем богарного земледелия является внедрение доступных технических решений по улучшению управления без повышения рисков. Системы богарного земледелия в развивающихся странах часто характеризуются низкой продуктивностью из-за недостаточной и изменчивой доступности воды, а также проблемами окружающей среды и почвы, включающими в себя засоление почв, перепады температур и отсутствие питательных веществ. Имеющиеся в наличии технологические решения являются специфически низкоурожайными: инновации зеленой революции в значительной степени зависят от наличия воды. Кроме того улучшения, направленные на повышение продуктивности богарного земледелия, обычно повышают уровень риска. А риски, присущие богарному земледелию, усугубляются рисками, связанными с изменчивостью климата.

В некоторых регионах эти ограничения удалось преодолеть. В Китае инвестиции в комбинированное управление земельными и водными ресурсами принесли хорошие доходы с управляемым уровнем риска. Проект по восстановлению водораздела на Лессовом плато, охвативший территории площадью 1,5 Мга, продемонстрировал, что улучшение управления земельными и водными ресурсами может быть прибыльным (вставка 2.7). В других регионах мира (Австралия, Аргентина, Африка к югу от Сахары, Казахстан и Канада) были с некоторым успехом внедрены несколько технологий по управлению дождевой водой и методик сберегающего земледелия, и поступает все больше данных, что фермеры начинают использовать эти нововведения (Pretty *et al.*, 2011). Одна из проблем заключается в том, что многие инновации окупают вложенные инвестиции только спустя некоторое время.

## Управление здоровьем и плодородием почвы

Главными проблемами богарного земледелия являются низкое содержание и невысокое качество питательных веществ в почвах и плохая структура почв. Самая низкая средняя продуктивность богарного сельского хозяйства отмечается в Африке к югу от Сахары, особенно в мелких хозяйствах, из-за низкого плодородия почв, усугубляемого ухудшением качества питательных веществ: урожайность зерновых часто ниже 1 т/га. Решения, опирающиеся на широкое применение удобрений, часто недоступны и слишком рискованны в низкоурожайных системах богарного земледелия. В этих случаях способствовать восстановлению и улучшению плодородия путем внедрения интегрированного управления плодородием почвы могут технологии устойчивого управления земельными и водными ресурсами, в том числе сберегающее земледелие (Pretty *et al.*, 2011).

### Выгоды от сохранения здоровья почв

Прямые и косвенные выгоды от улучшения управления почвами в сельскохозяйственных системах можно оценивать с точки зрения экономики, охраны окружающей среды и обеспечения продовольственной безопасности:

- Экономические выгоды: улучшение управления почвами снижает стоимость необходимых факторов сельскохозяйственного производства путем улучшения эффективности использования ресурсов (особенно разложение и кругооборот питательных веществ, фиксация азота, сбор и перемещение воды). Потребность в удобрениях может быть уменьшена, если кругооборот питательных веществ станет более эффективным и меньшее количество питательных веществ будет вымываться из прикорневой зоны. Может быть уменьшена потребность в пестицидах там, где имеются разнообразные природные враги насекомых – вредителей сельскохозяйственных культур. По мере улучшения качества почвы улучшается доступность воды и питательных веществ для растений. Подсчитано, что кругооборот питательных веществ обеспечивает наибольший вклад (51%) в общую стоимость (33 трлн долл. США) всех «экосистемных услуг» (включая культурные услуги, переработку отходов, ликвидацию последствий нарушений, водоснабжение, производство продуктов питания, регулирование использования газов и воды), предоставляемых ежегодно (Constanza *et al.*, 1997).
- Охрана окружающей среды: почвенные организмы фильтруют и обезвреживают химические препараты и абсорбируют избыточные питатель-

ные вещества, которые в случае попадания в грунтовые или поверхностные воды станут загрязнителями. Управление почвенными организмами помогает предотвратить загрязнение и деградацию земельных ресурсов, особенно путем минимизирования использования химических препаратов и сохранения или улучшения структуры почвы и повышения емкости катионного обмена (ЕКО). Чрезмерное снижение биоразнообразия почв, особенно утрата ключевых видов или видов с уникальными функциями (например, в результате чрезмерного применения химических препаратов, сокращения среды обитания или воздействия внутренних факторов), может оказать катастрофическое экологическое воздействие, ведущее к утрате сельскохозяйственной продуктивности. Совокупность почвенных организмов также частично определяет устойчивость почвы и ее способность восстанавливать прежнее состояние.

- Продовольственная безопасность: улучшение управления почвой может повысить объем и качество урожая, особенно путем контроля над вредителями и болезнями, и улучшить рост растений. Почвенное биоразнообразие определяет эффективность использования ресурсов, а также устойчивость и стабильность агроэкологических систем.

### Технологии управления плодородием почв

Недостаточные вложения в сельское хозяйство ведут к истощению почвы, уменьшая количество питательных веществ в почве и приводя к снижению сельскохозяйственного производства, что в конечном итоге приводит к неустойчивости системы земледелия. Правильное использование минеральных удобрений в комбинации с другими технологиями улучшения здоровья почвы показало свою эффективность в восстановлении и улучшении плодородия почвы и обеспечении возрастающих урожаев. Однако минеральные удобрения не по карману многим фермерам, и в любом случае они являются только элементом в решении проблемы плодородия почв.

Органические источники питательных веществ повышают плодородие почв и улучшают ее структуру, а также удержание воды и биологическую активность. Они могут быть получены путем использования отходов растениеводства, навоза животных, компостирования органических отходов или путем биологической фиксации бобовыми растениями, использования сидеральных удобрений или деревьев, фиксирующих азот. Однако одних этих источников для повышения плодородия почвы недостаточно. Переработка отходов растениеводства снижает потери, но не компенсирует питательных веществ, которые были израсходованы на производство урожая, не вносит дополнительных питательных веществ. Органические удобрения должны сочетаться с другими источниками питательных веществ.

Использование местных фосфоритов (фосфоритной руды) может быть важным элементом интегрированной системы питания растений как важный источник фосфора или как часть стратегии по рекапитализации фосфора. Использование фосфоритов эффективно преимущественно на кислых и фиксирующих фосфат почвах, имеющих главным образом во влажных тропиках, которые засажены лесом или используются под многолетние растения, такие как масличная пальма, какао или кофе. В целях повышения эффективности использование фосфоритов должно сочетаться со сбалансированным внесением других питательных веществ.

В сильнокислых почвах внесение в почву извести или доломита позволяет уменьшить дефицит кальция и магния, а также нейтрализует токсичность алюминия, что в целом ограничивает проникновение корней и таким образом сокращает доступ к другим питательным веществам и воде в подповерхностных слоях. Без внесения этих веществ эффективность других мер по повышению плодородия почвы будет очень ограничена. Объем и способ применения зависят от выращиваемых культур (некоторые являются кислостойчивыми) и характера почв. Внесение избыточного объема извести может снизить доступность важных микроэлементов.

Чередование культур в системах земледелия снижает негативное воздействие монокультурного земледелия на почвы и может оказать положительное влияние на здоровье почвы, улучшая ее качество и кругооборот питательных веществ и сохраняя биоразнообразие. Биоразнообразие в рамках системы земледелия может быть достигнуто за счет совмещения и уплотнения культур (выращивание двух и более культур одновременно на одной и той же территории), севооборота (выращивание разных культур последовательно на одной и той же территории) и сменных уплотненных посевов (выращивание разных культур с частично перекрывающимися периодами вегетации). Имеются также свидетельства того, что использование разнообразия культур может улучшить эффективность микоризных (грибково-корневых симбиозов) связей в системе земледелия при условии, что почвы не подвергаются механическому воздействию (например, в результате обработки почвы, которая негативно влияет на жизнедеятельность грибов, а также на мезо- и макрофауну).

Использование бобовых культур повышает биологическую фиксацию азота. Однако несмотря на то, что объем азота, фиксируемого бобовыми растениями в экспериментальных условиях, хорошо изучен, пока нет достаточного объема данных о выгодах от использования бобовых культур в условиях фермерского хозяйства. Часто требуется инокуляция бобовых культур, но при этом отсутствуют необходимая инфраструктура и система распространения знания в области сельского хозяйства. Более того, эффективность фиксации азота ограничивается дефицитом фосфора в почве. Учитывая, что фермеры будут выращивать большую часть бобовых для употребления в пищу (например, фасоли, вигны китайской, каянуса, арахиса), это может подтвердить экономическую выгоду от сменных или смешанных посевов.

Агроресоводческие системы внесли вклад в повышение плодородия почвы. Хорошим примером этого является использование файдхербии белой (белой акации) (*Faidherbia albida*, *Acacia albida*). Урожайность зерновых значительно выше под кронами деревьев, чем на открытом пространстве (вставка 4.1). Положительный эффект является следствием более высокого содержания почвенной органической материи и удобряющего эффекта навоза животных, пасущихся в тени деревьев. Также важно поддерживать защитный слой почвы за счет минимальной или нулевой обработки почвы, использовать отходы растениеводства и мульчу для сокращения испарения воды с обнаженной почвы и оптимизировать инфильтрацию дождевой воды и глубинный дренаж. Эти приемы положительно влияют на плодородие почв и, соответственно, на объем урожая и эффективность использования воды. Они также снижают риск засухи.

### Необходимость улучшения

Технические действия по повышению и восстановлению плодородия почвы должны выбираться и разрабатываться в соответствии с конкретными огра-



*Кукуруза растет под файдхербией беловойтой в южной Танзании*

Комбинирование в сельском хозяйстве деревьев (агролесоводство) и сохраняющего земледелия показывает себя как доступное по стоимости и технологии научно обоснованное решение, направленное на повышение заботы о почве и увеличение производительности мелких фермерских хозяйств. Миллионы фермеров в Замбии, Малави, Нигере и Буркина-Фасо восстанавливают истощенные почвы и увеличивают урожаи и доходы за счет использования этого подхода. Наиболее многообещающим является включение деревьев в растениеводческие системы. Эти деревья улучшают плодородие почв путем связывания азота из воздуха и перемещения его в почву через свои корни и опавшие листья.

В течение многих лет ученые из Международного центра научных исследований в области агролесоводства и национальных институтов оценивали удобряющие свойства различных видов деревьев, включая сесбанию, глициридию подзаборную и тефрозию. На данный момент наиболее многообещающим выглядит использование файдхербии беловойтой. Это эндемичная африканская акация является природным компонентом систем по всему континенту. В отличие от многих деревьев файдхербия сбрасывает листья в начале сезона дождей и остается в спящем состоянии в течение периода вегетации культурных растений: листья вырастают снова с началом засушливого сезона. Такая обратная фенология делает это дерево совместимым с культурными растениями потому, что не конкурирует с ними за свет, питательные вещества или воду в течение всего сезона выращивания этих культур.

В настоящее время в Замбии 160 тыс. фермеров выращивают различные пищевые культуры, применяя в агролесоводстве использование файдхербии на площади 300 тыс. га. Союз сохраняющего земледелия Замбии выявил, что урожайность кукурузы на неудобряемых полях вблизи файдхербии составляет 4,1 т/га по сравнению с 1,3 т/га поблизости, но за пределами кроны деревьев. Похожие обнадеживающие результаты получены в Малави, где урожайность кукурузы возросла под кронами файдхербии на 280% по сравнению с посевами за пределами этой зоны. В настоящее время в Нигере территории агролесоводства с использованием файдхербии составляют более 4,8 Мга и показывают большие урожаи проса и сорго. Многообещающие результаты также были отмечены в Индии и Бангладеш.

*Источник: Garrity et al. (2010) Фото: © World Agroforestry Centre.*



ничениями и возможностями. Пропаганда биологической фиксации азота там, где бобовые не являются традиционными сельскохозяйственными культурами, может столкнуться с медленным внедрением этой технологии. Использование фосфоритов за пределами гумидных и влажных субгумидных зон с кислыми почвами будет иметь ограниченную эффективность. Внесение извести может быть эффективным для снижения токсичности алюминия в кислых почвах, но оно будет излишним на почвах с хорошим насыщением кальцием. Применение удобрений в полупустынных районах должно сопровождаться мерами по сбору и сохранению воды или небольшим орошением. Необходимо подобрать время для внесения удобрений на почвах с низкой способностью к удержанию питательных веществ. Применение только органических удобрений в полупустынных районах, где объем производства биомассы ограничен, нереально. То же самое относится к применению исключительно навоза скота в районах с высокой инфестацией мухой цеце.

Денежные вложения редко применяются в натуральном хозяйстве. Несмотря на значительный рост использования удобрений в небольшом количестве африканских стран к югу от Сахары, применение удобрений в целом остается невысоким из-за неблагоприятного соотношения затрат и выгод, высоких рисков и слабых рынков. Однако по сравнению с прошлыми годами основные культуры (например, кукуруза, тэфф, ячмень и пшеница) все чаще оказываются среди удобряемых (Morris *et al.*, 2007).

Для каждой ситуации местного земледелия должны быть разработаны определенные пакеты мер. Многочисленные попытки улучшить плодородие почвы не имели успеха, потому что были предложены неподходящие технологии, а также потому что элементарная информация о характеристиках природных ресурсов была проигнорирована. Рекомендации, которые были сформулированы для целых стран и регионов без учета большого разнообразия ситуаций на уровне отдельной фермы, часто оказывались контрпродуктивными. Необходимы пакеты мер, адаптированные под местные условия; технические альтернативы оптимизируются для конкретных экологических и социально-экономических условий.

При применении различных методов существует большое число ограничений. Растительные остатки могут быть использованы на корм скоту, в качестве топлива или строительного материала и им в этом качестве часто нет замены. Их также сжигают для борьбы с сорняками и вредителями. Использование навоза эффективно в приусадебном садоводстве при стойловом содержании скота, но при пастбищном животноводстве навоз невозможно собирать с обширных территорий. Компостирование требует большого объема ручного труда, и количество органических остатков на небольших фермах ограничено. Травы и бобовые в качестве почвопокровных растений конкурируют с продовольственными культурами за территории и доступные питательные вещества и воду. Те же самые ограничения характерны для использования зеленого навоза, при котором потребуются значительный объем ручного труда для внесения произведенной биомассы. Основным ограничением внесения дополнительного количества органики в почву является отсутствие тягловой силы и быстрой отдачи.

Таким образом, во многих случаях для построения системы стимулов пакеты мер должны оцениваться точки зрения «выполнимости и риска». За последнее время в странах Африки к югу от Сахары были разработаны пакеты мер, позволяющие управлять риском и обеспечить стимулы фермерам (вставка 4.2).



Компост на ферме (Непал)

Интегрированное управление плодородием почвы – это стратегия, включающая в себя как органические, так и неорганические питательные вещества для повышения урожайности, предотвращения деградации почв и снижения потери питательных веществ. Она опирается на получение питательных веществ органического производства, таких как компост, навоз, неорганические удобрения, и/или на интеграцию культур, фиксирующих питательные вещества в почве. Комплексное использование органических и минеральных добавок в растениеводстве оказывает большое положительное взаимодополняющее влияние. Однако в целях долгосрочного позитивного воздействия на здоровье почвы следует избегать почвообрабатывающих операций на почве.

Источник: CDE (2010). Фото: К. М. Sthapit.

Некоторые приемы на деле предоставляют несколько стимулов. Разнообразие растений кроме всего прочего имеет преимущество в том, что делает переход на новые технологии привлекательным для фермеров, в том числе благодаря распределению рыночных рисков, повышению возможности получения дополнительных доходов, улучшению питания, более равномерному распределению спроса на рабочую силу в течение года и снижению риска потерь от вредителей и неблагоприятных погодных факторов, таких как засуха.

## Управление влажностью почвы в зонах богарного земледелия

Улучшение богарного земледелия зависит от наличия адекватного количества воды, поступившей к корням растений. Первая линия действий по сохранению влажности почвы – это максимальное использование выпадающих осадков. Такие меры предусматривают минимизацию непродуктивного испарения, повышение содержания органических компонентов в почве и минимизацию нарушений структуры почвы путем использования соответствующих агротехнических приемов, включая сохраняющее земледелие.

Для управления влажностью почвы в районах с большим количеством осадков традиционно используется ряд систем сбора дождевой воды, включая террасирование и отклонение поверхностного стока. Есть немало технических возможностей по улучшению управления водными ресурсами в богарных областях путем сбора большего количества воды и более эффективного сохранения влаги в почве, однако существует и много технических и социально-экономических ограничений на пути внедрения этих технологий.

Сбор дождевой воды имеет целью улучшение управления водными ресурсами и обеспечение достаточного количества влаги в почве для корней растений в течение периода вегетации (вставка 4.3). Такой сбор поверхностного стока с управляемой территории водосбора позволяет сохранить воду либо в зоне сбора воды, либо в самом слое почвы. Технологии включают простые системы, расположенные непосредственно на полях и отклоняющие воду в борозду с растениями, системы в зоне водосбора, которые направляют поверхностный сток в резервуар для хранения или на поля, постоянные тер-

#### ВСТАВКА 4.3. СБОР ДОЖДЕВОЙ ВОДЫ



*Сбор дождевой воды (поверхностного стока) с помощью бороздового дренажа (Сирия)*

Для сбора дождевой воды применяются различные технологии, которые собирают поверхностный сток для того, чтобы использовать его в сельскохозяйственном производстве или для бытовых нужд. Цель сбора дождевой воды – минимизация изменчивости доступности воды и повышение надежности сельскохозяйственного производства. Основными компонентами систем сбора дождевой воды являются (1) зона водосбора, (2) зона накопления/хранения воды и (3) зона использования воды. Когда поверхностный сток задерживается непосредственно в почве, первая (1) и третья (3) являются синонимами. Для сбора дождевой воды используется широкий спектр различных технологий: от простых мер, как V-образные структуры с канавкой для посадки растений, до более сложных и крупных структур, таких как дамбы. Затраты на создание систем сбора дождевой воды сильно разнятся.

*Источник: CDE (2010) Фото: F. Turkelboom.*

расы и дамбы (CDE, 2010). Эффективный сбор дождевой воды может повысить урожай в два-три раза по сравнению с обычным богарным земледелием, особенно в комбинации с использованием улучшенных сортов и технологий минимальной обработки земли для сохранения воды. Несколько центров Консультативной группы по международным сельскохозяйственным исследованиям (СГИАР) исследуют проблемы сбора дождевой воды и связанные с этим вопросы отбора засухоустойчивых растений, способных эффективнее использовать воду, а также приемы агрономического управления в засушливых областях (World Bank, 2006: 170).

Ведение сельского хозяйства на склонах сталкивается с проблемами быстрой потери влаги из почвы и эрозий, вызванных поверхностным стоком. Имеются многочисленные вегетативные и структурные технологии для сохранения почвы и воды, включая устройство по контуру защитных полос из растений (вставка 4.4), а также террас и насыпей, которые служат структурными барьерами (вставка 4.5). Вегетативные меры обычно требуют меньших капиталовложений и легче реализуются, и фермеры отдают предпочтение им, а не более требовательным структурным мерам. Структурные меры должны

#### ВСТАВКА 4.4. ЗАЩИТНЫЕ ПОЛОСЫ ИЗ НАСАЖДЕНИЙ



*Природные защитные полосы (Филиппины)*

Защитные полосы могут состоять из трав, кустарников и деревьев. Они используются по контуру для предотвращения излишнего поверхностного стока, но могут также располагаться перпендикулярно для ветрозащиты и ограничения ветровой эрозии. Защитные полосы вдоль контуров часто ведут к образованию дамб или террас из-за эрозии, вызванной почвообработкой, в результате которой слой почвы смещается вдоль склона. По сравнению с террасами и дамбами защитные полосы легче устроить, и они не требуют больших затрат. Защитные полосы могут быть также использованы на равнинах для формирования лесополос, ветрозащиты или как барьеры, окружающие поля.

*Источник: CDE (2010) Фото: A. Mercado, jr.*



Создание небольших террас в Таиланде

Структурные барьеры используются на склонах для замедления скорости поверхностного стока и снижения эрозии почвы. Это достигается путем уменьшения крутизны и/или длины склона. Структурные барьеры повсеместно используются как традиционная мера по сохранению почвы и воды. Структурные барьеры часто объединяются с повышением плодородия почв (например, мульчированием, внесением навоза или удобрений).

Источник: CDE (2010) Фото: S. Sombatpanit.

продвигаться наряду с вегетативными, особенно в ситуации, когда последних недостаточно, например, на очень крутых склонах, подверженных эрозии. В идеале структурные меры сопровождаются вегетативными или агрономическими мерами для защиты и улучшения плодородия почвы и управления водными ресурсами.

Эти приемы традиционно опираются на использование значительного объема дешевого или субсидированного ручного труда и на использование тягловых животных. На маргинальных землях в районах с малым количеством осадков ограниченные возможности сохранения почвы в пределах фермерского хозяйства все еще остаются рискованными. Недавний опыт внедрения новых агротехнических приемов во многих странах показал, что эти приемы часто не приносят прибыли фермерам и повышают риск. Таким образом, указанные технологии редко используются в отсутствие поддержки проекта.

Наилучшие возможности сулит применение адаптивных технологий управления, когда улучшение растительного покрова и совершенствование сохранения органической материи и влаги в почве сочетаются с использованием соответствующих адаптированных сортов. Стратегии для получения стабильных урожаев в условиях климатической изменчивости и повышение урожаев путем улучшения управления почвой, водой и биологическими ресурсами идут рука об руку. Инвестиции в улучшение управления водными ресурсами в сельском

хозяйстве нуждаются в формировании пакета мер, который объединил бы технологии эффективного использования почвы и воды и агротехнические приемы с развитием сельской местности и повышением благосостояния сельского населения, в частности в том, что касается доступа на рынки для продажи конечных продуктов и покупки необходимых материалов.

## Интегрированные подходы к повышению продуктивности богарных систем

Были разработаны несколько подходов к сельскохозяйственному производству, которые объединили лучшие технологии устойчивого управления земельными и водными ресурсами, адаптированными как к местным экосистемам и социальным условиям, так и к меняющемуся рыночному спросу (Neely and Fynn, 2010; CDE, 2010). Они объединяют улучшение управления земельным и водными ресурсами для интенсификации производства путем интегрированного управления плодородием почвы, повышение эффективности использования воды и диверсификации используемых культур. Эти подходы позволяют фермерам, в том числе мелким хозяйствам, добиться устойчивого роста продуктивности. Некоторые из этих подходов применимы и в крупных хозяйствах.

### Агроэкологические подходы

Агроэкологические подходы объединяют знания в области экологии и агрономии для продвижения целостного системного подхода к сельскому хозяйству и системам производства продовольствия с использованием ряда традиционных и современных подходов. Агроэкологические подходы объединяют методы, отобранные из традиционных знаний, альтернативного земледелия, передовых научно обоснованных технологий и местных пищевых систем. Чаще всего такие подходы предполагают методы минимальной обработки почвы, севооборот с использованием кормовых трав, уплотнение посевов, регулярную смену культур, объединение растениеводства и животноводства, внутривидовое разнообразие и использование семян, выращенных в хозяйстве, управление средой обитания и управление численностью вредителей, в большей степени чем «борьбу» с ними. Агроэкологические подходы используют привлечение полезных хищных и паразитирующих насекомых, улучшение флоры и фауны, включая микоризу и фиксаторы азота, а также сохранение таких ресурсов, как энергия и вода (путем сухого растениеводства и эффективного орошения), повышение запасов питательных веществ и органической материи в почве (Neely and Fynn, 2010; Pretty *et al.*, 2011).

### Ресурсосберегающее земледелие

Применение ресурсосберегающего земледелия направлено на сохранение природных ресурсов при одновременном повышении урожайности и устойчивости. Системы ресурсосберегающего земледелия группируются вокруг трех основных технологий, которые при одновременном применении обеспечивают основу для устойчивых улучшений в производительности за счет объединения воздействий: минимального нарушения структуры почвы, постоянного почвенного покрова и разнообразия культур.

Ресурсосберегающее земледелие обеспечивает (1) улучшение инфильтрации дождевой воды (за счет уменьшения поверхностного стока, испарения и эрозии), (2) повышает биоразнообразие и объем органической материи

в почве, а также (3) улучшает структуру почвы. Объем ручного труда сокращается, и минимизируется использование синтетических удобрений, пестицидов и ископаемого топлива. Однако результаты приносит только одновременное применение всех трех приемов. Ресурсосберегающее земледелие подходит как для мелких, так и для крупных хозяйств. Его использование особенно привлекательно в ситуациях, когда ощущается острая нехватка рабочей силы. В силу наличия значительного положительного опыта ресурсосберегающее земледелие пропагандируется ФАО по всему миру, и сейчас оно применяется на площади 117 млн га всех сельскохозяйственных земель.

### **Органическое земледелие**

Органическое земледелие не предполагает использования синтетических средств сельскохозяйственного производства, сохраняет почву и воду для оптимизации продуктивности имеющимися средствами. Это система комплексного управления, в рамках которой минимизируется использования или вообще исключается использование синтетических удобрений, пестицидов и генетически модифицированных организмов; она сохраняет воду и почву и стремится оптимизировать здоровье и продуктивность во взаимозависимых сообществах растений, животных и людей.

Органическое земледелие включает несколько мер: севооборот и улучшенное разнообразие сельскохозяйственных культур; различные комбинации животноводства и растениеводства; симбиотическую фиксацию азота бобовыми, использование органического компоста; биологическую борьбу с вредителями за счет использования растений, такую как «привлечение и отпугивание». Все эти стратегии направлены на то, чтобы наилучшим образом задействовать местные ресурсы. Однако средне- и крупномасштабное органическое производство часто требует внесения биологических материалов (в форме компоста, мульчи и т. д.) с тем, чтобы поддерживать продуктивность почвы. Средне- и крупномасштабное органическое производство также часто требует механическую обработку почвы.

Органическое земледелие – это устойчивая система, которая минимизирует конфликт с другими экосистемными услугами и имеет большие коммерческие перспективы из-за роста спроса на органическую продукцию со стороны потребителей. В органическом земледелии по всему миру занято 1,2 млн человек, под него отведено около 32 млн га, включая 30 млн га, с которых собирается урожай органических диких культур (CDE, 2010; Neely and Fynn, 2010).

### **Агролесоводство**

Агролесоводство – это система землепользования, в которой древовидные многолетники интегрированы с растениеводством и животноводством для получения выгодных сочетаний и достижения баланса экологических потребностей с устойчивым использованием древесных и лесных ресурсов. Агролесоводство предоставляет много преимуществ и услуг – более продуктивное и устойчивое использование почвы и водных ресурсов, многочисленные топливные, кормовые и пищевые товары и поддержание среды обитания связанных видов. Обычно между компонентами системы существует экологическое и экономическое взаимодействие.

Существуют пять основных видов агролесоводства: аллейное выращивание, интенсивное лесоводство, совместное управление лесными и пастбищными

Системы сильвопасторализма (совместного управления лесными и пастбищными угодьями) включают в себя высаживание деревьев на пастбищах, которые обеспечивают тень и убежище, повышают устойчивость и в некоторых случаях улучшают качество кормов. Совместное управление лесными и пастбищными угодьями позволяет достичь потрясающих результатов: 20 лет назад в регионе Шиньянга (Танзания) темпы эрозии были таковы, что песчаные бури были обычным явлением; сейчас в результате работы Программы по реабилитации земель Шиньянги (HASHI) посадки деревьев дают дрова и строительную древесину, плодовые сады обеспечивают людей продовольствием, а скот – кормами с высоким содержанием протеинов.

*Источник: Neely and Fynn (2010).*

угодьями (вставка 4.6), прибрежные лесозащитные полосы и ветрозащитные полосы. Агролесоводство может включать широкий спектр технологий: выращивание по контуру, выращивание стратифицированных культур, пространственное и временное уплотнение посевов, сбор нескольких урожаев в год, засаживание пустующих участков кустарниками и деревьями, разбивка парков или приусадебных садов. Многие из подходов формируют часть традиционной системы землепользования, которая может быть улучшена с использованием новых или более совершенных технологий.

### Интегрированные растениеводческие и животноводческие системы

Смешанные и интегрированные системы оптимизируют использование биомассы кругооборота питательных веществ в рамках растениеводческой и животноводческой систем производства. Интегрированные системы растениеводства и животноводства положительно влияют на биоразнообразие, здоровье почвы, экосистемные услуги и сохранение лесов. Из-за интеграции компонентов они могут экономически конкурировать с интенсивными крупномасштабными операциями. Варианты включают системы с деревьями и без деревьев либо аквакультуры, агропастбищные системы с деревьями или без деревьев.

Основной целью является синергетическое взаимодействие компонентов. Отходы, например, навоз от животноводства, используются с целью улучшения плодородия почв для растениеводства, в то время как растительные остатки используются в качестве дополнительных кормов для животных. Смешанные системы разнообразят продукцию, эффективно используя ресурсы и улучшая устойчивость к рискам изменений климата, рыночной изменчивости или остановке производства.

### Традиционные системы земледелия

Традиционные системы земледелия объединяют аборигенные формы экологического земледелия, появившегося в результате совместного развития природных и социальных систем. Эти системы обычно характеризуются высокой степенью сложности и разнообразием используемых растений. Можно многому научиться от очень специфического использования экологических знаний и природных ресурсов в таких системах, потому что они основаны на высокоразвитом объединении производительной и природной систем. Некоторые сейчас получили статус Объекта всемирного сельскохозяйственного



наследия (ОВСН). Осторожное внедрение новых методов управления в такие системы, основанное на технологиях устойчивого управления земельными и водными ресурсами, может повысить урожайность, особенно в агролесоводстве и в интегрированных растениеводческих и животноводческих системах. Однако некоторые формы традиционного земледелия сталкиваются с проблемами, которые могут сделать их менее устойчивыми, и поэтому необходимы перемены (CDE, 2010; Neely and Fynn, 2010).

### **Устойчивые агропастбищные и пастбищные технологии**

Здоровые и продуктивные пастбища в засушливых районах получают в результате частого перемещения скота, собранного в очень крупные стада. Контролируемый выпас позволяет также распределять навоз и мочу, что улучшает органическое состояние почвы и ее питательные вещества для продуктивности растений. В действительности выбивание пастбища скотом это больше вопрос времени, чем конкретного количества животных в стаде, – оно происходит, когда скот пасется там, где надземные части растений и корневые системы не успели восстановиться. Спланированная в глобальных масштабах схема пастбищного животноводства (Savory and Butterfield, 1999) призвана улучшить почвенный покров, увеличить многообразие растительности и улучшить биомассу, увеличить просачивание воды и повысить плотность популяции, что позволит лучше распределять навоз и мочу при ограниченном времени выпаса. Все это в результате принесет улучшенное производство биомассы и повышение качества и продуктивности скота. Управляемые сообщества службы охраны природы в Кении используют холистический выпас скота для улучшения его продуктивности и численности дикой флоры и фауны (вставка 4.7).

Многие исследователи пастбищных систем выявили, что экстенсивное животноводство на общинной земле является самым подходящим использованием полусухих земель Африки (Scoones, 1995). Поэтому превращение ресурсов, фактически общинных, что часто бывает на пастбищных землях, в частные будет способствовать краткосрочному использованию ресурсов, а не требуемому сохранению их на длительный срок.

Ключевые ограничения, вытекающие из недостаточного развития права землевладения, поощрение приватизации и минимальных услуг в области здравоохранения и образования должны учитываться, чтобы гарантировать устойчивые и успешные синергетические отношения между животноводством и здоровьем окружающей среды (UNCCD, 2007). Повышение способности скотоводов развиваться в направлении стабильного управления пастбищными землями требует комплекса мероприятий, включающих в себя адаптивные подходы в управлении, социальную организацию и мероприятия в области землевладения, охватывающие общинные ресурсы, от которых зависит жизнь этих скотоводов.

### **Ограничения и вызовы**

Все описанные подходы зависят от ситуации и в каждом конкретном агроэкологическом, и социально-экономическом контексте их необходимо изменять и адаптировать. Основные вызовы в этой области относятся к знаниям, стимулам и ресурсам. Все подходы требуют знаний и их передачи, а также институциональной базы, обеспечивающей этот процесс. Каждый подход экономически обоснован, но финансовые расходы зачастую оказываются выше, чем



На землях вокруг озера Баринго в центральной части кенийской провинции Рифт-Валли, происходит тихая природная революция по борьбе с опустошительной деградацией земель и восстановлению устойчивости лугов. Фонд реабилитации засушливых земель признает, что в районах пастбищного скотоводства, трава является самым важным сырьевым товаром. Вместе с членами сообщества служащие фонда преобразуют бассейн Баринго. Около 2 тыс. га были успешно восстановлены за счет использования посадок деревьев и трав и улучшения управления животноводством. Восстановление травяного покрова оказало позитивное влияние примерно на 15–30 тыс. чел., включая отдельные семьи скотоводов, использующих общинные поля и коллективные пастбища, а также группы взаимопомощи и женские группы. Семена трав собираются и продаются по всей Кении.

Восстановление покрова из многолетних трав позволило не только сохранить экосистемные процессы (землю, питательные вещества, воду и биоразнообразие), но привело к повышению уверенности скотоводов в своих силах и обеспечило самодостаточность. Внимание к засушливым территориям и пастбищам в Африке является неотъемлемой частью усилий по восстановлению деградировавших земель и снижению бедности.

*Источник: Elizabeth Myerhoff and Murray Roberts, RAE Trust. Фото: W. Lynam.*

в традиционных системах, и общую доходность оказывается непросто вычислить. Часть выгоды от «экологически адаптирующегося» сельского хозяйства уходит за пределы хозяйства, либо далее по производственной цепочке или более крупным выгодоприобретателям, в то время как фермеры несут все расходы. Даже если имеется стимул к получению прибыли, то затраты на капиталовложения и период внедрения, после которого технологии начнут окупаться, являются существенными сдерживающими факторами для фермеров, особенно для небогатых мелких хозяйств.

## Снабжение водой орошаемого сельского хозяйства

### Новые проекты отведения и многоцелевого использования воды

Через сорок лет, примерно к 2050 г., ожидается чистый рост водозаборов на нужды сельского хозяйства примерно на 150 км<sup>3</sup>, при этом наибольший валовой прирост планируется в Юго-Восточной Азии, Южной Америке и Африке к югу от Сахары. Большею частью это будут заборы из поверхностной воды, так как грунтовые воды в тех местах практически полностью разработаны.

Возможностей для крупных водохранилищных плотин уже меньше, чем было прежде, а малая экономическая отдача и соображения безопасности окружающей среды снизили интерес к созданию крупных плотин. Из-за больших затрат строительство плотины оправдано лишь в том случае, если она будет работать как гидроэлектростанция. Тем не менее во многих странах, в том числе в Китае, Иране и некоторых африканских странах, проекты строительства плотин полным ходом разрабатываются или рассматриваются. Некоторое количество воды для орошения может быть получено, если оптимизировать правила сброса на уже имеющихся плотинах. Трансграничное сотрудничество в развитии и управлении водными ресурсами также может повысить доступность воды для ирригации. Например, плотины гидроэлектростанций на реке Голубой Нил в Эфиопии могут обеспечить дополнительной водой орошаемые хозяйства вниз по течению.

Но в основном новые хранилища воды для орошения будут, скорее всего, небольшими. Во многих странах есть возможности для создания подобных небольших конструкций. Такие водохранилища требуют оценки возможных рисков, плюсов и минусов с социальной и экономической точек зрения, а также для окружающей среды, и кроме того, необходима разработка проектов в программе планирования бассейнов. На уровне политики отведение дополнительной воды для орошения потребует решений о закреплении за сельским хозяйством приоритета получения воды перед другими, возможно, более важными пользователями и о рисках для водной среды и водно-болотных угодий ниже по течению. Там, где речь идет о трансграничных ресурсах, правительствам надо будет оценить преимущества оптимизированного инвестирования в масштабах бассейнов (что может предполагать, например, инвестирование в гидроэлектроэнергетику выше по течению и отведение воды для орошения ниже по течению) относительно суверенитета и вопросов водной безопасности. Решение инвестировать в развитие орошаемого сельского хозяйства, а не в богарное сельское хозяйство или другие активы и услуги, ориентированные на интересы малоимущих, могут быть обусловлены воздействием возможных альтернатив для инвестирования.

### Грунтовые воды

Несмотря на такие проблемы, как истощение и загрязнение, грунтовые воды будут и дальше оставаться основным резервным запасом, гарантирующим поддержание оптимальной влажности почвы для орошаемых культур, и эта роль грунтовых вод будет вырастать вместе с изменчивостью климата (FAO, 2011d). Однако у многих стран мало возможностей для разработок новых грунтовых вод, отчего лучшее использование уже имеющихся ресурсов жизненно необходимо.

Но истощение грунтовых вод вследствие интенсивного сельского хозяйства не ослабевает (Siebert *et al.*, 2010). И если даже введение управленческих под-

ходов вряд ли восстановит большое число водоносных горизонтов до полной устойчивости, состояние водоносных горизонтов и их продуктивность можно улучшить. Недавний опыт общинного самоуправления грунтовыми водами обнадеживает в тех случаях, когда водные горизонты подпитываются, а интерес пользователей в поддержании надежных уровней сельскохозяйственной продукции высок (World Bank, 2010a).

Засоление водоносных горизонтов усиливается из-за просачивания загрязненных или соленых вод с орошаемых сельскохозяйственных земель, а также когда запасы водного горизонта истощаются и концентрация солей возрастает. Кроме того, истощение береговых водоносных горизонтов может привести к вторжению соленых вод. Основным решением данной проблемы является активное управление водоносными горизонтами с целью сокращения отбора грунтовых вод для получения устойчивого урожая. Здоровье водоносного горизонта также можно восстановить искусственным внедрением пресной воды, чтобы разбавить соленую воду или создать барьер, предупреждающий вторжение соленых вод, но это может оказаться дорогостоящей операцией и потребует очень жесткого контроля (Mateo-Sagasta and Burke, 2010).

### **Возможности для инвестирования в нетрадиционные источники воды**

В мировом масштабе только около 60% забираемой воды расходуется при испарении – примерно 2900 км<sup>3</sup> из 5200 км<sup>3</sup>. Все остальное возвращается в гидрологическую систему и оказывается потенциально доступно для вторичного использования, например, в сельском хозяйстве. Если бы всю эту воду использовали повторно, это соответствовало бы более чем трем четвертям существующего конечного объема использования. Таким образом, инвестирование в повторное использование дренажных, а также муниципальных или промышленных сточных вод может восполнить дефицит водных ресурсов.

Дренажные воды можно использовать с помощью замкнутых контуров в ирригационных системах или откачивать прямо из дренажных каналов. Применение этих относительно соленых вод создает определенный риск для сельского хозяйства и окружающей среды вследствие засоления почвы и ухудшения качества воды вниз по течению, поэтому необходимы оценка риска и контроль. Можно также реализовать мероприятия по предотвращению дальнейшего засоления воды и почвы или восстановления засоленной либо солонцевой почвы. В ряду достигнутых успехов можно назвать опыт Египта, где повторно используется более 10% годовых водозаборов пресной воды, без ущерба для солевого баланса. Опреснение соленых грунтовых вод и слабосоленых дренажных вод для сельского хозяйства невыгодно из-за высоких энергетических затрат. Исключение составляет интенсивное овощеводство, ориентированное на выращивание ценных товарных культур, таких как овощи и цветы (в основном в оранжереях), выращиваемые в прибрежных зонах, где безопасно удалить морскую воду легче, чем на территориях, удаленных от моря (Mateo-Sagasta and Burke, 2010). Однако опреснение вод, в том числе дренажных, становится все более конкурентоспособной альтернативой, так как затраты на такие воды снижаются, а затраты на поверхностные и грунтовые воды возрастают.

По мере расширения городов становятся доступными все больше городских и промышленных сточных вод. Сточные воды хороши тем, что содержат большое количество питательных веществ и имеются вблизи населенных пунктов и рынков, что делает их идеальными для пригородного садоводства и рыбоводства. Однако загрязняющие вещества в сточных водах представляют опасность

для окружающей среды и здоровья человека. Чтобы максимально увеличить преимущества и минимизировать риски, связанные с использованием сточных вод, необходимо разработать жесткую политику и институциональные рамки (WHO-FAO-UNEP, 2006). Решения по техническим аспектам должны приниматься открыто, так как это будет определять способ обработки для повторного использования сточных вод. Необходимо распланировать все, касающееся отвода водных ресурсов: кто будет оценивать потребности в воде и станет субъектом договорных соглашений. В плане окружающей среды требуются правила и регулирование для осуществления контроля над веществами, загрязняющими источники воды и вредными для здоровья человека. И, наконец, со стороны сельского хозяйства могут потребоваться ограничения орошения и землепользования.

## Модернизация ирригационных систем

### Улучшение водоснабжения в крупных проектах ирригационных систем

Возможности для увеличения эффективности и улучшения продуктивности земли и воды в ирригации весьма значительны. Во всем мире эффективность еще даже близко не достигла технических максимумов; системы механизированного орошения и защищенного земледелия по-прежнему используются лишь на небольших территориях; в системах земледелия преобладают малоценные основные культуры, а урожаи сельского хозяйства и доходы фермеров могут быть значительно больше (Molden et al., 2010). Три составляющих могут способствовать получению «большого урожая от каждой капли воды»: улучшение водоснабжения, повышение эффективности использования воды на фермах (особенно внутри хозяйства) и увеличение агрономической эффективности.

Пути к улучшению продуктивности и ликвидации недостатка урожая в орошаемом хозяйстве включают в себя увеличение гибкости, надежности, обеспечение и своевременности водоснабжения посредством эксплуатации и обслуживания системы водоотведения и каналов или лучшего развития в самих системах (например, с помощью увеличения водоснабжения удаленных потребителей). В принципе улучшенное водоснабжение выполнимо почти во всех проектах ирригационных систем.

Комплексный подход необходим для инвестирования в различные факторы сельскохозяйственного производства – почву, воду, агрономию, а также в экономические и институциональные усовершенствования. Концепция модернизации крупных ирригационных систем охватывает все изменения в оросительной системе, сельскохозяйственной деятельности и системе институтов и стимулов, необходимых для обеспечения фермеров стабильной, эффективной службой подачи воды по запросу, которая будет поддерживать высокую продуктивность и устойчивость системы фермерского хозяйства (FAO, 2007).

Еще один способ – повышение эффективности водопользования (соотношения объема водозаборов к объему, использованному для орошения) так, чтобы большая часть воды отводилась и использовалась с выгодой (например, путем уменьшения потерь в оросительных системах, повышения эффективности использования воды в пределах хозяйства или повторного использования дренажных вод). Возможности увеличения полезного использования водозаборов наглядно представлены низким соотношением между требуемым количеством воды и объемами водозаборов для выращивания растений, так как из оросительных систем забирается до трех раз больше воды, чем это требуется. Однако

возможности сокращения потерь воды в ирригации должны быть тщательно взвешены, так как значительная часть использованной воды возвращается в реки и водоносные горизонты при просачивании в землю и через дренаж.

Комплексная модернизация потребует инвестиций как в «оборудование», так и в «программные средства». Инвестиции в «оборудование» подразумевают не только обычное восстановление существующих систем, но и технические улучшения в системе, такие как грамотное расположение затворов гидросооружений и структур управления, покрытие стенок каналов геосинтетическими материалами, строительство перехватывающих каналов и резервуаров и установка современных информационных систем, а также технологий улучшения орошения в пределах фермерского хозяйства, например, системы капельного орошения, и дренажной сети, позволяющей управлять солевым балансом без загрязнения окружающей среды. Инвестиции в модернизацию включают в себя также ряд инвестиций в улучшение «программных средств», таких, как схемы управления и институциональные структуры, водопользование в пределах фермерского хозяйства, водохозяйственная деятельность, комбинированное управление влажностью и плодородием, управление дренажными водами и комплексный подход к борьбе с засухой, засолением и наводнениями. Для инвестиций в модернизацию оросительных систем, которая обеспечивала бы стабильное и высокопродуктивное сельское хозяйство, необходимы экономические условия, дающие возможность формирования понятных стимулов, контролируемого риска и доступа на рынок.

### **Возможности повышения продуктивности в мелком и неформальном орошении**

Возможности повышения продуктивности орошения не ограничиваются крупными формальными системами. Многие мелкие фермеры в Азии, Африке и на Ближнем Востоке получают средства к существованию с помощью небольшого земледельческого хозяйства и традиционной системы орошения. Небольшие орошаемые хозяйства основаны на построенной за счет средств сообщества точке отбора воды и системах транспорта воды, управляемых объединениями пользователей. В системы транспорта воды входят системы на основе накопления паводковых вод (такие, как отведение или сброс паводковых вод), системы ключей и мелких колодцев, системы водоподъема из рек, системы водостока и водосбора, системы сбора поверхностного стока и местные системы товарного овощеводства с использованием колодцев и местной сточной или даже водопроводной воды.

Небольшие оросительные системы есть почти во всех агроэкологических зонах, и они имеют большое значение там, где не хватает воды на растениеводство, а также там, где водные ресурсы ограничены либо чрезмерно интенсивно используются, особенно в полузасушливых районах и зонах с малым содержанием влаги. Зачастую эти системы в некоторой (или даже в большей) степени богарные, использующие только дополнительное орошение. Доходы бывают обычно значительно ниже, чем при более крупных официальных проектах, из-за отсутствия эффекта масштаба, недостатка подходящих сортов и управления водными ресурсами, а также из-за проблем, связанных с доступом к рынку. Сильные стороны таких систем – это использование традиционных знаний, стабильное управление земельными и водными ресурсами и уровни местного социального капитала.

Вопрос в том, как улучшить производительность этих систем, не рискуя при этом их стабильностью. Некоторые технологии доступны, например, обли-



*Система капельного орошения*

Задача получения максимальной отдачи от воды («больше урожая от каждой капли») может быть решена разными способами, включая более эффективные сбор, извлечение, хранение, распределение и применение воды в поле. Системы капельного орошения очень эффективно используют воду, направляя небольшие количества воды с частыми интервалами в зону вблизи корневой системы. В системах капельного орошения вода проходит фильтр, попадает в систему специальных трубочек и подается на поверхность почвы возле растения. При правильном применении этой технологии система капельного орошения обеспечивает лучший контроль над водой, улучшение питания растений и сокращение затрат труда. Эта система подходит для дорогих культур, включая овощи и фруктовые деревья.

*Источник: CDE (2010) Фото: W. Critchley.*

цовка каналов для родниковых систем или педальные насосы для товарного овощеводства. Что необходимо, так это механизмы передачи знаний, технологии и поддержка инвестирования, обеспечивающая то, что изменения будут проходить в рамках традиционной деятельности по устойчивому управлению земельными и водными ресурсами (вставка 4.8).

## Повышение эффективности внутрихозяйственного использования воды

### Эффективность использования воды

Повышение эффективности внутрихозяйственного использования воды (полезное безвозвратное водопотребление, деленное на суммарное испарение как часть поставленной воды) зависит от имеющихся у фермеров навыков внутрихозяйственного управления водными ресурсами. Меры по улучшению внутрихозяйственного водопользования включают в себя улучшение умения фермеров рассчитывать время и объем воды для орошения зерновых культур

и инвестирования в технологии внутрехозяйственного орошения, улучшающие контроль за подачей воды и уменьшающие потери. Улучшить контроль могут трубопроводные системы водораспределения и точное прикорневое орошение (например, капельное или баблерное). Эти технологии могут также уменьшить бесполезный расход воды, снижая потери при транспортировке, сокращая просачивание и бесполезное испарение. Эффективность можно увеличить еще больше, контролируя микроклимат, в котором выращиваются растения, как при использовании теплиц.

Агрономическая эффективность зависит от навыков фермеров, несмотря на то, что на множество факторов – климатических и социально-экономических – они повлиять не могут. Агрономическую эффективность можно улучшить с помощью:

- управления водными ресурсами и запасами почвенной влаги, чтобы обеспечить подачу достаточного количества воды к корням растений для оптимального роста. Ресурсосберегающее сельское хозяйство, в частности, значительно уменьшает бесполезные потери воды;
- управления ресурсами воды, почвы и питательных веществ, чтобы обеспечить своевременное наличие питательных веществ в зоне нахождения корней растений и эффективное поглощение этих веществ растениями; в частности, управление земельными, водными и другими ресурсами, повышающее доступность азота, крайне необходимо для высокой урожайности с единицы эвапотранспирации;
- полеводства, чтобы определить оптимальную структуру посевных площадей, выбрать наилучшие варианты выполнения, привести календарь сельскохозяйственных работ в соответствие с доступностью влаги, сеять в подходящее время и справляться с сорняками, вредителями и болезнями.

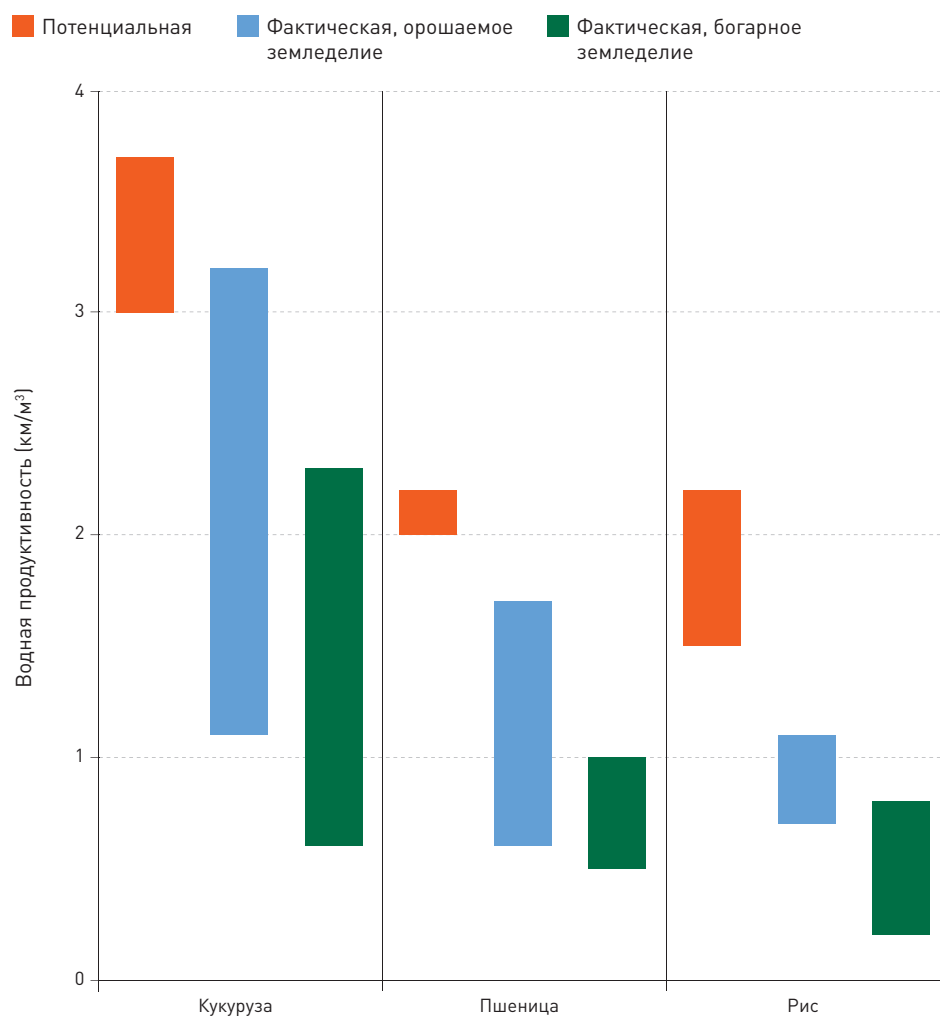
### Водная продуктивность

Дополнительная возможность увеличения продуктивности воды для орошения заключается в увеличении агрономической или экономической продуктивности, то есть цель состоит в том, чтобы с единицы объема использованной воды получать больше продукции. Этого можно достичь, улучшая методы выращивания растений, чтобы увеличить урожайность орошаемых культур (в том числе увеличивая процентное отношение массы урожая к полной массе растений) и тех культур, которые не требуют дополнительного орошения; этого можно также достичь с помощью изменения структуры посевных площадей и ориентированности на более ценные культуры, учитывая при этом общие биофизические ограничения (Steduto *et al.*, 2007).

Несмотря на значительные улучшения в водной продуктивности за последние годы, фактический урожай с единицы объема использованной воды по-прежнему ниже достижимого. На рис. 4.1 показана реально зафиксированная водная продуктивность для орошаемого и богарного земледелия по отношению к возможной водной продуктивности. Данные подтверждают, что водная продуктивность в орошаемом сельском хозяйстве больше, чем в богарном, однако и в том, и в другом фактическая водная продуктивность гораздо ниже потенциальной. Наибольшее отставание наблюдается в производстве риса и пшеницы, из чего видно, что водная продуктивность может быть значительно улучшена.



РИСУНОК 4.1. ВОДНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ДЛЯ КУКУРУЗЫ, ПШЕНИЦЫ И РИСА (ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ И ФАКТИЧЕСКАЯ) В ОРОШАЕМОМ И БОГАРНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ



Источник: Sadras et al. (2010).

Замечено, что структуры посевных площадей в районах с ограниченными водными ресурсами постепенно изменяются в сторону более ценных культур. Например, определенные изменения произошли в Китае, где производство риса и пшеницы немного снизилось, а производство кукурузы, овощей и других ценных культур резко возросло. Вероятность сокращения разницы между фактической и потенциальной водной продуктивностью высока, но достижение более высокой водной продуктивности требует более интенсивных технологий производства.

Многие внутрихозяйственные способы увеличения водной продуктивности хорошо известны и могут удвоить ее. Ситуация меняется в зависимости от выращиваемых культур и производственных систем, поэтому анализ и предложения по улучшению должны быть сугубо индивидуальными. Во вставке 4.9 рассмотрены пять конкретных случаев из регионов, совершенно

разных по условиям окружающей среды, а также с технологической и культурной точек зрения в которых использовались различные системы земледелия – от натурального хозяйства до высокотехнологичных. В большинстве рассмотренных случаев меры, принимаемые для улучшения доступности почвенной влаги и повышения способности растений поглощать влагу, были самым недорогим и быстрым способом повысить водную продуктивность. В добавление следует сказать, что водную продуктивность в целом можно повысить, если изменить методы уменьшения уборочных и послеуборочных потерь, в результате чего можно повысить урожайность до 30–40% (Lundqvist *et al.*, 2008).

#### ВСТАВКА 4.9. РАЗБОР ПЯТИ ПРИМЕРОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ВОДЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В производстве **пшеницы** методом богарного земледелия в юго-восточной Австралии, Средиземноморском бассейне, на Китайском лессовом плато и североамериканских Великих Равнинах был обнаружен существенный разрыв между фактической и максимально возможной урожайностью на единицу воды. В среднем разрыв составлял 68% для южной части Великих Равнин в Северной Америке, 63% – для Средиземноморского бассейна и 56% – для Китайского лессового плато, северной части Великих Равнин и юго-восточной Австралии. Среди причин этих разрывов были питание, время посева и почвенные ограничения. Основной проблемой было управление влажностью почвы. Из намеченных решений проблемы были выделены быстрый рост почвопокровных растений для уменьшения испарения влаги, использование технологий минимальной обработки почвы и управление жнивьем.

Похожий разрыв в урожайности существует и для коммерческого производства **подсолнечника** на богарных территориях в западных пампасах в Аргентине, где сочетание питательных веществ и воды с временем посева является наиболее важным фактором, повышающим урожайность и продуктивность воды.

Для систем выращивания **риса** в нижнем течении бассейна реки Меконг разрыв в урожайности очень большой, с фактической продуктивностью на единицы потребляемой воды в 15–30% от максимально возможного. Основными возможностями улучшения являются использование высокоурожайных сортов, повышение использования удобрений, гербицидов и пестицидов и дополнительное орошение. Кроме того возможен переход на выращивание ценных культур, таких как кофе, овощи и арахис (которые дают большую, чем рис, экономическую отдачу на каждый миллиметр использованной воды).

Орошаемые системы выращивания **кукурузы** в западной части кукурузного пояса США обеспечивают продуктивность только на 10–20% ниже максимально возможной. Тем не менее улучшение использования воды может улучшить продуктивность. Например, использование орошения по графику в зависимости от реальной потребности растений и значительный мониторинг воды будут способствовать повышению урожайности.

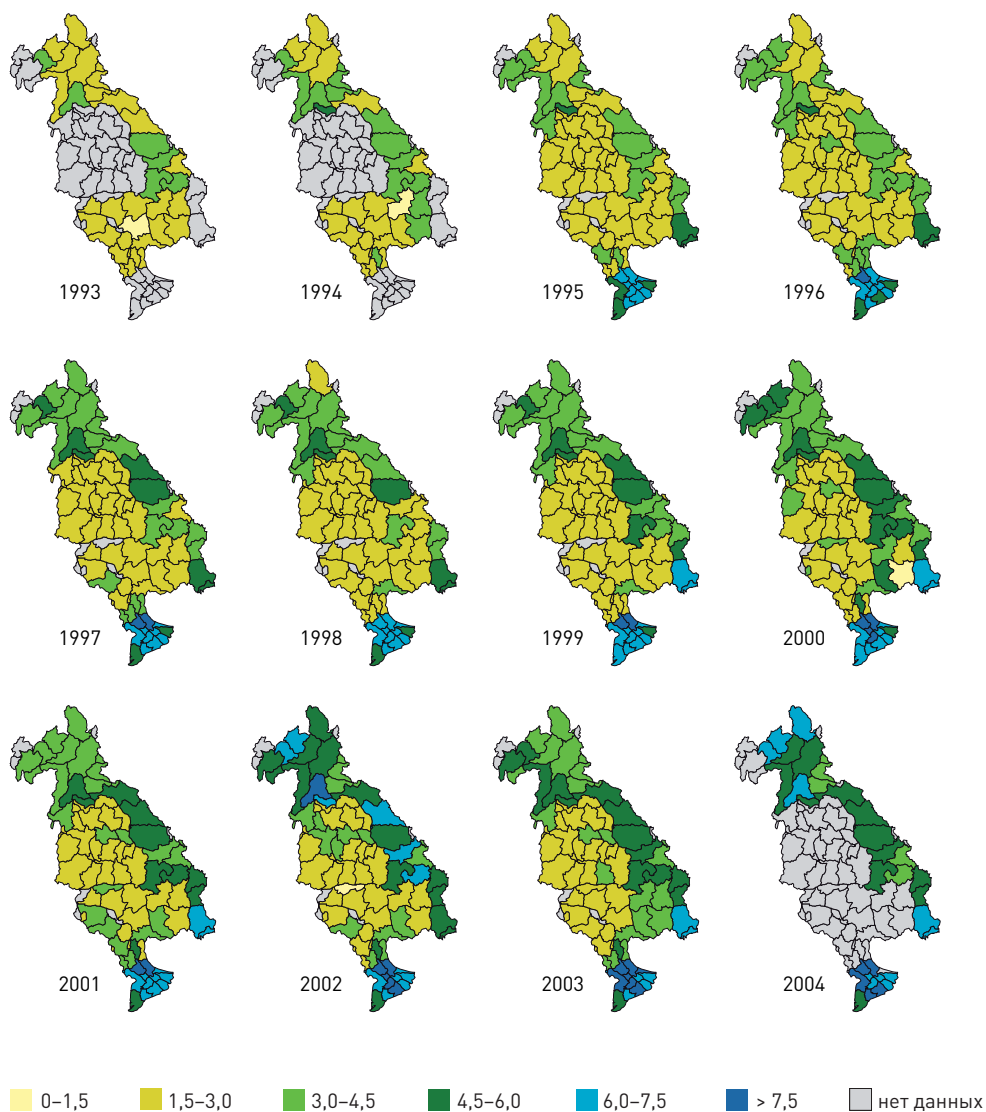
Факторы, связанные с экологией, управлением и используемыми культурами, влияют на получение очень низкой продуктивности **проса** в Сахеле, где урожайность в среднем составляет только 0,3 кг на каждый кубический метр использованной воды. Улучшение продуктивности воды в сухом жарком климате Африки требует более высоких вложений, главным образом, большего объема удобрений. Однако низкий индекс урожайности проса, способствующий низкой продуктивности воды, должен учитываться в контексте компромисса между производством зерна и наличием ценных растительных остатков.

*Источник: настоящее исследование.*

## Где улучшение водной продуктивности что-то изменит?

Как показывают недавние достижения в ряде систем, водную продуктивность можно улучшить за сравнительно небольшой период времени. Например, водная продуктивность риса в бассейне нижнего Меконга (река в Китае, Лаосе, Таиланде, Камбодже и Вьетнаме) невысока (14–35% от потенциальной), но в последние годы стремительно растет (рис. 4.2). Улучшения достигнуты благодаря использованию высокоурожайных сортов, улучшению применения удобрений, гербицидов и пестицидов, а также применению дополнительного орошения.

РИСУНОК 4.2. УРОЖАЙНОСТЬ РИСА В БАССЕЙНЕ РЕКИ МЕКОНГ НА ЕДИНИЦУ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ, В РЕГИОНАЛЬНОМ МАСШТАБЕ (В КГ ЗЕРНА/ГА/ММ)



Источник: адаптировано из Mainussina and Kirby (2009).

Китай добился значительных успехов в экономии воды, используемой для сельского хозяйства, за счет институциональных и технологических инноваций. Между 1980 и 2004 гг. объем потребляемой воды вырос на 25%, однако объем воды, используемой в сельском хозяйстве, остался на уровне 340–360 км<sup>3</sup>. В то же время площадь орошаемых земель выросла на 5,4 млн га, производство продовольствия превысило 20 млн т, и для 200 млн чел. была обеспечена продовольственная безопасность. В последнее десятилетие потребление воды для орошения по всему Китаю уменьшилось с 7935 до 6450 м<sup>3</sup>/га.

Источник: Wang et al. (2007).

Технические возможности для улучшения водной продуктивности зависят от выращиваемых культур, систем производства и региона (вставка 4.10). Среди видов продовольственных зерновых культур наибольшим потенциалом обладает рис, но широкие возможности для улучшения есть также и у пшеницы и у кукурузы. В некоторых уголках мира уже наблюдается высокий физический уровень водной продуктивности при ограниченных возможностях для улучшения в рамках имеющейся технологии. Так обстоит дело во многих высокопродуктивных регионах, таких, как бассейн нижнего течения реки Хуанхэ и в большей части Европы, Северной Америки и Австралии. Регионами максимальной потенциальной выгоды являются Африка к югу от Сахары и районы в южной, юго-восточной и центральной Азии. Во всех этих регионах рост водной продуктивности повысит продуктивность земли и в результате увеличит производительность возделываемой территории при незначительном изменении потребления воды в целом. Однако такое повышение производительности необходимо тщательно продумать, принимая во внимание речные бассейны в целом и баланс водоносных горизонтов. (Perry et al., 2009).

## Преодоление угроз для окружающей среды, связанных с интенсификацией

Приемам, связанным с повышенной продуктивностью, должно сопутствовать достаточное и сбалансированное применение удобрений с целью поддерживать урожайность и компенсировать потраченные почвой на формирование урожая питательные вещества. Кроме того, интенсивное производство часто требует дальнейшей обработки от сорняков, болезней и вредителей. Однако использование средств обработки создает риск загрязнения окружающей среды удобрениями и пестицидами. Там, где нет необходимых технических и социально-экономических условий для устойчивого управления земельными и водными ресурсами, возникают локальные угрозы, а также значительные угрозы для водоемов вниз по течению и риск для здоровья человека. Для того, чтобы избежать негативных последствий, совершенно необходимо управление использованием средств обработки (FAO, 1996).

Орошение может иметь и другие побочные эффекты в отношении укрепления здоровья: малярия и шистозомоз – частые бедствия оросительных систем. Улучшение управления водными ресурсами может снизить риск заражения

инфекциями (например, путем сокращения количества водоемов со стоячей водой). К этому можно добавить, что модернизация в сочетании со сбережением воды открывает возможности для систем поставки воды в региональные сообщества (Molden, 2007).

### **Загрязнение удобрениями и управления питательными веществами**

Наибольшая доля применяемых в сельском хозяйстве удобрений приходится на азотистые и фосфористые соединения. Азот необходим как нитрат, способствующий поглощению веществ растениями. Максимально возможная эффективность (отношение интенсивности воздействия к количеству применяемого удобрения) – не более 50%, а на практике редко превышает 20–30%. Из-за высокой растворимости в воде азотистые соединения быстро циркулируют в почве, и большая часть того, что не впитали растения, может превратиться в раствор нитратов и проникнуть в дренажную систему, в водотоки ниже по течению и в грунтовые воды. Кроме того, азот может попадать в атмосферу в виде аммиака или оксида азота.

Справиться с потерями удобрений можно с помощью (1) более рационального способа применения, (2) более эффективного поглощения растениями азота и (3) улучшения управления водными ресурсами. Кроме того, для более эффективного удержания азота нужна здоровая почва. Меры по улучшению эффективности применения, т. е. уменьшению количества нитратов, проникающих в почву и воду, – включают следующие простые шаги:

- разбивка применения удобрений на несколько стадий согласно наиболее восприимчивым стадиям роста конкретного вида растения;
- частое применение удобрений, растворенных малыми дозами в воде для орошения и нанесенных с определенной точностью. Например, фермеры из Санрейзии (Австралия) обнаружили, что достигают наибольшей эффективности при фертигации, если добавляют азот в конце процесса (в течение 10–15 минут за 25 минут до окончания полива);
- размещение удобрений в прикорневой зоне почвы и с обеих сторон от растения на небольшой глубине, там, где больше всего корней;
- глубокая закладка аммиачных удобрений (метод КУЛТАН). Азот частично поглощается растениями, а аммиак не переходит в стадию нитрата и не приводит к вымыванию нитратов в почве.

Меры по стимулированию более интенсивного поглощения удобрений растениями включают использование защищенных и медленнодействующих соединений, в которых азот выделяется постепенно с быстротой, определяемой содержанием влаги в почве, водородным показателем и температурой почвы, что продлевает период действия удобрения. Подобные соединения имеют хороший потенциал обмена в выращивании ценных культур и растений с поверхностной корневой системой в районах, где высока вероятность потери нитратов. Также могут быть использованы биологические добавки для повышения эффективности использования азота путем стимулирования роста корней и более активного всасывания, а также путем замедления освобождения азота в форме аммиака. Добавки

могут обеспечить на 54% меньшее испарение аммиака в сахарном тростнике и на 79% – в пшенице.

Решения в сфере управления почвой позволяют носителям удерживать питательные вещества и эффективно преобразовывать их в питание для растений. Также необходимо большее внимание к здоровью почвы. Это не только улучшает внутреннюю доступность питательных веществ и таким образом улучшает эффективность удобрений, но также значительно сокращает потери удобрений из-за эрозии и вымывания. В нескольких местах (например, в Бразилии, Германии) попадание нитратов и фосфатов в водоемы напрямую связано с обработкой почвы, и сокращение или отказ от обработки почвы может оказаться решающим фактором для значительного сокращения загрязнения до приемлемого уровня без негативного влияния на уровень производства.

Хотя индустрия удобрений внедряет инновации для улучшения эффективности использования удобрений и сокращения экологических экстерналий, фермеры могут и дальше не иметь ни знаний, ни стимулов для изменения поведения, способствующего загрязнению. Есть несколько стратегических вариантов: (1) продолжать исследования в партнерстве с индустрией удобрений, фермерами и научными учреждениями; (2) использовать выборочное регулирование и стимулы для поощрения использования удобрений с медленным высвобождением везде, где это возможно, и в частности в областях, где риски от азота, экспортированного в водоемы, являются наивысшими; (3) образование фермеров (см. вставку 4.11).

В отличие от азота фосфаты обычно связаны с частицами почвы и медленно становятся доступными для растений. В силу этого меньше вероятность, что фосфаты попадут в дренаж или грунтовые воды. Комбинация хорошего управления водными ресурсами с поглощением фосфатов почвой может уменьшить потери фосфатов из почв практически до нуля. В целом там, где применяются стратегии и программы, имеются некоторые успехи в снижении загрязняющей нагрузки от сельского хозяйства, хотя большинство успехов достигнуто в области сокращения нагрузки от городов.

#### ВСТАВКА 4.11. ПРОБЛЕМА АЗОТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КИТАЕ

У Китая самые высокие показатели по использованию азота в сельском хозяйстве (около 550–600 кг N/га/в год на востоке, юго-востоке и на Северо-Китайской равнине). Использование удобрений быстро возросло между 1998 годом и настоящим временем, особенно использование азотно-фосфорно-калийных удобрений в садоводстве и азотных удобрений в целом. Одним из последствий этого явилась сильная эвтрофикация половины из 131 большого озера страны. Опросы показали, что большинство фермеров не осознают пагубных экологических последствий и неэффективности избыточного использования удобрений. Было высказано предположение, что избыточному использованию удобрений способствует слишком низкая цена на них. Но опросы показали, что фермеры, не имеющие доступа к орошению, не применяют большого количества азотных удобрений, что свидетельствует о ценовой чувствительности. Сокращение азотного загрязнения зависит от создания и соответствующего использования удобрений, регулирования и стимулирования, а также от обучения фермеров.

*Источники: Turrall and Burke (2010); Jua et al. (2009).*

## Загрязнение пестицидами

Был разработан ряд интегрированных методов борьбы с вредителями для решения проблемы загрязнения пестицидами воды и угрозы здоровью человека. Эта интегрированная борьба с вредителями стимулирует рациональное и минимальное использование пестицидов за счет регулярного мониторинга и определения числа вредителей и стремится к сохранению здоровой популяции природных хищников и их мест обитания. Интегрированная борьба с вредителями включает также выведение и выращивание видов растений, устойчивых к вредителям (выведенных обычным путем или с использованием методов модификации генов), стратегическое смешивание видов растений с различной сопротивляемостью к вредителям, а также севооборот и оставление земель под паром. Также она может включать использование естественных врагов вредителей.

Интегрированный подход к борьбе с вредителями широко применяется коммерческими фермерами для повышения эффективности и ввиду возрастающей осведомленности об экологических проблемах. Переход на этот метод в развивающихся странах осуществлялся медленнее, хотя фермерские полевые школы оказались очень эффективны для повышения уровня знаний фермеров и пропаганды использования этого метода (Settle and Garba, 2011). Законодательные ограничения, длительность процедуры получения одобрения на использование препарата, обучение фермеров и стоимость продукта также сыграли свою роль в ограничении использования пестицидов. Задержка в регуляторной деятельности между развивающимися и развитыми странами также вызывает опасения, особенно когда дешевые дженерики пестицидов производятся на местах после того, как они были запрещены к использованию и выведены с рынка более богатых стран.

Дальнейшее распространение сохраняющего земледелия, при котором минимизируются механическое и другие физические воздействия на почву, также имеет потенциал сократить загрязнение воды пестицидами из-за эрозии.

Многие пестициды легко растворимы и подвижны, и технологии управления водными ресурсами необходимы для минимизации их вымывания в водотоки (вставка 4.12). В случаях, когда появляется опасность загрязнения реки ниже по течению, необходимо строгое регулирование на местах оборота веществ.

## Снижение рисков от загрязнения мышьяком

Загрязнение мышьяком грунтовых вод было зарегистрировано более чем в 20 странах мира, где загрязненные неглубокие грунтовые воды были использованы для питья и орошения. Помимо промышленности, где мышьяк применяется для очистки минералов и обработки отходов, источником загрязнения почвы и грунтовых вод мышьяком являются добавки к корму для свиней и птиц, пестициды и легко растворимые запасы триоксида мышьяка. В зоне риска отравления мышьяком (арсеноза) проживает около 130 млн чел. Мышьяк вызывает заболевания кожи и различные виды рака. Основное беспоконство вызывает аккумуляция мышьяка в пищевой цепочке, например, перенос мышьяка в рис в Азии (FAO, 2007d). В настоящее время разрабатываются и испытываются управленческие решения, направленные на предотвращение и преодоление последствий загрязнения продуктов питания. Стратегии

1. Не используйте пестициды перед поливом или если ожидается сильный дождь.
2. Расписание орошения должно учитывать периоды высокого риска (особенно там, где используется орошение по бороздам или дождевание).
3. Распыляйте пестициды, используя оптимальный размер капли и в соответствующей дозировке с тем, чтобы распыленная жидкость не стекала с растений.
4. Уменьшайте потери почвенного слоя и осадочных пород с поверхностным стоком. Это уменьшает транспорт пестицидов с поверхностным стоком, что особенно важно для таких соединений, как паракват, трифлуралин и хлорпирифос, которые обладают сильной адсорбцией к частицам почвы.
5. Риск значительного вымывания пестицидов с фермы может быть снижен, если избегать одновременной обработки больших площадей. Это уменьшит объем пестицидов, которые могут быть смыты в процессе орошения или сильными дождями.
6. Некоторые гербициды обладают высокой мобильностью и могут легко покинуть пределы ферм (с поверхностным стоком либо в результате выщелачивания), особенно во время орошения или осадков.
7. Только что нанесенные гербициды часто более мобильны, чем те, которым нужно время, чтобы впитаться в почву или листья.
8. Низовая оросительная вода часто содержит высокие остаточные концентрации пестицидов; проблему можно решить путем ограничения избыточного орошения и повторного использования воды.
9. Дополнительные меры предосторожности должны быть приняты там, где поверхностный сток после осадков или орошения может попасть в водоемы или чувствительные экосистемы. Хорошее управление водными ресурсами напрямую связано с хорошим управлением пестицидами.
10. В сильно пористых почвах или в зонах с высоким уровнем грунтовых вод следует использовать менее мобильные альтернативы с тем, чтобы минимизировать возможное загрязнение грунтовых вод или водных потоков.

Источник: Simpson and Ruddle (2002).

управления мышьяком, которые позволят продолжать производство риса на загрязненных территориях, включают выращивание риса в аэробных условиях и переход на использование незагрязненных поверхностных вод или грунтовых вод с больших глубин во избежание дальнейшего накопления мышьяка в почве.

### Соленость и дренаж

На орошаемых территориях и за их пределами риски от засоления и заболачивания стали серьезной проблемой во многих частях мира (Mateo-Sagasta and Burke, 2010). Вымывание и дренаж необходимы для поддержания соляного баланса в почве и получения устойчивых урожаев в засушливых местах. Однако удаление солей из почвы за счет вымывания и дренажа увеличивает соленость дренажной воды, которая может быть в 50 раз выше, чем в воде для орошения. Сброс такой воды может повысить соленость в водоемах и сделать их непригодными для использования.

Решение проблемы лежит в сфере улучшения эффективности использования воды и поддержания корректного баланса путем дозированного оператив-



ного выщелачивания. Последующие варианты дренажа таковы: (1) обработка дренажной водой; (2) повторное использование дренажной воды; (3) сброс дренажной воды; (4) обработка дренажной воды. Каждый из вариантов имеет различное влияние на гидрологию и качество воды, и появляется необходимость в сложных взаимодействиях и компромиссах, если будет использовано более одного варианта.

Управление дренажом является основным методом контроля над засолением почвы. Дренажная система должна иметь возможность удалять небольшое количество оросительной воды (около 10–20% дренажной или смывной фракции) за пределы оросительной. Это может быть достигнуто использованием открытых канав, гончарных дрен или откачкой из просверленных отверстий. Выбор определяется проницаемостью почв, подпочвенного слоя и подлежащего водоносного слоя, имеющимся бюджетом на капитальное строительство, ресурсами местных сообществ по эксплуатации и обслуживанию на стоимость электроэнергии для насосов.

Слитая соленая вода может быть повторно использована ниже по течению, если ее смешать с пресной водой. Эти подходы требуют планирования в масштабах водосборного бассейна для адаптации сельскохозяйственных технологий и культур к повышенному содержанию солей. Здесь важен выбор культур, так они сильно различаются по способности переносить засоление: твердая пшеница, тритикале и ячмень могут переносить более высокие уровни содержания солей, чем рис или кукуруза. Орошение соленой водой может даже улучшить качество некоторых овощей, так как содержание сахара в томатах или дынях может увеличиться.

Варианты сброса включают как прямой сброс в реки, ручьи, озера, пустыни и океаны, так и сброс в бассейны для испарения. Но такой сброс соленой воды может создать экологические проблемы ниже по течению. Угрозы должны быть тщательно проанализированы, и если необходимо, нужно будет принять меры по преодолению последствий. Если возможно, сброс вод должен производиться только во влажный сезон, когда соленые потоки причинят наименьший ущерб. Искусственные болота являются относительно недорогой альтернативой защиты водных экосистем и рыбных ресурсов ниже по течению реки и в закрытых бассейнах.

## Сельское хозяйство и водопользование в условиях изменения климата

### Сельское хозяйство и изменение климата

Связь между управлением земельными и водными ресурсами и изменением климата была выявлена в некоторых ключевых сельскохозяйственных системах (FAO, 2011d). Ведение земельного и водного хозяйства оказывает сильное воздействие на факторы изменения климата, причем как отрицательное, так и положительное. Многие прошлые и современные методы ведения сельского хозяйства являются причинами изменения климата, например, выбросы парниковых газов из-за сельского хозяйства и связанной с ним вырубки леса, которые составляют почти треть всех антропогенных выбросов парниковых газов. В то же время, по прогнозам, изменение климата окажет значительное воздействие на земле- и водопользование в сельскохозяйственных целях (IPCC, 2007;

Fischer *et al.*, 2007), а финансирование стратегий адаптации для увеличения устойчивости сельскохозяйственных систем перед нависшей угрозой изменения климата (особенно в бедных странах, которые уже на пороге отсутствия продовольственной безопасности) стало насущной задачей во всем мире.

Устойчивое управление земле- и водопользованием может не только увеличить устойчивость сельского хозяйства в условиях изменений климата, но и оказать положительное воздействие на факторы изменения климата, обеспечивая экономически эффективные варианты смягчения (Tubiello *et al.*, 2008). Многие методы управления, усиливающие производственные системы, также предполагают секвестирование углерода под и над землей и уменьшение непосредственных выбросов парниковых газов.

### Варианты адаптации к изменению климата

Для адаптации фермерам и разработчикам политики потребуется решить ключевые дополнительные проблемы: 1) со стороны фермеров – возможность осуществлять новые (или принимать уже известные) технологии по мере изменения климата; 2) со стороны разработчиков политики – способность предлагать верные стимулы и вводить необходимую инфраструктуру планомерно и предусмотрительно. Меры по *автономной адаптации* осуществляются частными фермерами на основе воспринимаемых изменений климата без всякого вмешательства сверху. *Плохая адаптация* (например, необходимость обрабатывать малоплодородную землю или переходить к неустойчивым методам обработки при уменьшении урожая) может увеличить деградацию земельных и водных ресурсов, при этом ставя под угрозу возможность реагировать на возрастающий риск климатических изменений в будущем. *Спланированная адаптация*, включающая изменения в стратегиях, организациях и подчиненной инфраструктуре, потребуется, чтобы максимизировать долгосрочную выгоду от адаптации.

С технической точки зрения, варианты адаптации в основном повторяют уже существующие методы, разработанные в прошлом в ответ на изменения климата. В общих чертах для адаптации к изменениям фермерам потребуется 1) адаптировать управление, 2) выбирать другие, более сильные культуры, 3) отбирать остальные культуры, 4) корректировать методы управления водохозяйственной деятельностью. Такие изменения будут результатом комбинации научных знаний и опыта проведения полевых работ. С одной стороны, при широком распространении эти изменения по одному или в сочетании друг с другом могут компенсировать отрицательные последствия изменения климата и заставить работать положительные. С другой стороны, адаптация к учащению стихийных бедствий будет гораздо тяжелее, особенно в случае, когда новая система может не иметь прецедентов в истории.

Варианты для растениеводства включают: изменения в составе культур и видов для повышения устойчивости к жаре и засухе, наводнениям и засолению; адаптация использования удобрений; изменение времени и места растениеводства; диверсификация растениеводства, широкое использование методов интегрированной борьбы с вредителями; выведение и внедрение сортов и видов, которые устойчивы к вредителям и болезням; улучшение программ карантина и мониторинга; приведение численности скота в соответствие с возможностями лугов и пастбищ. В частности, сохраняющее земледелие путем одновременного улучшения диверсификации растениеводства, структуры

почвы и повышения содержания органической материи может снизить влияние изменчивости климата и представляет широкий ряд мер по адаптации к климатическим изменениям.

В ближайшие десятилетия управление водными ресурсами будет являться критическим компонентом адаптации к проблемам, связанным с изменением климата. Эти проблемы будут вызваны изменениями в доступности воды (объем и распределение по временам года), и со спросом на воду для сельского хозяйства и конкурирующих секторов. Технологии, позволяющие повысить продуктивность использования воды для орошения, могут обеспечить значительную адаптацию сельскохозяйственных систем к грядущему изменению климата. В то же время улучшения в функционировании систем орошения и управления водными ресурсами очень важны для обеспечения доступности воды – как для производства продовольствия, так и для конкурирующих экологических и человеческих нужд (FAO, 2007e, 2011d). Ряд технологий и подходов к адаптации на уровне фермы, системы орошения и бассейна относятся непосредственно к управлению водными ресурсами для сельскохозяйственных нужд. Они включают: модификацию объемов, времени или технологии орошения; использование дополнительного орошения и улучшение управления влажностью почвы в богарном земледелии; применение более эффективных правил выделения воды; одновременное использование воды из открытых водоемов и водоносных пластов; переход на использования структурных и неструктурных методов для борьбы с засухами и наводнениями.

Повышение качества данных и усиление внимания к мониторингу помогут улучшению точности прогноза изменения климата, особенно по временам года. Технологии прогнозирования, в том числе для прогнозирования объема осадков, уже существуют и продаются в некоторых странах. Однако многое еще необходимо сделать для улучшения качества прогнозов и их передачи пользователю в дружелюбном для него виде, если это будет иметь положительный адаптивный эффект.

Решения на правительственном уровне должны фокусироваться на создании новой инфраструктуры, стратегий и институтов, включая учет изменений климата при создании программ, увеличение инвестиций в инфраструктуру контроля над водой и орошение и внедрение технологий точечного орошения, обеспечение соответствующей инфраструктуры транспорта и хранения, адаптацию соглашений о собственности землю (включая внимание к тщательно прописанным правам собственности) и создание доступных эффективно функционирующих рынков для сельскохозяйственной продукции и необходимых промышленных товаров (включая схемы установления цен на воду) и финансовых услуг (включая страхование).

### **Вклад в преодоление проблем, связанных с изменением климата**

Все действия, направленные на защиту земельных и водных ресурсов, эффективное использование ресурсов и факторов сельскохозяйственного производства, сокращение объема отходов и потерь в сельском хозяйстве и повышение устойчивости систем водо- и землепользования к капризам погоды и рынка, уже вносят вклад в адаптацию и преодоление последствий изменения климата. Влияние более устойчивого управления земельными и водными ресурсами могло бы быть значительным (вставка 4.13). Подсчитано, что если будут приняты меры по улучшению управления растениеводством

Пастбищные системы имеют большие возможности адаптации и преодоления последствий изменения климата. Они занимают две трети мировых засушливых зон, и их сельское население пропорционально беднее, чем в других системах. Они также имеют более высокие темпы опустынивания, чем другие системы землепользования, что негативно сказывается на накоплении углерода в почвах. Улучшение управления пастбищными угодьями в обширных засушливых зонах внесет свой вклад в существенное накопление и хранение углерода.

Улучшение травостоя – это проверенная стратегия восстановления почв и повышения устойчивости земель с одновременным созданием емкостей для углерода. Одна из наиболее эффективных стратегий для секвестрации углерода – посев на сельскохозяйственных землях многолетних трав с развитой корневой системой и включение их в севооборот либо путем засева участков под паром, либо засевом участков на фураж, а также путем интеграции кормовых культур, деревьев и других многолетних растений в систему земледелия (то есть использование смешанных растениеводческих, животноводческих и древесных систем).

Технологии управления, способствующие секвестрации углерода, могут принести прямые экономические выгоды семьям, проживающим на деградировавших засушливых землях, как в виде платы за секвестрацию углерода, так и, что важно, в форме совместной прибыли в виде повышения урожайности, усиления экосистемных процессов и устойчивого использования ресурсов, облегчая таким образом адаптацию к изменениям климата. Хотя в настоящее время плата за секвестрацию углерода ограничена добровольными рынками углерода, в ряде развитых стран идут переговоры, касающиеся будущих соглашений по изменению климата, и формируется национальное законодательство, что впоследствии может повысить спрос на ограничение выбросов от пастбищного скотоводства в развивающихся странах (Lipper *et al.*, 2010).

Экономическая целесообразность секвестрации углерода на лугах также зависит от стоимости углерода. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (2007) отмечает, что при стоимости за тонну CO<sub>2</sub>-эквивалента в 20 долл. США управление пастбищами и восстановление деградировавших земель могут секвестрировать около 300 Мт CO<sub>2</sub>-эквивалента, а при стоимости в 100 долл. США за тонну CO<sub>2</sub>-эквивалента объем возможной секвестрации возрастает до 1400 Мт CO<sub>2</sub>-эквивалента за тот же период времени.

и животноводством и совершенствованию технологий агролесоводства, сокращению обработки почвы и почвовосстановлению, производству биоэнергии из биомассы и реализации мер по восстановлению лесного сектора, общий выброс углекислого газа можно будет уменьшить на 4–18 млрд тонн – объем, почти компенсирующий выбросы сельскохозяйственного сектора (табл. 4.1).

### Сокращение выброса метана и азота

Метан и азот, выделяемые в процессе сельскохозяйственного производства, имеют значительный потенциал для глобального потепления. В силу этого особую важность приобрела проблема преодоления последствий выброса других, кроме углекислого газа, парниковых газов. Помимо мер, касающихся только животноводства, описание которых выходит за рамки настоящей книги, варианты снижения выброса метана от сельского хозяйства затрагивают главным образом создание более эффективных технологий выращи-

**Таблица 4.1. ВОЗМОЖНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ЛЕСОВОДСТВА  
ПО ПРЕОДОЛЕНИЮ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ В 2030 Г.**

	Млрд т CO <sub>2</sub> -эквивалента
<b>Глобальные возможности</b>	<b>15–25</b>
<b>Возможности сельского хозяйства</b>	<b>1,5–5,0</b>
Сокращение выброса газов (кроме CO <sub>2</sub> )	(0,3–1,5)
Агролесоводство	(0,5–2)
Улучшенная секвестрация углерода в почве	(0,5–1,5)
<b>Возможности лесов</b>	<b>2,5–12</b>
СВОД-плюс	(1–4)
Устойчивое управление лесами	(1–5)
Лесовосстановление*	(0,5–3)
<b>Возможности биоэнергетики</b>	<b>0,1–1,0</b>
<b>Общие возможности сектора</b>	<b>4–18</b>
<b>Общие выбросы сектора</b>	<b>13–15</b>

\* Включая лесонасаждения и лесовозобновление.

Источники: FAO (2008); Tubiello and van der Velde (2010).

вания риса, включая снижение потребностей в воде (например, аэробное выращивание риса, в котором не используется затопление рисовых чеков), переход от рассадного к посевному выращиванию риса и изменение системы производства с влажной на сухую (FAO, 2006с).

Интенсивные системы земледелия, включающие растениеводство и животноводство, являются источниками значительного выделения оксида азота (N<sub>2</sub>O) с удобренных полей и отходов животноводства, которое составляет более половины выбросов парниковых газов от сельского хозяйства. Так как этот азотный выброс распределен в пространстве и во времени, преодоление его последствий является трудной задачей. Современные технологии фокусируются на сокращении абсолютного объема вносимых на поля азотных удобрений при одновременном сокращении уплотнения почвы (что вызывает создание анаэробных условий и таким образом повышает выброс оксида азота) и изменении режима кормления сельскохозяйственных животных.

Эффективная стратегия преодоления последствий выброса парниковых газов помимо диоксида углерода в интенсивных смешанных системах растениеводства и животноводства, таких как существуют, например, в Европе и Северной Америке, может включать изменение в структуре питания людей в сторону меньшего потребления мяса, сокращая прямые выбросы метана и окиси азота и сокращая потребление и зерна скотом. Однако тенденции развития культур, вкусов, образа жизни и демографические изменения показывают движение в другом направлении – в сторону глубоких изменений в питании, главным образом, в развивающихся странах, где доля мяса, жира и сахара в общем объеме потребляемой пищи продолжает значительно возрастать (Tubiello and van der Velde, 2010).

## Устойчивое сельское хозяйство и лесоводство

Многие технологии устойчивого управления сельским хозяйством и лесоводством, которые рекомендуются по ряду экологических и экономических причин, также помогают преодолению последствий изменения климата, главным образом в виде секвестрации углерода. Деревья, включенные в системы земледелия в форме лесозащитных полос, для укрепления склонов, для получения древесины или производства фруктов и орехов, не только формируют часть подхода устойчивого управления земельными и водными ресурсами по улучшению задержания воды в почве и сокращения эрозии, но и обладают способностью к фиксации углерода (вставка 4.14). В дополнение к этому деревья и кустарники систем агролесоводства способствуют созданию микроклимата, что в сочетании с лучшим покровом почвы помогает регулировать климат и снижает воздействие стихийных бедствий (например, сокращение влияния сильных ветров во влажных и засушливых областях, защита от высоких температур и солнечной радиации и снижение потери влаги в засушливых и теплых областях).

### Синергия между адаптацией и преодолением последствий

Многие стратегии управления земельными и водными ресурсами, которые обсуждались ранее, связаны, как адаптацией к изменениям климата, так и с преодолением их последствий (Tubiello *et al.*, 2007). Например, уменьшение почвообработки, агролесоводство и другие «лучшие практики» управления почвой и водными ресурсами повышают продуктивность и устойчивость путем улучшения способности почвы удерживать влагу и лучше противостоять эрозии, а также путем обогащения биоразнообразия экосистем за счет использования более диверсифицированной системы земледелия. Они также усиливают долгосрочную стабильность и устойчивость системы земледелия перед лицом климатической изменчивости, помогая системам земледелия лучше противостоять засухам и наводнениям, вызванным изменением климата (адаптация). Кроме того они вносят вклад к секвестрацию углерода в почве (преодоление последствий). Вставка 4.15 показывает, как устойчивые инвестиции фермеров в создание барьеров из растительности для защиты пахотных земель от эрозии (адаптация) способствуют фиксации углерода (преодоление последствий). Точно так же недопущение вырубки леса и улучшение технологий по сохранению и управлению лесами могут не только оздоровить экосистемы и сделать их более устойчивыми, но оказывают также важное адаптационное воздействие и способствуют преодолению последствий изменения климата.

#### ВСТАВКА 4.14. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕСОВ В ОБЩИНАХ В БРАЗИЛИИ: МЕРЫ ПРОТИВ НАВОДНЕНИЙ И ОПОЛЗНЕЙ

Многие жители Бразилии переместились с периферии страны в города, такие как Рио-де-Жанейро, и теперь живут в трущобах (фавелах) в плохо построенных домах на крутых склонах. Быстрый рост фавел привел к уничтожению лесов, эрозии почвы и оползням, которые, в свою очередь, вызвали заиливание, наводнение и появление затопленных территорий, населенных москитами. В 1986 г. в городе был создан Коммунальный проект по восстановлению лесов, направленный на борьбу с эрозией и сокращением связанных с этим оползней и наводнений путем восстановления лесов в подверженных эрозии районах города. В проекте задействованы жители фавел и используются местные эффективные в борьбе с эрозией породы деревьев.

Источник: CDE (2010).



*Барьеры из растительности*

Северный Китай подвержен сильному опустыниванию, которое наносит экономический ущерб сельскому хозяйству засушливых районов и также повреждает железнодорожную ветку. Железнодорожное ведомство собрало средства на создание высоких живых изгородей. Они состоят из кустарников и деревьев соответствующей высоты и проницаемости, подходящих для сухих и песчаных почв. Это помогает защитить поля и инфраструктуру от перемещающегося песка.

*Источник: CDE (2010). Фото: Yang Zihui.*

## Перспективы внедрения

В некоторых регионах возрастающее давление на земельные и водные ресурсы будет накладывать серьезные ограничения на усилия по необходимой интенсификации сельскохозяйственного производства с тем, чтобы удовлетворить планируемый спрос на продовольствие. Системы производства, находящиеся под угрозой там, где эти условия уже сложились или ожидаются, требуют соответствующих мер по преодолению. Управление мерами по преодолению должно охватывать не только технические варианты для продвижения устойчивой интенсификации и снижения рисков, описанные в настоящей главе, но и должно быть дополнено благоприятными условиями для ликвидации институциональных механизмов, которые усиливают неэффективность, социальное неравенство и деградацию ресурсов, а также обмен знаниями и данными как описано в других главах доклада СОЛАВ (см. также вставку 4.16).

#### ВСТАВКА 4.16. УСПЕШНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЧАСТНЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В НИГЕРЕ

В Нигере для орошения небольших участков земли долгое время использовались простые технологии водоподъема (шадуфы, ведра). Внедрение насосов привело к быстрому расширению и интенсификации орошения. К 2006 г. площадь, орошаемая насосами, составляла 16 тыс. га. Размер участков обычно составляет менее 1 га (обычно 0,1–0,75 га). Большая часть производства – товарное садоводство. Производители в некоторых районах специализируются на выращивании определенных культур (репчатый лук, чеснок, томаты). Продукция пользуется значительным спросом как в стране, так и за рубежом.

В 1996 г. правительство приняло решение поддержать рост мелкого орошения и стимулировало создание национальной профессиональной ассоциации работников частных систем орошения. При помощи данного проекта ассоциация помогла фермерам получить новые технологии (обычно педальные насосы) и стимулировала изменения в технологии выращивания растений и состав севооборота. Появилась ремесленная индустрия, объединившая буровиков, техников, обслуживающих скважины, и изготовителей насосов и ремонтников. Также стимулировалось развитие доступного микрофинансирования, консультативных служб для фермеров и обслуживаемой самими фермерами службы снабжения. Чистые доходы фермеров выросли с 159 долл. США в год до 560 долл. США в год (это в стране, где средний доход на душу населения составляет 60 долл. США в год). Распространение выгоды стало очень широким: доход получили более 26 тыс. бедных семей. Программа вносит значительный вклад в экономический рост, экспорт, семейные доходы и снижение бедности.

*Источник: World Bank (2008).*