

УДК 626.8:628.17

## УЧЕТ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ИЛИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ – ГДЕ ПУТЬ К ВОДОСБЕРЕЖЕНИЮ?

А.А. Каримов<sup>1</sup> канд. техн. наук

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Узбекистан

E-mail: akmalkarimov040@gmail.com

Водосбережение является основой для перераспределения водных ресурсов и сбалансированного развития отраслей экономики стран Центральной Азии. Реализация программ водосбережения может способствовать достижению целей заложенных в Генеральной схеме Комплексного использования и охраны водных ресурсов Республики Казахстан. Все три, рассмотренные в ней сценария использования водных и земельных ресурсов в орошаемом земледелии предусматривают водосбережение, однако пути экономии вод не раскрыты. В статье, на основе обзора изученности вопроса и опыта стран, реализовавших крупные проекты повышения эффективности использования водных ресурсов, раскрываются шаги необходимые для водосбережения, в основе которых лежит учет использования водных ресурсов. Рассмотрены три подхода: учет эффективности; учет фракций водопользования; учет водопотребления. Для достижения реального водосбережения, предлагается реализовать программу сокращения бесполезного водопотребления и направления сэкономленных вод на продуктивное использование.

**Ключевые слова:** учет использования водных ресурсов, продуктивность воды, водосбережение, орошаемое земледелие, Казахстан

Поступила: 23.03.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-83-94

### ВВЕДЕНИЕ

Рост численности населения и потребности в воде в условиях ограниченных ресурсов обуславливает необходимость широкого применения водосберегающих технологий. Переход на водосберегающие технологии является составной частью перспективного планирования управления водными ресурсами в странах аридного климата, где особая роль в обеспечении населения продовольствием отводится орошаемому земледелию. Так проблема совершенствования орошаемого земледелия за счет водосбережения актуальна в Индии, Ираке, Испании, Пакистане, западных штатах США, и Центрально-Азиатском регионе (Shah, 2011; Faramarzi et al., 2010; Kumari and Singh, 2016; Berbel et al., 2010; Janjua et al, 2021; Montazar, 2021). В результате многолетних исследований в мире накоплен,

как огромный опыт по реализации программ водосбережения, так и уроки неудач, когда вместо ожидаемого водосбережения имело место увеличение потребности на воду. Извлечение уроков из этих неудач может способствовать более устойчивому развитию водного хозяйства стран Центрально-Азиатского региона, где водные ресурсы являются лимитирующим фактором развития не только орошаемого земледелия, но и энергетики, питьевого водоснабжения и других отраслей экономики. С изменением климата, негативные последствия которого уже отмечаются в южной части региона, в бассейне Аральского моря, важность этого вопроса становится ещё более насущнее.

Особый интерес для региона представляет опыт Испании, где были реализованы две крупнейшие в Европе программы водосбережения, охватившие около миллиона

гектар, каждая (Berbel et al., 2019). Миллиарды евро, израсходованные на повышение КПД каналов и внедрение водосберегающих технологий в течение десятилетия, привели к увеличению объемов продукции, площади орошаемых земель, и потребности в воде, вместо ожидаемого водосбережения. Данная статья имеет две цели: (1) извлечь уроки из опыта водосбережения стран реализовавших крупные программы внедрения водосберегающих технологий, и; (2) определить пути совершенствования учета использования водных ресурсов.

#### *Перспективные программы водосбережения в Казахстане*

Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Казахстана рассматривает три сценария развития, два из которых представляют наибольший интерес, минимальный и оптимальный (ПП РК № 200 от 08.04.2016). Первый сценарий, минимальный, не предусматривает увеличения площади орошаемых земель; площади остаются без изменения до уровня 2040 года и составляют около 1560 тыс. га, в том числе регулярное орошение на 1391 тыс. га. В этом сценарии, дефицит продовольствия планируется возмещать за счет импорта продукции и учитывается развитие других отраслей экономики, что потребует дополнительные водные ресурсы. Во втором сценарии, оптимальном, намечено увеличение площадей орошаемых земель и ожидается экономия водных ресурсов для поддержания экологического равновесия в напряженных регионах. Вся площадь орошаемых земель к 2040 г. запланирована на уровне 2210 тыс. га, в том числе регулярного орошения – 1800 тыс. га. Водообеспечение прироста орошаемых площадей предусмотрено, в первую очередь, за счет повышения технического состояния оросительных систем. Так на 2040 г. намечается достижение КПД систем до 0,70, при этом КПД магистральных каналов планируется довести до 0,92, КПД внутренней сети до 0,87, КПД поля до 0,88. Несмотря на увеличение водозабора из источников только на 10%, увеличение площади орошаемых земель планируется на 40%, что указывает на

критическую роль водосбережения для достижения поставленных целей. Однако, пути водосбережения не раскрыты, а мероприятия, заложенные в схеме, могут быть недостаточными для обеспечения возрастающих потребностей в воде отраслей экономики. Такие же планы существуют и в других странах региона. Первым шагом на пути к водосбережению в этих условиях может стать улучшение учета использования водных ресурсов.

#### *Теоретическая основа учета использования водных ресурсов*

Perry (2018), исследуя проблему совершенствования практики орошения в условиях дефицита водных ресурсов, рассматривает пять положений, суть которых заключается в том, что для получения реального эффекта водосбережения, необходимо наладить учет использования водных ресурсов, основанный не на интересах отдельных групп, бенефициаров, а на строгих научных положениях, основанных на постоянном круговороте воды в природе и законе единства всех водных ресурсов. Попытки сокращения использования водных ресурсов на местном уровне, часто приводят лишь к переходу части используемой воды из одной среды в другую, первичные источники становятся вторичными, но совокупный ресурс остается на том же уровне (Ward and Pulido-Velazques, 2018). Увеличение водных ресурсов в поверхностной среде, ведет к истощению её ресурсов в подземной, на что указывает, например, печальный опыт Индии и Ирана (Shah, 2011; Ashraf et al., 2021; Safdari et al., 2022). И наоборот, экстенсивное использование речного стока на орошение ведет к истощению поверхностных ресурсов, и увеличению ресурсов в подземной среде, если нет глобальных изменений или не пройдена черта, за которой идет прогрессирующее сокращение водных ресурсов и экосистем в целом. Внедрение водосберегающих технологий на уровне поля способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур, путем создания более благоприятных условий для использования растениями других видов ресурсов; формируются условия для выращивания более доходных культур, но вопрос

водосбережения на бассейновом уровне остается открытым. Таким образом, «реальное» водосбережение может быть достигнуто только на уровне бассейна рек (Molden et al., 2001).

Показателен опыт Испании по внедрению капельного орошения в сельском хозяйстве. Национальная программа модернизации орошения, реализованная с 1995 по 2015 гг., была самой большой в Европе по площади охвата и объему инвестиций. Цель этой программы заключалась в водосбережении, и на это было израсходовано в среднем 6000 евро на каждый гектар орошаемой земли (Berbel et al., 2019). Реализация программы позволила улучшить условия труда, сократить использование минеральных удобрений, улучшить качество вод в результате сокращения дренажного стока, внедрить платное водопользование, повысить урожай сельскохозяйственных культур и продуктивность водных ресурсов, однако эффект водосбережения на уровне бассейна не был отмечен. Причина этого заключалась в фокусе на уровне поля и отсутствие изначально планирования водосбережения; водосбережение на уровне бассейна считалось естественным следствием сокращения водозабора на уровне поля или системы. Учет использования водных ресурсов сводился к учету водозабора из источников и передачи воды фермерам.

### *Три подхода к учету использования водных ресурсов*

В развитии методов учета использования водных ресурсов можно выделить три различных подхода:

Подход 1: Концепция эффективности (Israelsen, 1950; Jensen, 2007), по которой эффективность есть отношение объема воды использованной по назначению к объему воды забранной из источника; в этом случае эффективность системы оценивается по коэффициенту полезного действия (КПД) системы, сети или поля. Несмотря на обоснованность использования этого метода на уровне поля или системы с целью нормирования орошения, его нельзя переносить на использование в целях водосбережения или перспективного планирования водных

ресурсов, особенно на уровне бассейнов (Molden, 1997). Причина этого заключается во взаимосвязи поверхностных и подземных вод, в круговороте воды в природе, когда потери воды на фильтрацию, пополняя подземные воды или выклиниваясь в русле рек, вновь используются ниже по течению.

Наглядным примером этому могут служить бассейны рек, где грунтовые воды являются одним из важных источников орошения. Часть воды, потерянной при орошении, фильтруясь в грунтовые воды, вновь откачивается для полива сельскохозяйственных культур ниже по течению. Данная схема может повторяться многократно, сокращая тем самым долю возвратного стока, в результате эффективность использования воды на уровне бассейна, рассчитанная на основе КПД поля будет значительно ниже её реальной величины.

Исключением могут являться регионы или бассейны рек, где имеет место широкое распространение засоления водно-земельных ресурсов, в сильной и даже средней степени. В этом случае, повышение эффективности системы способствует предупреждению смешения качественной воды с минерализованными грунтовыми водами, при близком залегании которых происходит вторичное засоление земель. Результатом повышения эффективности системы является предупреждение дальнейшего засоления водно-земельных ресурсов, увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур, сокращение сброса коллекторно-дренажных вод в соленые озера или понижения, и тем самым реализуется водосбережение. В других же случаях, повышение эффективности систем может способствовать экономии воды, только на местном уровне, но создаёт предпосылки для увеличения площади орошаемых земель и роста потребности в водных ресурсах.

Подход 2. В начале 2000-х годов, Международная комиссия по ирригации и дренажу (МКИД) предлагает другой подход к учету использования водных ресурсов (Perry, 2007; Perry et al., 2009; Perry, 2011). Суть подхода сводится к тому, что вместо оценки эффективности предлагается оценивать фракции водопользования, независимо от того, связано ли оно с забором воды из

русла рек или её использование происходит в русле реки. Данный подход предлагается применять ко всем видам деятельности человека.

По этой методике водопользование делится на потребляемую фракцию и непотребляемую (Perry, 2011). Потребляемая фракция (испарение и транспирация) включает в себя (а) полезное водопотребление, когда испарение или транспирация воды являются намеренными и соответствуют тому назначению, для которого она была забрана из источника, и (б) бесполезное водопотребление, когда вода испаряется или транспирируется для целей, отличных от намеренного использования. Не потребляемая фракция включает в себя: (а) извлекаемую фракцию, которую можно уловить и повторно использовать, и; (б) не извлекаемую, когда вода потеряна для дальнейшего использования (смешение вод с солеными грунтовыми водами, или сток в глубокие водоносные горизонты, после которого их извлечение экономически не выгодно). Этот метод даёт более ясную оценку гидрологического цикла воды, увязывая все сектора экономики, но вместе с тем разделяет водопользование и эффект самого процесса водопользования. Этим разделением уравнивается вклад всех факторов, участвующих в формировании урожая сельскохозяйственных культур, и тем самым отрицается особая роль водных ресурсов. За основу этой позиции берётся линейная связь между биомассой или урожайностью сельскохозяйственных культур и транспирацией. Переход от традиционного полива по бороздам к капельному орошению сокращает бесполезное испарение и увеличивает транспирацию; увеличение же транспирации культур ведёт к увеличению биомассы, но продуктивность воды при этом остаётся на том же уровне.

Подход 3. В эти же годы, Международный Институт Управления Водными Ресурсами (International Water Management Institute, ИВМИ) выдвигает другой метод (Молден, 1997; Molden et al., 2001), который увязывает использование водных ресурсов с эффектом процесса их использования через продуктивность воды. Методики МКИД и ИВМИ имеют три основных различия: (а) методика МКИД концентрируется на учете фракций

водопользования, а ИВМИ на учете водопотребления или истощения водных ресурсов; (б) методика МКИД отрицает особую роль воды в производстве сельскохозяйственной продукции, и подчеркивает необходимость управления всеми факторами формирующими урожай культур; методика ИВМИ подчёркивает особую роль водным ресурсам в формировании урожая культур и оценивает эту роль через продуктивность воды; с) методика МКИД отдаёт приоритет мерам на уровне поля и увязывает водосбережение в первую очередь с агрономической практикой и управлением водой; методика же ИВМИ определяет водосбережение на уровне бассейна.

В методике ИВМИ водопотребление рассматривается, как истощение водных ресурсов. Истощение водных ресурсов происходит в случае, когда вода, забранная из источника, становится непригодной для дальнейшего использования при 4-х процессах: (а) при испарении или транспирации; (б) смешении вод с сильно минерализованными водами; (с) загрязнении вод, и (д) вхождение в состав продукции (Molden, 1997). Истощение вод может быть намеренным и вне процесса. Истощение намерено, когда располагаемые водные ресурсы истощаются при производстве продукции или другом намеренном процессе. Истощение водных ресурсов вне процесса, если вода отведена на определенный процесс, но расходуется на другой. Истощение вне процесса может быть полезным и бесполезным. При этом подходе учитывается гидрологический процесс, сохраняющий применимость это метода на уровне бассейна, и связь между водопотреблением и урожаем сельскохозяйственных культур. Если подход МКИД основан на том, что водопользование создает благоприятные условия для использования удобрений, питательных элементов почвы и других ресурсов, увязка водопотребления и урожая через продуктивность воды в подходе ИВМИ подчеркивает особую роль водных ресурсов, регулятора многих физиологических и биохимических процессов в растениях. Этот подход рассматривает повышение продуктивности воды, как путь к водосбережению (Molden, 1997). Водосбережение в речных бассейнах

или оросительных системах, где водообеспечение осуществляется на основе подъема воды с помощью насосов или насосных станций, является отдельным вопросом и требует особого рассмотрения (Karimov et al., 2022).

Продуктивность воды есть отношение величины полезного продукта к величине безвозвратного водопотребления. На уровне поля величина водопотребления может быть приравнена эвапотранспирации и рассчитана по методике Программы ООН по продовольствию и сельскому хозяйству (Food and Agricultural Organization, ФАО) (Allen et al., 1998). На уровне бассейна необходимо учесть все виды безвозвратного водопотребления, имеющие место в цепочке водообеспечения и при производстве продукции. Так в орошаемом земледелии это: водопотребление на выработку и передачу электроэнергии; на испарение с зеркала водохранилищ; эвапотранспирация на уровне поля; отвод дренажных вод в концевые соленые озера или понижения, и фильтрация в высокоминерализованные грунтовые воды.

Использование подходов МКИД и ИВМИ на практике приводит к различным результатам. Учет управления всеми соответствующими факторами производства культур, в подходе МКИД, направлен на увеличение продуктивности совокупности используемых ресурсов, в том числе водных (Perry and Steduto, 2017; Perry, 2018). Использование же подхода ИВМИ позволяет перераспределить водные ресурсы на уровне бассейна от их использования с низкой продуктивностью к использованию с более высокой продуктивностью, тем самым обеспечивая водосбережение. В обоих случаях, целью реконструкции ирригационных систем становится не повышение КПД канала или систем, а сокращение бесполезного или низко-продуктивного водопотребления. «Реальное водосбережение есть сокращение бесполезно расходуемой воды в одном месте и высвобождение её для перераспределения на выгодное использование в другом» (Keller and Keller, 1995). Тем самым водосбережение рассматривается как совокупность двух действий - сокращение бесполезного расхода воды в одном месте и выгодное исполь-

зование в другом - только тогда достигается водосбережение. Отсюда планирование водосбережения может иметь следующие шаги: (1) определение водопотребления в современных условиях и выделение бесполезных затрат водных ресурсов; (2) расчет продуктивности воды для культуры, поля, системы и бассейна; (3) реализация мероприятий по сокращению бесполезного водопотребления и перераспределение сбереженной или потребляемой с низкой продуктивностью на деятельность с более высокой продуктивностью.

Зная процессы, при которых имеет место бесполезное или низко-продуктивное водопотребление можно наметить мероприятия по их сокращению. Это может быть бетонирование каналов в зоне сильноминерализованных грунтовых вод, внедрение капельной системы орошения, или переход на дефицитное орошение для сокращения бесполезного испарения. Заблаговременный учет использования водных ресурсов и планирование водосбережения на уровне бассейнов рек может стать основой для достижения целей, закладываемых в схемах Комплексного использования и охраны водных ресурсов, когда необходимо перераспределение водных ресурсов между отраслями экономики.

### *Продуктивность воды и опыт земледельцев*

Опыт земледельцев Центральной Азии важен в повышении продуктивности воды в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов. Особенно это относится к выращиванию винограда, широко распространенного в Узбекистане и Таджикистане, и постепенно входящей в практику производителей сельскохозяйственной продукции в южном Казахстане. Традиционная технология выращивания винограда, на основе шпалер, характеризуется большими потерями воды на испарение с поверхности почв, что приводит к сокращению транспирации культур, и как следствие, к снижению урожайности винограда. В тоже время, в Ферганской долине получила распространение интенсивная технология, способствующая минимальным потерям на бесполезное водопотребление. С целью распространения

этой технологии выращивания винограда с 2011 по 2015 гг. был изучен опыт фермеров Алтыарыкского района Ферганской области.

Значительная часть фермеров Алтыарыкского района выращивают виноград на бедных каменистых почвах. Сначала, бедные почвы засыпают мелкоземом. Орошение винограда на этих грунтах сочетают с внесением навоза; большая часть удаленных листьев растений остаётся на поверхности почвы и формирует гумус, величина которого в верхнем слое почвы через несколько превышает 2%. Внесение же в почву недостающего фосфора способствует оптимальному питанию растений.

С периода посадки кустов винограда идет постепенное их обучение наиболее эффективному использованию питательных элементов, получаемых с почвы, солнечного света и энергии. Формирование кустов винограда ведётся таким образом, что поступающая солнечная энергия полностью перехватывается листьями растений на высоте 2 м и эффективно используется на формирование плодов винограда, а листья защищают плоды от негативного влияния повышенных температур. Корни растений формируются таким образом, что полностью расположены в почвенном слое 0...50 см, покрывают все междурядное пространство и эффективно используют доступные питательные элементы. Этому способствует орошение частыми небольшими нормами 300...350 м<sup>3</sup>/га по коротким мелким бороздам. В результате урожайность винограда превышает 20 т/га, при оросительной норме в среднем 7800 м<sup>3</sup>/га и величине осадков в 200 мм, продуктивность воды изменяется от 1 кг/м<sup>3</sup> для двух летней культуры до 2 кг/м<sup>3</sup> при возрасте кустов более 3 лет. Опыт и знания фермеров, способствующие оптимальному использованию солнечной энергии, питательных элементов и доступной влаги почв формируют добавленную продукцию и добавленную стоимость. В результате продуктивность воды для винограда значительно выше, чем для хлопка или пшеницы, где она не превышает 0.7...0.8 кг/м<sup>3</sup>; разница в продуктивности воды для этих культур ещё выше в стоимостном выражении.

## От теории к практике

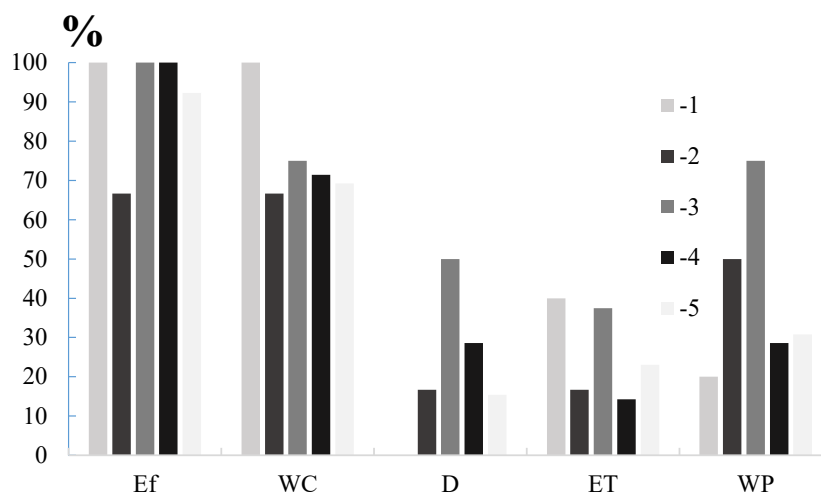
Использование приведенной выше процедуры на практике может позволить избежать неудач в планировании водосбережения. С этой целью было изучено состояние применения на практике указанных подходов учета использования водных ресурсов. Сначала, были собраны более 100 работ, статей и отчетов, в той или иной мере нацеленных на водосбережение на уровне поля, канала, оросительной системы или бассейна рек в Казахстане; из них были отобраны 46, в которых была попытка учета использования вод. Затем, эти работы были разделены на пять групп:

- 1) статьи, опубликованные в рецензируемых журналах базы данных SCOPUS;
- 2) политические заметки, направленные на распространение той или иной технологии или экономических рычагов водосбережения;
- 3) научные отчеты, подготовленные научными организациями по заданию международных доноров;
- 4) проектная документация реализуемых международных проектов;
- 5) отчеты, подготовленные по завершению отдельных этапов или всего проекта.

Затем, все отобранные документы были протестированы на наличие следующих ключевых терминов - (а) анализ эффективности использования или доставки водных ресурсов, (б) водопотребление, (в) истощение, (г) эвапотранспирация и (д) продуктивность воды. Наличие совокупности двух и более указанных терминов в документе могло означать использование одного из трех подходов учета использования водных ресурсов.

Результаты оценок приведены на Рис. 1.

Из рис. 1 видно, что почти все изученные документы, кроме политических заметок, приводят данные по эффективности использования водных ресурсов. Только 65% политических заметок используют данные по эффективности использования воды. Процент документов, использовавших термин «водопотребление», во всех группах документов был также большим, более 65%, однако реальная величина учета водопотребления значительна ниже, что видно из приведенных данных



**Рис. 1.** Наличие терминов эффективность (Ef), водопотребление (WC), истощение (D), эвапотранспирация (ET), продуктивность воды (WP) в статьях, политических заметках, научных отчетах, документах международных проектов и проектных документах, в % от общего числа

по эвапотранспирации. Термин «истощение водных ресурсов» использовался значительно меньше, чем «водопотребление»; хотя приведение термина «истощение» в 50% научных отчетов говорит о том, что методика ИВМИ может иметь широкое применение в будущем. Очень низкие показатели оценки эвапотранспирации и высокие показатели учета эффективности использования (КПД поля и каналов) в проектных документах говорят о том, что пока международные проекты слабо нацелены на конечный результат и видят свою задачу в улучшении состояния отдельных звеньев сети водо-обеспечения или поля. В тоже время, имеются отдельные проекты, направленные на повышение продуктивности водных ресурсов. В 4-х группах документов из 5, использование термина «продуктивность воды» превышает наличие данных о эвапотранспирации, указывая на то, что часто продуктивность воды рассчитывается на основе величины водопользования, а не водопотребления, что может привести к существенному искажению её реальной величины. Эти оценки указывают на то, что пока на практике доминирует учет использования водных ресурсов по эффективности, преобладают усилия по улучшению водопользования на уровне поля и/или доставке воды по сети каналов, что мо-

жет увеличить объём сельскохозяйственной продукции, но не обеспечит реальное водосбережение, необходимое для развития альтернативных отраслей экономики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Растущие потребности в воде различных отраслей экономики приводят к необходимости поиска путей водосбережения с целью перераспределения её ресурсов между отраслями экономики. Широкое внедрение водосберегающих технологий орошения, таких как капельное орошение, как показывает мировой опыт, несомненно, будет способствовать увеличению урожайности культур и сокращению оросительных норм, но может быть недостаточным для высвобождения водных ресурсов для развития других отраслей экономики. Реальное водосбережение может быть достигнуто на уровне бассейнов рек путем улучшения учета использования водных ресурсов и оценки безвозвратного водопотребления рек через:

- (1) определение объёмов бесполезного водопотребления, указывающего на величину потенциального водосбережения;
- (2) оценка продуктивности воды на уровне поля, системы и бассейна;
- (3) реализация мероприятий по сокращению

бесполезного водопотребления и перераспределения сэкономленной воды или низко-продуктивно потребляемой на водопользование с более высокой продуктивностью.

Такая последовательность анализа может быть внедрена в перспективное планирование использования водных ресурсов в различных отраслях экономики, в том числе при составлении схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, а также при составлении и реализации проектов, направленных на водосбережение. Анализ публикаций, тем или иным образом связанных с водосбережением, показывает, что пока на практике доминирует учет использования водных ресурсов по эффективности (КПД), преобладают усилия по улучшению водопользования, а не сокращению бесполезного водопотребления, тем самым в большинстве случаев трудно достичь реального водосбережения, необходимое для развития альтернативных быстро развивающихся отраслей экономики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Постановление Правительства Республики Казахстан от 8 апреля 2016 года № 200. Об утверждении Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. – 2016. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1600000200>.
- 2 Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements // FAO Irrigation and Drainage Paper 56. – Rome: FAO. 1998.
- 3 Ashraf S., Nazemi A., AghaKouchak A. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. Scientific reports. – 2021 – №11, – С. 9135-9145. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88522-y>
- 4 Berbel J., Expósito A., Gutiérrez-Martín C., Mateos L. Effects of the irrigation modernization in Spain 2002–2015 // Water Resources Management. – 2019. – № 33(5). – С. 1835–1849.
- 5 Israelsen W. O. Irrigation principles and practices. 2nd ed. – New York: Wiley. 1950.
- 6 Janjua S., Hassan I., Muhammad S., Ahmed S., Ahmed A. Water management in Pakistan's Indus Basin: challenges and opportunities // Water Policy. – 2021. Vol 23, – № 6. 1329. Doi: 10.2166/wp.2021.068.
- 7 Jensen, M. E. Beyond irrigation efficiency // Irrigation Science. – 2007. – № 25. – С. 233–245. doi:10.1007/s00271-007-0060-5.
- 8 Faramarzi M., Yanga H., Schulinc R., Abbaspour K.C. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production // Agricultural Water Management. – 2010, – № 97. – С. 1861–1875.
- 9 Karimov A.K., Amirova I., Karimov A.A., Tohirov A., Abdurakhmanov B. Water, Energy and Carbon Tradeoffs of Groundwater Irrigation-Based Food Production: Case Studies from Fergana Valley, Central Asia // Sustainability. – 2022, – № 14, – С. 1451–1460.
- 10 Keller A.A., Keller J. Effective efficiency: a water use efficiency concept for allocating freshwater resources. – Little Rock, Arkansa, USA: Center for Economic Policy Studies & Winrock International. 1995.
- 11 Kumari M., Singh D. Water conservation: strategies and solutions // International Journal of Advance Research and Review. – 2016. – № 1. – С. 75–79.
- 12 Molden D. Accounting for Water Use and Productivity // SWIM Paper 1. System-Wide Initiative for Water Management. International Water Management Institute (IWMI). – Colombo: IWMI. 1997.
- 13 Molden D., Sakthivadivel R., Habib Z. Basin-Level Use and Productivity of Water: Examples from South Asia // IWMI Research Report 49. International Water Management Institute (IWMI). – Colombo: IWMI. – 2001.
- 14 Montazar A. Irrigation Tools and Strategies to Conserve Water and Ensure a Balance of Sustainability and Profitability // Agronomy. – 2021. – № 11. 2037. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102037>.
- 15 Pérez Blanco C., Hrast Essenfelder A., Perry C.J. Irrigation Technology and Water Conservation: A Review of the Theory and Evidence // Review of Environmental Economics and Policy. – 2020. – №14, – С. 216–239. 10.1093/reep/reaa004.
- 16 Perry C. Efficient

irrigation; inefficient communication; flawed recommendations // *Irrigation and Drainage*. – 2007, – № 56, – С. 367–378. doi: 10.1002/ird.323.

17 Perry C., Steduto P., Allen R.G., Burt C.M. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities // *Agricultural Water Management*. – 2009. – № 96. – С. 1517–1524. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005>.

18 Perry C. Accounting for water use: terminology and implications for saving water and increasing production // *Agricultural Water Management*. – 2011. – № 98. – С. 1840–1846. [www.doi: 10.1016/j.agwat.2010.10.002](http://www.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.10.002).

19 Perry C., Steduto P. Does Improved Irrigation Technology Save Water? a. // A Review of the Evidence. – Cairo: FAO. – 2017.

20 Perry C. Improving irrigation management in conditions of scarcity: Myth vs Truth. – 2018. [www.globalwaterforum.org/2018/05/22/improving-irrigation-management-in-conditions-of-scarcity-myth-vs-truth/](http://www.globalwaterforum.org/2018/05/22/improving-irrigation-management-in-conditions-of-scarcity-myth-vs-truth/).

21 Safdari, Z.; Nahavandchi, H.; Joodaki, G. Estimation of Groundwater Depletion in Iran's Catchments Using Well Data // *Water*. – 2022. – № 14. – С. 131–137. <https://doi.org/10.3390/w14010131>.

22 Seckler D., Amarasinghe U., Molden D., de Silva R., Barker R. The New Era of Water Resources Management. From "Dry" to "Wet" Savings // *Research Report 5*, IIMI, – Colombo: IIMI. 1996.

23 Shah T. Past, Present, and the Future of Canal Irrigation in India Infrastructure // *Report*. 2011. <http://www.idfc.com/pdf/report/2011/Chp-6-Past-Present-and-the-Future-of-Canal-Irrigation.pdf>.

24 Shareef T., Ma Z. Essentials of Drip Irrigation System for Saving Water and Nutrients to Plant Roots: As a Guide for Growers // *Journal of Water Resource and Protection*. 2019, – № 11, – С. 1129–1145. [10.4236/jwarp.2019.119066](https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.119066).

25 Van Opstal J., Droogers P., Kaune A., Steduto P., Perry C. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions. – Wageningen: FAO & Future Water. 2021. <https://doi.org/10.4060/cb3844en>.

26 Ward F. A., Pulido-Velazques M. Water conservation in irrigation can increase water use // *Proceedings of National Academy of Science. U.S.A.* – 2008. – № 105. – С. 18215–18220. doi: 10.1073/pnas.0805554105.

## REFERENCES

- 1 Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 8 aprelya 2016 goda № 200. Ob utverzhdenii General'noi skhemy kompleksnogo ispol'zovaniyaiokhranyvodnykhresursov.–2016. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1600000200>.
- 2 Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements // *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. – Rome: FAO. 1998.
- 3 Ashraf S., Nazemi A., AghaKouchak A. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. *Scientific reports*. – 2021 – №11, – С. 9135–9145. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88522-y>.
- 4 Berbel J., Expósito A., Gutiérrez-Martín C., Mateos L. Effects of the irrigation modernization in Spain 2002–2015 // *Water Resources Management*. – 2019. – № 33(5). – С. 1835–1849.
- 5 Israelsen W. O. Irrigation principles and practices. 2nd ed. – New York: Wiley. 1950.
- 6 Janjua S., Hassan I., Muhammad S., Ahmed S., Ahmed A. Water management in Pakistan's Indus Basin: challenges and opportunities // *Water Policy*. – 2021. Vol 23, – № 6. 1329. Doi: 10.2166/wp.2021.068.
- 7 Jensen, M. E. Beyond irrigation efficiency // *Irrigation Science*. – 2007. – № 25. – С. 233–245. Doi:10.1007/s00271-007-0060-5.
- 8 Faramarzi M., Yanga H., Schulinc R., Abbaspour K.C. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production // *Agricultural Water Management*. – 2010, – № 97. – С. 1861–1875.
- 9 Karimov A.K., Amirova I., Karimov A.A., Tohirov A., Abdurakhmanov B. Water, Energy and Carbon Tradeoffs of Groundwater Irrigation-Based Food Production: Case Studies from Fergana Valley, Central Asia // *Sustainability*. – 2022, – № 14, – С. 1451–1460.

- 10 Keller A.A., Keller J. Effective efficiency: a water use efficiency concept for allocating freshwater resources. – Little Rock, Arkansa, USA: Center for Economic Policy Studies & Winrock International. 1995.
- 11 Kumari M., Singh D. Water conservation: strategies and solutions // International Journal of Advance Research and Review. – 2016. – № 1. – С. 75-79.
- 12 Molden D. Accounting for Water Use and Productivity // SWIM Paper 1. System-Wide Initiative for Water Management. International Water Management Institute (IWMI). – Colombo: IWMI. 1997.
- 13 Molden D., Sakthivadivel R., Habib Z. Basin-Level Use and Productivity of Water: Examples from South Asia // IWMI Research Report 49. International Water Management Institute (IWMI). – Colombo: IWMI. – 2001.
- 14 Montazar A. Irrigation Tools and Strategies to Conserve Water and Ensure a Balance of Sustainability and Profitability // Agronomy. – 2021. – № 11. 2037. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102037>.
- 15 Pérez Blanco C., Hrast Essenfelder A., Perry C.J. Irrigation Technology and Water Conservation: A Review of the Theory and Evidence // Review of Environmental Economics and Policy. – 2020. – №14, – С. 216–239. 10.1093/reep/reaa004.
- 16 Perry C. Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations // Irrigation and Drainage. – 2007, – № 56, – С. 367–378. doi: 10.1002/ird.323.
- 17 Perry C., Steduto P., Allen R.G., Burt C.M. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities // Agricultural Water Management. – 2009. – № 96. – С. 1517–1524. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005>.
- 18 Perry C. Accounting for water use: terminology and implications for saving water and increasing production // Agricultural Water Management. – 2011. – № 98. – С. 1840–1846. [www.doi: 10.1016/j.agwat.2010.10.002](http://www.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.10.002).
- 19 Perry C., Steduto P. Does Improved Irrigation Technology Save Water?
- 20 // A Review of the Evidence. – Cairo: FAO. – 2017.
- 21 Perry C. Improving irrigation management in conditions of scarcity: Myth vs Truth. – 2018. [www.globalwaterforum.org/2018/05/22/improving-irrigation-management-in-conditions-of-scarcity-myth-vs-truth/](http://www.globalwaterforum.org/2018/05/22/improving-irrigation-management-in-conditions-of-scarcity-myth-vs-truth/).
- 22 Safdari, Z.; Nahavandchi, H.; Joodaki, G. Estimation of Groundwater Depletion in Iran's Catchments Using Well Data // Water. – 2022. – № 14. – С. 131–137. <https://doi.org/10.3390/w14010131>.
- 23 Seckler D., Amarasinghe U., Molden D., de Silva R., Barker R. The New Era of Water Resources Management. From "Dry" to "Wet" Savings // Research Report 5, IIMI, – Colombo: IIMI. 1996.
- 24 Shah T. Past, Present, and the Future of Canal Irrigation in India Infrastructure // Report. 2011. <http://www.idfc.com/pdf/report/2011/Chp-6-Past-Present-and-the-Future-of-Canal-Irrigation.pdf>.
- 25 Shareef T., Ma Z. Essentials of Drip Irrigation System for Saving Water and Nutrients to Plant Roots: As a Guide for Growers // Journal of Water Resource and Protection. 2019, – № 11, – С. 1129-1145. 10.4236/jwarp. – 2019.119066.
- 26 Van Opstal J., Droogers P., Kaune A., Steduto P., Perry C. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions.–Wageningen:FAO&FutureWater. 2021. <https://doi.org/10.4060/cb3844en>.
- 27 Ward F. A., Pulido-Velazques M. Water conservation in irrigation can increase water use // Proceedings of National Academy of Science. U.S.A. – 2008. – № 105. – С. 18215–18220. doi: 10.1073/pnas.0805554105.

## СУ ПАЙДАЛАНУДЫ НЕМЕСЕ СУ ТҰТЫНУДЫ ЕСЕПКЕ АЛУ-СУ ҮНЕМДЕУГЕ ЖОЛ ҚАЙДА?

**А.А. Каримов<sup>1</sup>** техника ғылым. кандидаты

*<sup>1</sup>Ұлттық зерттеу университеті Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты, Ташкент, Өзбекстан  
E-mail: akmalkarimov040@gmail.com*

Су үнемдеу су ресурстарын қайта бөлу және Орталық Азия елдерінің экономика салаларын неғұрлым теңгерімді дамыту үшін негіз болып табылады. Суды үнемдеу бағдарламаларын іске асыру көп жағдайда Қазақстан Республикасының су ресурстарын кешенді пайдалану мен қорғаудың Бас схемасына енгізілген мақсаттарға қол жеткізуді айқындайды. Онда қарастырылған суармалы егіншілікте су және жер ресурстарын пайдалану сценарийлерінің үшеуі де су үнемдеуді көздейді, алайда су үнемдеу жолдары ашылмаған. Мақалада су үнемдеудің ірі жобаларын іске асырған елдердің мәселесі мен тәжірибесінің зерделенуіне шолу жасау негізінде су ресурстарын пайдалануды есепке алуға негізделген су үнемдеу үшін қажетті қадамдар ашылады. Су ресурстарын пайдалануды есепке алудың үш тәсілі қаралды: (а) тиімділікті есепке алу; (б) су пайдалану фракцияларын есепке алу; (с) су тұтынуды есепке алу. Нақты су үнемдеуге қол жеткізу үшін пайдасыз су тұтынуды азайту және үнемделген суды өнімді пайдалануға бағыттау бағдарламасын белгілеу ұсынылады.

**Түйін сөздер:** су ресурстарын пайдалануды есепке алу, су өнімділігі, су үнемдеу, ауыл шаруашылығы, Қазақстан

## ACCOUNTING WATER USE OR WATER CONSUMPTION – WHERE THE WAY TO WATER-SAVING?

**A.A. Karimov<sup>1</sup>** candidate of tech. science

*<sup>1</sup>National Research University Tashkent Institute of Irrigation and Agriculture Mechanization Engineers  
E-mail: akmalkarimov040@gmail.com*

Water-saving forms a base for reallocation of water resources and more balanced integrated development of economic sectors of Central Asian countries. Implementation of water-saving programs can highly contribute to objectives laid down in the Strategic Scheme of Integrated Use and Protection of Water Resources of the Republic of Kazakhstan. All three scenarios of water and land use studied in the scheme relay on water-saving, however an approach of water-saving is not clarified. This study discusses benefits and shortages of potential approaches to achieve water-saving at a basin scale using lessons from countries implemented basin scale water-saving projects. Three water use accounting methods discussed are as follows: (a) accounting efficiency; (b) accounting water use; (c) accounting water consumption. It is argued that the strategic scheme has to relay on real water-savings to meet growing water demand of different sectors of the economy.

**Key words:** water accounting, water productivity, water-saving, irrigated agriculture, Kazakhstan

Период исследования с 1970 по 2020 гг. Статистический анализ позволил выявить наибольшую повторяемость по сезонам, полугодиям, оценить непрерывную продолжительность туманов в зависимости от времени года и расположения пункта наблюдения. Также отмечены максимально длительные продолжительности явления, сопутствующие при этом метеорологические условия. Проведен сравнительный анализ станций Форт-Шевченко и Актау, который позволил выявить отличные сектора ветрового направления при появлении туманов, что говорит о различных барико-циркуляционных условий формирования явления. В заключении работы сделаны выводы, что наибольшая повторяемость туманов на восточном побережье Каспийского моря отмечается в переходные сезоны года, за исключением станции Актау, которая расположена гораздо южнее относительно остальных станций; наибольшая непрерывная продолжительность туманов на станциях Форт-Шевченко, о. Кулалы и Тушибек регистрируется зимой, до 6...8 дней. На станции Актау до 6...8 дней в теплое полугодие; продолжительность более 60 часов на о. Кулалы отмечается в холодное время года; максимальная продолжительность в Актау и Тушибек в последние десятилетия значительно меньше, чем на других станциях; при сравнительном анализе выявлено, что в Актау наибольшая повторяемость в западном и восточном секторах, а в Форт-Шевченко в северном.