

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-39-46>

УДК 631.67:631.674.6



ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БУРУНДИ

И. Ичитегетсе^{1✉}, С.А. Максимов²

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

²Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова: 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

^{1.1} citegetseinnocent@gmail.com; citegetseinnocent@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5052-4803>;

^{2.2} s.a.maksimov@rgau-msha.ru; s.a.maksimov@mail.ru; SPIN-код: 1836-1054

Аннотация. В статье рассматриваются текущее состояние и перспективы развития орошаемого земледелия в Бурунди – стране, где сельское хозяйство играет важнейшую роль в национальной экономике. Анализ охватывает различные методологии орошения: от традиционных практик до современных систем, а также проблемы и перспективы улучшения ситуации в орошаемом земледелии Бурунди. Потенциал орошения в Бурунди оценивается в 122 701 га, но в настоящее время орошается лишь часть этих площадей (33%). Отсутствие научно обоснованных инженерных решений, технические и социально-экономические ограничения, высокая стоимость оборудования, неподготовленная водохозяйственная инфраструктура сдерживают развитие ирригационных систем. Тем не менее появляются технологические инновации и перспективные стратегические рекомендации для повышения эффективности ирригации в стране.

Ключевые слова: ирригационные системы и технологии, Республика Бурунди, традиционные методы орошения, дождевание, капельное орошение

Формат цитирования: Ичитегетсе И., Максимов С.А. Текущее состояние и перспективы развития орошаемого земледелия в Республике Бурунди // Природообустройство. 2025. № 5. С. 39-46. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-39-46>

Original article

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF IRRIGATED AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF BURUNDI

I. Icitegetse^{1✉}, S.A. Maksimov²

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

²All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str, 44, building 2, Russia

^{1.1} citegetseinnocent@gmail.com; citegetseinnocent@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5052-4803>;

^{2.2} s.a.maksimov@rgau-msha.ru; s.a.maksimov@mail.ru; SPIN-код: 1836-1054

Abstract. This article examines the current state and prospects for the development of irrigated agriculture in Burundi, a country where agriculture plays a crucial role in the national economy. The analysis covers different irrigation methodologies, from traditional practices to modern systems, as well as the challenges and prospects for improving the situation in irrigated agriculture in Burundi. The irrigation potential in Burundi is estimated at 122,701 hectares, but only a fraction of this area (33%) is currently irrigated. The lack of scientifically based engineering solutions, technical and socio-economic limitations, the high cost of equipment, and unprepared water infrastructure hinder the development of irrigation systems. However, technological innovations and forward-looking policy recommendations to improve the efficiency of irrigation in the country are emerging.

Keywords: irrigation systems and technologies, Republic of Burundi, traditional irrigation methods, sprinkling, drip irrigation

Citation format: Icitegetse I., Maksimov S.A. Current state and prospects of development of irrigated agriculture in the Republic of Burundi // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 5. P. 39-46. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-39-46>

Введение. Ирригация имеет большое значение для обеспечения населения Бурунди продовольствием [1-3]. Эта сельскохозяйственная практика, позволяющая точно регулировать подачу воды к культурам, является ключевым фактором оптимизации сельскохозяйственного производства. В более широком смысле ирригационные системы способствуют диверсификации сельскохозяйственных культур и значительно повышают доходы фермеров, одновременно снижая их уязвимость перед климатическими угрозами.

Республика Бурунди, страна с богатыми водными ресурсами включая болота, реки и озера, обладает значительным потенциалом в этой области [4, 5]. Однако неравномерное распределение водных ресурсов по территории страны представляет собой серьезную проблему для развития сельского хозяйства. Статистические данные свидетельствуют о явном недостаточном использовании имеющихся ресурсов: используется только 33% потенциала ирригации, хотя этот потенциал гораздо выше.

Кроме того, ирригационная система в Бурунди сталкивается с рядом проблем, главная из которых – отсутствие развитой ирригационной инфраструктуры.

Следует отметить, что в ирригации заключен значительный потенциал для развития сельского хозяйства в Бурунди, поскольку исследования показали возможность повышения урожайности за счет применения передовых методов управления и технологий в мелких ирригационных системах по всей Африке [6]. Кроме того, было доказано, что ирригация повышает урожайность сои и арахиса в Бурунди [1].

Разработка программы развития ирригации в Республике Бурунди и ее реализация требуют значительных усилий и комплексного подхода к решению этой проблемы. Гармонизация потребностей сельского хозяйства, с одной стороны, и сохранение экосистем – с другой, являются ключевыми для будущего орошаемого земледелия в стране. Эта целостная перспектива должна лежать в основе будущих комплексных инициатив по развитию ирригационных систем в стране.

Цель исследований: изучение текущего состояния и перспектив развития орошаемого земледелия в Бурунди.

Материалы и методы исследований: при изучении проблемы использованы различные методологии орошения – от традиционных

практик до современных систем, а также рассмотрены проблемы и перспективы улучшения ситуации в орошаемом земледелии Бурунди.

Традиционное поверхностное орошение в Республике Бурунди. Этот гидромелиоративный прием основан на использовании эффекта самотечного безнапорного распределения воды (только под действием гравитации). Поверхностное орошение применяется в сельскохозяйственных районах Бурунди, где используются преимущества рельефа (естественных уклонов местности) для распределения воды оросительной воды на орошаемых полях.

Поверхностное орошение имеет значительные преимущества для бурундийских фермеров. Оно относительно простое в применении, не требует дорогостоящего оборудования и поэтому доступно для мелких фермеров (рис. 1).

Поверхностные методы орошения в Республике Бурунди – такие, как полив по бороздам, полив по полосам или полив на рисовых оросительных системах, сопряжены с определенными трудностями. Поверхностное орошение может привести к неравномерному распределению воды, когда одни участки поля получают слишком много воды, а другие – слишком мало. Это может негативно сказаться на урожайности.

Еще одной проблемой является эрозия почвы по причине чрезмерного стока, особенно на склонах. Кроме того, этот метод может привести к перенасыщению почвы, что повышает риск возникновения дренажа и болезней растений. Исследования показали, что фермеры часто применяют избыточное количество воды, превышая водоудерживающую способность почвы и вызывая потери воды через сток и глубокую инфильтрацию [7, 8]. Такое перенасыщение создает благоприятные условия для патогенов, потенциально способствуя развитию эпидемий заболеваний [9]. Более того, исследования показали, что это способствует вымыванию нитратов, что может повысить риск заболеваний растений ввиду дисбаланса питательных веществ [10].

Поверхностное орошение в Бурунди ввиду своих относительно невысоких эксплуатационных и капитальных затрат является доминирующим. Такие культуры, как сорго и сладкий картофель, кофе, чай и сахарный тростник, дают устойчивые и высокие урожаи при условии поддержания оптимальной влажности почвы при орошении.

Поверхностное орошение в Бурунди применяется при выращивании таких культур, как рис, батат, картофель, овощи, бананы и пр., существенно повышая продуктивность сельскохозяйственных земель.

Исследования показывают, как различные системы бороздкового орошения влияют на урожайность. Традиционное бороздковое орошение при 100%-ной ЕТс позволило получить 7,99 т/га, в то время как фиксированное бороздковое орошение при 50%-ной ЕТс дало только 4,24 т/га, что подчеркивает влияние орошения [11].

Традиционное для Бурунди поверхностное орошение, призванное обеспечивать повышение урожайности сельскохозяйственных культур, поддерживая необходимую для растений влажность почвы, расширенное воспроизводство плодородия земель и повышение потенциала производства сельскохозяйственных культур, имеет ряд недостатков [1]. Эффективность поверхностных способов полива снижается такими явлениями, как деградация и ирригационная эрозия почв [12]. Традиционные методы поверхностного орошения часто страдают от низкой производительности и неэффективного управления водными ресурсами. Исследования показали, что в некоторых районах эффективность орошения составляет менее 50%, причем в верхних водосборных бассейнах орошение избыточное, а в нижних – недостаточное [7].

Несмотря на свои недостатки, поверхностное орошение, обеспечивая получение устойчивых урожаев, может помочь в развитии мелкотоварного сельскохозяйственного производства и местной экономики. Инициативы по внедрению простых и надежных технических средств управления поверхностными поливами помогут повысить эффективность поверхностного орошения, обеспечивая более высокую устойчивость сельскохозяйственного производства в условиях характерной для региона погодной изменчивости и тенденций климатических изменений, происходящих в восточной части Центральной Африки.

Поверхностное орошение остается важнейшим способом и при использовании водных ресурсов в сельском хозяйстве Республики Бурунди. Благодаря своей относительной простоте оно может использоваться для орошения различных культур, является простым и экономичным, что делает его предпочтительным вариантом для малых фермерских хозяйств.

Поверхностное орошение в Республике Бурунди широко применяется при осуществлении поливов на землях с холмистым рельефом. Этот

метод является частью более широкой концепции «микроирригации», или малого орошения, которое, по мнению ФАО, играет решающую роль в обеспечении продовольственной устойчивости в сельских районах [13]. Такая концепция основана на создании небольших отводных плотин – так называемых «микроплотин», выше по течению водотоков. Эти сооружения, построенные в основном из уплотненного грунта, в современной гидрологии называют «обратными плотинами». Их скромные размеры особенно подходят для ограниченных потоков горных ручьев. Вода поступает по сети самотечных каналов, прорытых вручную с помощью традиционных инструментов – таких, как мотыги и лопаты. Этот подход похож на системы «контурных каналов», описанные в литературе по ирригации в холмистой местности [14].

Община разработала сложную систему управления водными ресурсами, основанную на принципе временной ротации. Эта организация основана на строгом почасовом распределении воды между различными частями холмов, а также на индивидуальном управлении на уровне участка с использованием ручных методов распределения. Каждый фермер контролирует поток воды на своем поле, временно перекрывая каналы ногами, а затем распределяет воду по культурам с помощью емкостей.

Система земледелия, связанная с этим орошением, позволяет вести диверсифицированное сельское хозяйство. Фермеры одновременно выращивают овощи: лук, баклажаны, амарант и капусту, клубни (такие, как сладкий картофель), фрукты – как, например, японская слива (*Prunus salicina*), и зерновые (в частности, кукурузу). Такой тип смешанного земледелия имеет ряд преимуществ: оптимизирует использование водных и земельных ресурсов страны, позволяет получать гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур, помогает поддерживать плодородие почвы и снижает фитосанитарные риски благодаря разнообразию культивируемых видов растений.

Традиционные методы орошения в Бурунди часто включают в себя самотечные системы, которые берут воду из рек, источников или небольших водохранилищ (рис. 1). Фермеры используют простые инструменты для создания борозд и ручного управления потоком воды. Для многих мелких фермеров в Бурунди главной задачей является производство достаточного количества продуктов питания для своих семей. Они часто полагаются на традиционные методы, передающиеся из поколения в поколение,



Рис. 1. Иллюстрация традиционной ирригационной системы в Бурунди
(фото автора И. Ичигетесе)

Fig. 1. Illustration of the traditional irrigation system in Burundi
[Photo by I. Ichitegetse]

которые в основном не предусматривают точного измерения или оптимизации расхода воды; учатся путем наблюдений, проб и ошибок, со временем адаптируя свои методы в зависимости от того, что кажется эффективным в их конкретных условиях.

Кроме того, выполнение точных размеров борозды и управление потоком воды могут потребовать дополнительных трудозатрат или ресурсов, которые фермеры не могут себе позволить.

Оптимизация размеров борозд и скорости потока воды может повысить эффективность орошения, тем не менее реальность для многих фермеров в Бурунди такова, что они работают с ограниченными ресурсами и отдают предпочтение насущным потребностям, часто полагаясь на традиционные знания и практику. Однако важно отметить, что неправительственные организации и государственные учреждения прилагают усилия для внедрения более эффективных методов орошения и обучения фермеров. Это постепенно приведет к повышению осведомленности и внедрению оптимизированных методов.

В исследованиях, проведенных в соседних странах, испытывались различные комбинации. При этом длина борозды варьировалась от 10 до 50 м, а скорость потока – от 0,45 до 1,6 л/с [15-19]. Скорость потока значительно влияла на урожайность культур и производительность воды во всех исследованиях, в то время как влияние длины борозды было менее последовательным. Оптимальные комбинации варьировались в зависимости от культуры и типа почвы: длина борозды 48 м и скорость потока 0,79 л/с рекомендованы для кукурузы на глинистой почве [19]; 50 м и 1,2 л/с – для хлопка на глинистой почве [17]; 30 м и 0,89 л/с – для картофеля [15].

Для улучшения этой традиционной системы можно рассмотреть ряд технических инноваций. Внедрение более эффективных технологий орошения – таких, как капельное орошение, позволит экономить воду. Использование более прочных материалов для каналов также снизит потребности в обслуживании. Внедрение надежных систем фильтрации поможет предотвратить засорение поливных форсунок, а установка приборов для измерения расхода воды будет способствовать более точному управлению водными ресурсами. В этой связи перспективным подходом для развития орошаемого земледелия в Республике Бурунди, по нашему мнению, будет подход, обеспечивающий учет и оптимальное сочетание экономических, технологических и социально-экологических факторов [2].

Современные ирригационные системы. Дождевание представляет собой значительный прогресс в технологиях орошения в Бурунди. Дождевание, или спринклерное орошение, – технологическая инновация, которая за счет давления в трубопроводах создает искусственный дождь. Спринклерное орошение особенно эффективно на участках со сложным рельефом, где традиционные методы неприменимы [20]. Дождевальные установки обеспечивают более равномерное распределение воды и могут быть адаптированы к специфическим потребностям различных культур.

Спринклерное орошение в условиях Республики Бурунди может быть использовано при выращивании зерновых культур – таких, как кукуруза (*Zea mays*), сорго и пр. Овощные культуры, особенно пасленовые, – такие, как томаты (*Solanum lycopersicum*), также выигрывают от точного регулирования влажности почвы,

что значительно ограничивает распространение грибковых заболеваний.

Основные ограничивающие факторы распространения дождевания в Бурунди – технические и экономические трудности. Высокая первоначальная стоимость является основным препятствием для мелких фермеров. Потребление энергии требует глубокого анализа экономической целесообразности системы.

На эффективность дождевания также влияют погодные условия: в частности, скорость ветра и потенциальное испарение. По данным исследований, потери составляют от 1,5 до 45% от внесенной воды [21, 22]. Скорость ветра и дефицит давления пара являются ключевыми факторами, влияющими на потери при испарении [23]. Чистые потери на испарение при дождевании составили 8,3% от общего количества внесенной воды, причем потери выше при дневном (9,8%) по сравнению с ночным (5,4%) поливами [23].

Перспективы использования дождевания в Республике Бурунди требуют повышенного внимания и включают в себя интеграцию автоматизированных технологий управления и систем мониторинга в режиме реального времени. Использование датчиков влажности почвы и автоматических метеостанций позволяет обеспечивать оперативное управление поливами, точно регулировать подачу воды, максимально повышая эффективность использования ресурсов.

Капельное орошение является инновационным в орошаемом земледелии в Бурунди. Оно основано на сложной распределительной системе, состоящей из труб, регуляторов давления, магнитных клапанов, капельных водовыпусков, спринклеров подкранового микроорошения, калиброванных эмиттеров и пр., обеспечивающих постепенное и дозированное распределение воды [20]. Высокая эффективность этой системы обусловлена высокой точностью распределения воды и снижением потерь на испарение. Анализ агрономических параметров выявил значительное физиологическое воздействие на развитие растений. Локализованное распределение воды способствует оптимальному развитию корней и улучшает усвоение питательных веществ. С фитопатологической точки зрения этот метод имеет значительные преимущества, так как снижает заболеваемость грибковыми болезнями. Поддержание контролируемой влажности на уровне корней, не допуская насыщения водой листы, создает условия, неблагоприятные для развития патогенов. Точное регулирование влажности почвы также оптимизирует полезную ризосферную микрофлору.

Экологические последствия этой технологии очень важны в контексте изменения климата. Эффективное использование воды помогает экономно расходовать водные ресурсы, а уменьшение промывного режима и снижение вымыва питательных веществ в подстилающие горизонты почвы сохраняют плодородие почвы и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду. Такой подход полностью соответствует принципам устойчивого развития сельского хозяйства.

Внедрение этой технологии в сельскохозяйственные системы Бурунди – значительный шаг на пути к более устойчивому и продуктивному сельскому хозяйству. Однако экономические и технологические проблемы, связанные с внедрением этих систем, требуют особого внимания. Высокая первоначальная стоимость и необходимость технического обслуживания являются ограничивающими факторами, которые должны учитываться при анализе затрат и выгод. Техническое обучение фермеров и регулярный мониторинг установок необходимы для обеспечения долгосрочной эффективности системы. Кроме того, раздробленность сельскохозяйственных участков, характерная для бурундийского сельского хозяйства, усложняет установку единых и эффективных ирригационных систем. Также отметим, что в настоящее время в Бурунди данный метод орошения находится на стадии эксперимента (рис. 2) и еще не получил широкого распространения среди фермеров.

Проблема развития ирригации в Республике Бурунди имеет следующие аспекты:

Технический. Анализ ирригационных систем в Бурунди выявил значительные технические ограничения, которые препятствуют оптимизации использования водных ресурсов [24]. Гидросельскохозяйственная инфраструктура, особенно в традиционной системе, имеет серьезные структурные недостатки, характеризующиеся неадекватным проектированием систем транспортировки воды и недостаточным обслуживанием существующих сооружений.

Системы поверхностного орошения, которые широко используются в регионе, имеют неоптимальную гидравлическую эффективность – в основном ввиду значительных потерь от испарения и инфильтрации в незащищенных каналах. Эта проблема усугубляется отсутствием регулярных анализов качества воды и систем мониторинга стока, что снижает эффективность гидросельскохозяйственных мероприятий. Неравномерное распределение водных ресурсов



Рис. 2. Эксперименты по капельному орошению в Бурунди
(фото по материалам: © MediaBox)

Fig. 2. Drip irrigation experiments in Burundi
[Photo based on materials: – © MediaBox]

по территории Бурунди также является серьезной технической проблемой. Более 99% орошаемых полей расположено на равнинах Имбо, Мосо и Бугезера, а также на болотах. На орошение в горах, как, например, в Рвире в провинции Бурури, приходится лишь небольшая доля – менее 1% от общей площади орошаемых земель. Такое положение требует различных технических решений, адаптированных к местным условиям.

Социально-экономический. Социально-экономические ограничения оказывают существенное влияние на эффективность ирригационных систем [25, 26]. Анализ экономических тенденций показывает значительный рост стоимости ирригационного оборудования, что представляет собой существенный финансовый барьер для мелких фермеров, для которых в большинстве случаев площадь орошаемых земель составляет менее 5 га. Инфляция цен также влияет на приобретение основных сельскохозяйственных ресурсов – таких, как семена и средства защиты растений. Влияние этих экономических ограничений четко отражается на урожайности сельскохозяйственных культур.

Институциональный. Существуют также значительные пробелы в институциональном потенциале, характеризующиеся:

- нехваткой квалифицированного технического персонала в государственных учреждениях;
- нехваткой финансовых ресурсов для создания и поддержания инфраструктур;
- отсутствием эффективной нормативно-правовой базы для управления водными ресурсами;

- отсутствием программы по обучению фермеров и повышению их осведомленности о современных методах ирригации.

Эти многофакторные ограничения требуют комплексного подхода, сочетающего инновационные технические решения и целевые социально-экономические мероприятия. Поэтому развитие ирригации, повышение эффективности ирригационных систем в Бурунди требуют целостной стратегии, учитывающей технические, социально-экономические и институциональные аспекты проблемы.

Перспективы совершенствования. Технологические инновации открывают многообещающие перспективы для совершенствования ирригационных систем в Бурунди. Внедрение современных технологий – таких, как капельное и дождевальное орошение, позволяет более эффективно использовать водные ресурсы. Эти системы могут быть адаптированы к различным регионам страны с учетом их специфических географических и климатических особенностей.

Для оптимизации поверхностного орошения крайне важным является эффективное управление водными ресурсами. Используя такие методы, как мониторинг влажности почвы, фермеры могут определить, когда и сколько воды нужно вносить. Это позволяет избежать избыточного полива и обеспечивает использование воды только в случае необходимости.

Адаптация поверхностного орошения к различным типам рельефа, например, к склонам, также помогает сократить потери воды. Террасирование, например, может задерживать воду и уменьшать сток. Системы каналов могут быть

спроектированы таким образом, чтобы направлять воду более эффективно, сводя к минимуму потери по причине стока на слишком крутых склонах.

Посадка покровных культур между рядами не только защищает почву от эрозии, но и уменьшает испарение воды. Это позволяет сохранить влажность почвы и увеличить влагозарядку, что особенно полезно для культур в периоды засухи.

Модификация существующих систем поверхностного орошения также способна помочь повысить эффективность. Например, бассейновое орошение, при котором вокруг растений создаются впадины, может улучшить сбор воды и уменьшить стоки. Аналогичным образом чередование поливов, при котором разные поля орошаются в разное время, позволяет оптимизировать использование воды, обеспечивая каждое поле водой в нужное время.

Создание систем мониторинга орошения может помочь фермерам оценить эффективность орошения. С помощью таких технологий, как датчики влажности почвы и системы дистанционного зондирования, можно собирать информацию о состоянии воды в почве, что позволяет корректировать потребности в орошении в режиме реального времени.

Кроме того, необходимо обучать и наращивать кадровый потенциал фермеров. Необходимо разработать программы обучения, чтобы

повысить осведомленность фермеров об эффективных методах орошения и устойчивом управлении водными ресурсами. Финансовая поддержка, особенно в виде программ субсидирования, способна помочь мелким фермерам получить доступ к современным технологиям ирригации.

Наконец, необходимо стратегическое планирование ирригации на уровне провинций включая разработку генеральных планов, адаптированных к местным условиям. Такое планирование должно включать в себя определение наиболее подходящих технологий для каждого региона.

Выводы

Несмотря на многочисленные технические и социально-экономические проблемы, текущее состояние ирригационных систем в Бурунди раскрывает значительный потенциал для повышения производительности сельского хозяйства. Предлагаемые технологические инновации и стратегические рекомендации позволят оптимизировать использование водных и земельных ресурсов, а также укрепить продовольственную безопасность страны. Успех этих улучшений будет зависеть от совместной приверженности государственных учреждений, организаций по развитию и фермеров к внедрению более эффективных и устойчивых методов ирригации.

Список использованных источников / References

1. Ndikumwenayo A., Kwizera C. Effects of irrigation Method on Household Food Security at Mugerero in Gihanga commune of Burundi // IJASRE. 2024. Т. 10, № 07. С. 67-71.
2. Mpererekumana P. и др. Assessing the Capacity of the Water–Energy–Food Nexus in Enhancing Sustainable Agriculture and Food Security in Burundi // Sustainability. 2023. Т. 15, № 19. С. 14117.
3. Nhundu K., Mushunje A. Irrigation Development: A Food Security and Household Income Perspective // Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management / под ред. Kumar M. InTech, 2012.
4. Barrat J.-M., Gutierrez A. Cartographie & Validation des Potentialités en Eaux Souterraines en Domaine de Socle sous Climat Tropical: Exemple du Burundi // Aquifères de socle: le point sur les concepts et les applications opérationnelles. La Chapelle-Hermier, 2015.
5. Gutierrez A., Barrat J.-M. Groundwater resources of Burundi. New elements and decision making tools // 35th International Geological Congress: IGC2016. 2016.
6. Fanadzo M. и др. Improving Productivity of Smallholder Irrigation in Africa Through Adoption of Best Management Practices and Technologies // Towards Sustainable Food Production in Africa / под ред. Fanadzo M. и др. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. С. 115-133.
7. Teshome Y. и др. Evaluating performance of traditional surface irrigation techniques in Cheleleka watershed in Central Rift Valley, Ethiopia // Appl Water Sci. 2018. Т. 8, № 8. С. 219.
8. Vico G., Porporato A. Traditional and microirrigation with stochastic soil moisture // Water Resources Research. 2010. Т. 46, № 3. С. 2009WR008130.
9. Rotem J., Palti J. Irrigation and Plant Diseases // Annu. Rev. Phytopathol. 1969. Т. 7, № 1. С. 267-288.
10. Yu H. и др. Water drainage and nitrate leaching under traditional and improved management of vegetable-cropping systems in the North China Plain // Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 2006. Т. 169, № 1. С. 47-51.
11. Birhan T.S. Effect of Furrow Irrigation Systems and Irrigation Levels on Maize Agronomy and Water Use Efficiency in Arba Minch, Southern, Ethiopia. 2023.
12. Megerle H.E., Niragira S. The Challenge of Food Security and the Water-Energy-Food Nexus: Burundi Case Study // World Review of Nutrition and Dietetics / под ред. Biesalski H.K.S. Karger AG, 2020. Т. 121. С. 183-192.
13. Oteng-Darko P. и др. Promoting smallholder irrigation for food Security – A review // Afr J Food Integ Agr. 2018. № 2. С. 1-7.
14. Kumar K., Satyal G.S., Kandpal K.D. Farmer and state managed hill irrigation systems in Kumaun Himalayas // Indian Journal of Traditional Knowledge. CSIR, 2006. Т. 5, № 1. С. 132-138.

15. Asefa A. и др. Effect of Appropriate Furrow Length and Flow Rate for Potato (&i> Solanum tuberosum&i> &l&t; I> L&t;/I>) Production Using Furrow Irrigation Under Smallholder Farmers Condition at Kersa, South Western Ethiopia // *AJPB*. 2023.

16. Kore G.G. Effect of furrow irrigation technical parameters on field application performances of short furrow and yield of onion crop in Bako, Ethiopia // *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2020. Т. 9. С. 1692-1698.

17. Robi F. и др. Determination of Appropriate Furrow Length and Flow Rate for Furrow Irrigation Practice Under Semi-Arid Climate Condition at Middle Awash, Ethiopia // *SR*. 2023.

18. Yadeta B. и др. Performance evaluation of furrow irrigation water management practice under Wonji Shoa Sugar Estate condition, in Central Ethiopia // *J. Eng. Appl. Sci.* 2022. Т. 69, № 1. С. 21.

19. Yigezu T.T., Kannan N., Hordof T. Effect of Furrow Length and Flow Rate on Irrigation Performances and Yield of Maize // *IJERT*. 2016. Т. V5, № 04. С. IJERTV5IS040846.

20. Attri M. и др. Improved Irrigation Practices for Higher Agricultural Productivity: A Review // *IJECC*. 2022. С. 51-61.

21. Uddin Md.J. Measurements of evaporation during sprinkler irrigation: University of Southern Queensland Repository: PhD Thesis. University of Southern Queensland, 2012. 300 с.

22. Yazar A. Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions // *Agricultural Water Management*. 1984. Т. 8, № 4. С. 439-449.

23. Stambouli T. и др. Sprinkler evaporation losses in alfalfa during solid-set sprinkler irrigation in semiarid areas // *Irrig Sci.* 2013. Т. 31, № 5. С. 1075-1089.

24. Ndayitwayeko W.M., Korir M. Determinants of technical efficiency in rice production in Gihanga (Burundi) Irrigation Scheme: A stochastic production frontier approach // *Egerton J. Sci. & Technol.* Egerton University, 2012. № 2. С. 1-12.

25. Chantal K., Astère D. Socio Economic Effects of Water Management on household livelihoods at Busiga commune of Ngozi Province in Burundi // *IJASRE*. 2023. Т. 09, № 11. С. 46-51.

26. Van Maanen N. и др. Accounting for socioeconomic constraints in sustainable irrigation expansion assessments // *Environ. Res. Lett.* 2022. Т. 17, № 7. С. 075004.

Об авторах

Инносент Ичитегетсе, аспирант; SPIN-код: 3352-4984, Author ID: 1273590; <https://orcid.org/0009-0004-5052-4803>; citegetseinnocent@gmail.com; citegetseinnocent@mail.ru

Сергей Алексеевич Максимов, профессор, главный научный сотрудник, зав. отделом мелиорации земель; SPIN-код: 1836-1054, Author ID: 190775; s.a.maksimov@rgau-msha.ru; s.a.maksimov@mail.ru

Information about the author

Innocent Icetegetse, post graduate student; SPIN code: 3352-4984, AuthorID: 1273590, <https://orcid.org/0009-0004-5052-4803>, citegetseinnocent@gmail.com; citegetseinnocent@mail.ru

Sergey A. Maksimov, Doctor of Technical Sciences, professor, chief researcher, head of the department of land reclamation; SPIN code: 1836-1054, Author ID: 190775; <https://orcid.org/0000-0001-7359-2228>, s.a.maksimov@rgau-msha.ru; s.a.maksimov@mail.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Ичитегетсе И., Максимов С.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare no conflicts of interests

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Статья поступила в редакцию / The article was received by the editors on 25.04.2025

Одобрена после рецензирования / Accepted for publication on 25.04.2025

Принята к публикации после доработки / Approved after review on 13.10.2025

Icetegetse I., Maksimov S.A. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have the copyright for the article and are responsible for plagiarism.