



Научная статья
УДК 633.18:631.674.6
doi: 10.55186/25876740_2026_69_4_499

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ БАРЬЕРЫ УСТОЙЧИВОГО ПРОИЗВОДСТВА РИСА В РЕСПУБЛИКЕ ГАНА: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ

Д.Г. Йамоах, И.А. Приходько, Х.Е. Кесафоти, В.Е. Клименко

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
Краснодар, Россия

Аннотация. Рис является стратегической сельскохозяйственной культурой Республики Гана, формирующей 15% ВВП и обеспечивающей продовольственную безопасность миллионов домохозяйств. Однако за последнее десятилетие разрыв между внутренним производством и потреблением критически увеличился, достигнув 50%-й зависимости от импорта. Несмотря на существенный успех в производстве риса, который наблюдается в последние годы, собственное производство риса покрывает только 47% при общем спросе в 1,5 млн т. Основной проблемой достижения самообеспечения страны рисом является отсутствие рисовых оросительных систем, современных водосберегающих технологий возделывания риса и достаточного количества специалистов. В связи с этим среднегодовая урожайность риса по двум сезонам (влажному и сухому) составляет от 2,5 до 3,5 т/га при потенциальной урожайности сортов 10 т/га. Поэтому в настоящей работе проведен комплексный анализ системных барьеров, сдерживающих развитие рисоводства в Гане. Анализ научных работ за 2013–2025 гг. показывает, что основными проблемами отрасли остаются деградация и засоление почв, климатическая нестабильность с потеплением на 0,21°C за десятилетие, острая нехватка мелиоративной и перерабатывающей инфраструктуры при 77,6% ручного труда, а также нерациональное управление водными и питательными ресурсами. Критическим звеном признана мелиорация: из-за использования малой доли ирригационного потенциала и опоры на дождевое земледелие отрасль крайне уязвима перед погодными аномалиями. В качестве решения предложен переход к комплексному управлению ресурсами, включающий масштабирование капельного орошения и метода чередования влажных и сухих периодов (AWD), восстановление почв с помощью биоугля и рисовой соломы, а также внедрение стрессоустойчивых сортов *Oryza glaberrima*. Сделан вывод о необходимости смены парадигмы: от экстенсивного импортозамещения — к устойчивой интенсификации на принципах агроэкологии и климатически оптимизированного земледелия.

Ключевые слова: Республика Гана, рис, урожайность риса, водосберегающие технологии возделывания риса, режимы орошения риса, природоподобные технологии

Original article

AGRO-ECOLOGICAL AND INFRASTRUCTURAL BARRIERS TO SUSTAINABLE RICE PRODUCTION IN REPUBLIC OF GHANA: A SYSTEMATIC ANALYSIS AND WAYS FORWARD

D.G. Yamoah, I.A. Prikhodko, Kh.E. Kesafoti, V.E. Klimenko

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Abstract. Rice is a strategic agricultural crop for Republic of Ghana, accounting for 15% of GDP and ensuring food security for millions of households. However, over the past decade, the gap between domestic production and consumption has widened dramatically, reaching 50% dependence on imports. Despite significant progress in rice production in recent years, domestic rice production only covers 47% of total demand of 1.5 million tons. The primary challenge to achieving rice self-sufficiency is the lack of rice irrigation systems, modern, water-efficient rice cultivation technologies, and a sufficient number of specialists capable of implementing them across Ghana. Consequently, the average annual rice yield across the two seasons (wet and dry) ranges from 2.5 to 3.5 t/ha, with potential yields of 10 t/ha for various varieties. Therefore, this paper provides a comprehensive analysis of the systemic barriers hindering the development of rice cultivation in Ghana. Based on a synthesis of modern literary sources (2013–2025), four key clusters of problems were identified: soil degradation and salinization; climatic instability with a temperature increase of 0.21°C per decade; critical insufficiency of land reclamation and processing infrastructure with 77.6% manual labor; irrational management of water and nutrient resources. Particular attention is paid to the reclamation aspect: it has been proven that with the use of only a small share of the irrigation potential and the prevalence of a rainfall cultivation regime, the sector remains extremely vulnerable to weather anomalies. A concept for transitioning to integrated resource management is proposed, including scaling up drip irrigation systems and the wet-dry cycle (AWD) method, using biochar and rice straw for soil restoration, and introducing stress-tolerant *Oryza glaberrima* varieties. A paradigm shift is needed: from extensive import substitution to sustainable intensification based on the principles of agro-ecology and climate-smart agriculture.

Keywords: Republic of Ghana, rice, rice yield, water-saving rice cultivation technologies, rice irrigation regimes, nature-like technologies

Введение. Рис (*Oryza sativa* L. и *Oryza glaberrima* Steud.) занимает уникальное положение в аграрной экономике Республики Гана. Являясь основной продовольственной культурой для городского и сельского населения, он одновременно формирует 15% валового внутреннего продукта страны и обеспечивает средства к существованию для сотен тысяч мелких фермерских хозяйств. В период с 2008 по 2025 гг. производство необрушенного риса (падди) увеличилось с 302 до 1135 тыс. т [1] (рис. 1),

а посевные площади расширились. Однако, если проанализировать посевные площади, занятые под посадкой риса, которые за последние 10 лет увеличились на 57%, то можно сделать вывод, что данный рост был достигнут преимущественно экстенсивным путем — за счет вовлечения новых земель, а не повышения урожайности.

Парадокс современного этапа развития рисоводства Ганы заключается в следующем: при наличии благоприятных агроклиматических условий в шести экологических зонах (от возвы-

шенных плато до приливных водно-болотных угодий), наличии местных адаптированных генотипов и политической воли к импортозамещению, отрасль демонстрирует хроническую нестабильность, что выражается в том, что при уверенном расширении посевов фактические сборы риса «лихорадит» из года в год из-за погодных скачков, слабой ирригации и логистических потерь.

Импорт покрывает более половины внутреннего спроса, а в периоды глобальных логистиче-

ских сбоев (как в 2024 г.) цены на местном рынке возрастают на 225%, что оборачивается реальной угрозой продовольственной безопасности Ганы: даже имея потенциал, страна остается заложницей внешних рынков, а ценовой шок — маркер провала системы хранения и формирования запасов.

Поэтому поставленные в наших исследованиях задачи ставят целью систематизацию и критический анализ фундаментальных проблем, препятствующих устойчивому развитию рисоводства Ганы. В отличие от предыдущих работ, фокусировавшихся на отдельных аспектах (экономических, агротехнических или климатических), настоящий обзор рассматривает проблему в разрезе четырех взаимосвязанных блоков: почвенно-агрохимического, климатического, инфраструктурного и мелиоративного. Особый акцент сделан на мелиорации как «узком горлышке» всей производственной цепочки.

Основная часть. В первую очередь, необходимо обратиться к состоянию почвенного покрова, поскольку именно он задает базовые условия для выращивания риса. Исследования показывают, что состояние почв рисовых полей Ганы характеризуется устойчивой негативной динамикой, которая выражается в комплексе процессов: критическом снижении содер-

жания органического вещества, подкислении (рН 4,0-5,5), прогрессирующем засолении (более 30% орошаемых площадей), физической деградации (уплотнение, эрозия) и накоплении тяжелых металлов (превышение ПДК по мышьяку и свинцу до 10 раз).

В настоящее время выделяют две группы индикаторов почвенного неблагополучия [2]: визуальные (кристаллические солевые частицы на поверхности, ожоги листового аппарата) и физиологические (поверхностное уплотнение, низкая полевая всхожесть, угнетение кущения, стерильность колосков). Анализ солевого стресса на урожайность риса показал, что он является лимитирующим фактором в прибрежных зонах и районах с нерациональным орошением и указывает на ограниченность органических методов мелиорации засоленных почв в условиях Ганы. Скудная растительность в агроэкологической зоне, отсутствие паровых полей и высокая конкуренция за растительную биомассу (использование для кровли, топлива, кормов и ремесел) делают традиционные стратегии внесения органических веществ трудно-выполнимыми.

Дополнительным фактором деградации выступает утрата органического углерода [3]. Длительное применение бессистемных севооборотов и преобладание монокультуры риса

привели к значительному снижению содержания органического углерода в почвах, что демонстрирует прямую корреляцию между использованием исключительно неорганических удобрений и падением содержания органического углерода в почвах, изменением рН, а также доступного азота. Это, в свою очередь, нарушает трофические связи почвенной микробиоты и снижает естественное плодородие, что выражается в падении содержания органического углерода ниже критического уровня 1,0%, подкислении почв до рН 4,9-5,5 и устойчивом снижении урожайности, которое проявляется в форме высокой волатильности и которое не компенсируется минеральными удобрениями.

В качестве перспективного направления восстановления почв признается агролесоводство, использование которого доказывает, что наличие древесной растительности на рисовых полях или по их периметру улучшает биоразнообразие, способствует аккумуляции влаги и повышает устойчивость агроэкосистем [4].

Не менее важным инструментом улучшения почвенного плодородия служат севообороты. Севооборот с бобовыми и кукурузой демонстрирует высокую экономическую эффективность, использование этих культур, как показывает проведенный анализ, дает рост урожайности риса на 10,5% и кукурузы на 11,3% при введении ротационных схем, с одновременным увеличением чистой прибыли на 16,7%. Также, согласно проведенным исследованиям, севооборот нарушает циклы вредителей и болезней, улучшает плодородие почвы, снижает ее долгосрочную деградацию и решает проблемы почвенных вредителей и сорняков, с которыми пестициды часто не справляются. Это подтверждает необходимость пересмотра структуры посевных площадей.

Наряду с почвенными проблемами, производство риса в Гане сталкивается с серьезными климатическими вызовами [5]. Гана находится в зоне повышенной климатической уязвимости, поэтому производство риса сталкивается с рядом угроз, связанных с экстремальными погодными явлениями, вызванными изменением климата. Засухи, наводнения, ураганы и высокие температуры нарушают агроэкологическую стабильность, снижают устойчивость, создают экономические трудности и усугубляют продовольственную нестабильность. Проведенный климатический анализ многолетнего ряда наблюдений показал, что наблюдается повышение среднегодовой температуры на 0,21°C за десятилетие (с 1990 г.), с прогнозируемым ростом на 1,7°C к 2030 г. (рис. 2). В результате чего был установлен физиологический порог для *Oryza sativa*: отклонение от оптимума (22-28°C) в фазе цветения индуцирует стерильность пыльцы и резкое снижение озерненности метелок.

Климатические изменения в Гане проявляются прежде всего в усилении неравномерности выпадения осадков. Если на юге страны по-прежнему фиксируется два дождливых сезона (апрель-июль и сентябрь-ноябрь), то на севере влажный период укорачивается, а сухой, напротив, удлиняется (с ноября по май). Согласно проведенному анализу многолетнего ряда наблюдений количества осадков, выявлена общая тенденция к уменьшению годовых сумм



Рисунок 1. График динамики производства необрушенного риса (2008- 2025 гг.)
Figure 1. Graph of the dynamics of paddy rice production (2008-2025)

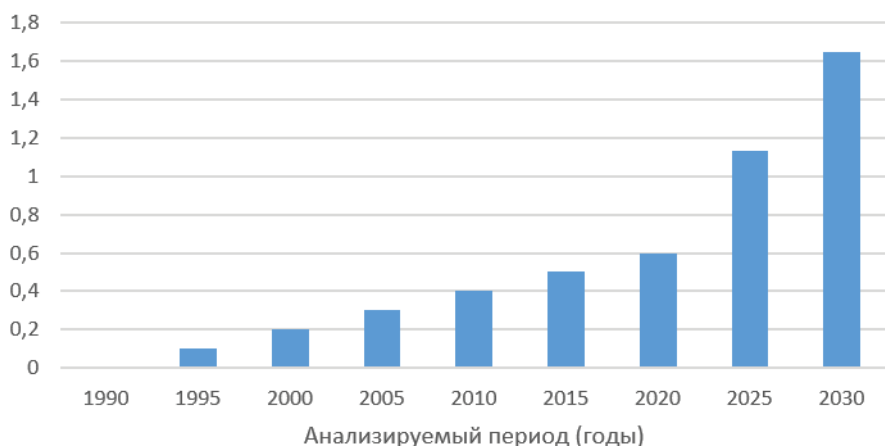


Рисунок 2. Хронология колебаний температуры и количества выпадающих осадков в Гане в интервале 1990-2030 гг.
Figure 2. Chronology of temperature and rainfall fluctuations in Ghana during the period 1990-2030



осадков при одновременном росте их экстремальности. Это нарушает привычные сроки посева и уборки, заставляя аграриев пересматривать стратегии управления полями. Ливневые осадки вызывают затопление рисовых чеков, приводят к кислородному голоданию корней, накоплению токсичных форм железа, марганца и сероводорода, а также укорачивают вегетацию. Засушливые периоды, наоборот, создают осмотический и солевой стресс у растений. Как показывает практика возделывания риса в Верхневосточном регионе Ганы, нестабильность увлажнения способствует вспышкам пирикулярноза, из-за чего потери урожая в очагах поражения достигают 50% [6]. Экономические последствия такой нестабильности уже вполне ощутимы, характеризуются как «парадокс дефицита среди изобилия» и выражаются в следующем:

- количественный разрыв (около 900 тыс. т): внутреннее производство покрывает лишь половину растущего спроса, из-за чего Гана вынуждена импортировать почти 1 млн т риса ежегодно. Расходы на импорт риса являются серьезным бременем для экономики, превышая 3 млрд седи в год;
- структурный разрыв: рост спроса обусловлен быстрой урбанизацией (почти 60% населения живут в городах) и предпочтением потребителями импортного риса, который составляет до 70% продаж в стране. На фоне этого рису в Гане отводится лишь 2,6% сельхозугодий, а устаревшие методы производства и слабая инфраструктура обрекают местную продукцию на неконкурентоспособность;
- кризис сбыта (более 1,3 млн т): наиболее остро парадокс проявляется в том, что на складах страны скопилось свыше 1,3 млн т нереализованного местного риса. Фермеры не могут найти сбыт своей продукции из-за того, что рынок переполнен дешевым импортом, иногда контрабандным;
- экономический и социальный шок: ситуация усугубляется резкими скачками цен. В 2024 г. цены на рис взлетели на 225%, что, вкупе с общим снижением урожая зерновых на 21,82%, вынудило значительную часть населения экономить на еде: 58,3% домохозяйств снизили качество питания, 44,71% — урезали порции.

Становится очевидным, что именно провалы в местном выращивании риса являются главной причиной 50%-й импортной зависимости Ганы. Крах 2024 г., когда цены на рис взлетели на 225%, наглядно показал уязвимость сложившейся модели продовольственной безопасности. В этой связи улучшение агротехнических приемов и сортовой основы рассматривается в наших исследованиях как ключевое направление адаптации к климатическим изменениям и способности фермеров осуществлять подбор сортов и методов ведения хозяйства с учетом локальных почвенно-климатических условий.

Тем не менее даже при благоприятном сочетании почв и погоды главным препятствием остается инфраструктурная и техническая отсталость. Около 77,6% всех сельхозопераций в Гане до сих пор выполняются вручную — маचे, мотыгами и серпами [7]. Прimitивный инвентарь доминирует как при подготовке

земли, так и в уходе за посевами, что не только сдерживает производительность труда, но и блокирует внедрение ресурсосберегающих технологий. Одним из ключевых инфраструктурных ограничений, согласно заявлению министра продовольствия и сельского хозяйства Ганы, остается острая нехватка рисовых перерабатывающих предприятий непосредственно в зонах выращивания культуры. Из-за дефицита мощностей для первичной и глубокой обработки зерна фермеры вынуждены либо продавать сырец по заниженным ценам, либо мириться с потерями урожая при хранении. В результате складывается замкнутый круг: низкая доходность не дает возможности инвестировать в обновление, а отсутствие модернизации консервирует отсталость.

Не менее важное звено — мелиорация и регулирование водопользования. Согласно принятой системе земледелия в Гане, поля, занятые возделыванием риса, делятся на три категории: орошаемые, низинные (с естественным переувлажнением) и богарные. Доля систематически орошаемых земель остается неприемлемо малой; страна использует лишь малую часть имеющегося ирригационного потенциала. Из этого следует, что основная масса посевов полностью зависит от нерегулярных осадков. В качестве основного способа полива повсеместно применяется затопление, которое отличается низкой эффективностью использования воды, значительными потерями на испарение и фильтрацию, а также провоцирует вторичное засоление.

Более совершенная технология — метод чередования влажных и сухих периодов (AWD), при котором поле не держат постоянно под слоем воды, а периодически осушают. Попыты, проведенные в районе Вольта, подтвердили, что метод чередования влажных и сухих периодов (AWD) вполне работоспособен в местных условиях: он дает ощутимую экономию поливной воды без значимых потерь в урожайности. Более простой и дешевый вариант — дождевание — тоже является альтернативой затоплению, но у него есть серьезные недостатки: высокая доля испарения с поверхности листвы, а также сильная зависимость равномерности полива от ветра. Намного лучшие результаты демонстрирует капельное орошение. Так, в ходе экспериментов на аэробных посевах риса удалось одновременно поднять урожайность на 29%, сократить водозабор наполовину и довести водопродуктивность до 1,03 кг/м³ [8]. Схожие исследования [9] также подтвердили положительный эффект от перехода на капельную систему: расход оросительной воды снизился на 42%, а эффективность полива заметно выросла. Но у этой технологии есть и оборотная сторона — она требует точной настройки и регулярного обслуживания (проверка эмиттеров, промывка линий, контроль влажности). В условиях, когда большинство хозяйств Ганы испытывают острую нехватку технических средств и квалифицированных кадров, такой барьер становится практически непреодолимым. Внедрение водосберегающих методов, таких как точное земледелие, аэробное выращивание риса, гидропонное размножение семян и сбор дождевой воды, является эффективным способом борьбы с последствиями изменения климата. Расширение

ирригационной инфраструктуры позволит снизить, а в дальнейшем не зависеть от нерегулярных осадков.

Все вышеизложенное позволяет утверждать: мелиоративный комплекс Ганы находится в состоянии институциональной и технологической ловушки. При наличии апробированных водосберегающих технологий их массовое внедрение сдерживается высокой капиталоемкостью систем точного орошения, отсутствием сервисных служб и кадрового потенциала, фрагментацией землепользования (мелкотоварный сектор), а также дефицитом энергоснабжения для насосных станций.

Неразрывно с мелиорацией связано управление почвенным плодородием и удобрениями. Управление питательными веществами является критическим фактором устойчивости рисоводства. Однако реальная практика в Гане далека от научно обоснованных рекомендаций. Чрезмерное использование удобрений привело к деградации почвы и оказало негативное воздействие на экосистемы и биоразнообразие. Перекус в сторону азотных удобрений при игнорировании калийных и фосфорных, нарушение сроков внесения и дозирования привели к физико-химической деградации почв [10]. В то же время существует большой ресурсный потенциал рисовой соломы. Результаты исследований в этой области [11] убедительно демонстрируют, что рисовая солома содержит 80% потребляемого рисом калия (K), 40% азота (N) и 30% фосфора (P). Ее заделка в почву позволяет не только сократить потребность в минеральных удобрениях, но и повысить содержание органического углерода, улучшить структуру и стимулировать почвенную биоту. В Гане рисовая солома остается «обильным и недоиспользуемым ресурсом биомассы». Традиционная практика сжигания соломы на полях или ее вывоз должна быть заменена на компостирование и прямое внесение.

Отдельного внимания заслуживает биоуголь как мелиорант. Данные исследований полевых опытов в Гане доказали [9], что внесение биоугля повышает способность почвы секвестрировать углерод в пахотном горизонте. Синергизм биоугля и азотных удобрений приводит к росту объема корневой системы риса и улучшению поглощения NPK. Биоуголь — это твердый побочный продукт, образующийся при пиролизе органических биологических материалов в условиях низкого или ограниченного содержания кислорода. Тот же самый биоуголь вполне реально получать из рисовой соломы, что позволяет замкнуть технологический цикл переработки отходов. Добавление подобных медленно разлагающихся материалов, включая биоуголь, способствует связыванию углерода и уменьшению выбросов CO₂ в атмосферу [12]. В любом случае, все подкормки следует проводить только после почвенно-растительной диагностики и точного расчета доз NPK, что обеспечит максимальную экономию удобрений (до 30-50%), повышение урожайности на 35-50% и качества продукции при одновременном снижении негативного воздействия на почвенную микробиоту и экосистемы.

Когда органические компоненты (солома, биоуголь, навоз) комбинируются с минеральными удобрениями, возникает синергия. Органика положительно влияет на структуру почвы





и ее буферную способность, тогда как минеральные удобрения дают быстрый, ярко выраженный стартовый эффект. Подобное комплексное применение органических и неорганических удобрений дает сельскому хозяйству целый ряд выгод: растет плодородие почвы за счет поступления разнообразных питательных элементов и органического вещества, улучшается почвенная структура, повышается способность удерживать элементы питания, а также активизируется микробиологическая жизнь.

Обсуждение. Проведенный анализ позволяет перейти от констатации разрозненных проблем к построению системной модели. В-первых, следует признать, что стратегия импортозамещения в рисоводстве Ганы, реализуемая преимущественно административными и макроэкономическими методами (пошлины, квоты, кредиты), натолкнулась на жесткие технологические и экологические ограничения. Без кардинальной модернизации мелиоративного фонда наращивание производства невозможно. Во-вторых, климатические изменения выступают не просто фоновым фактором, а прямым дестабилизатором. Неравномерность осадков девальвирует традиционные знания фермеров о сроках сева и выборе полей. Адаптация к климату требует перехода от пассивного реагирования к активному управлению водным режимом. В-третьих, мелиорация и почвенное плодородие неразрывно связаны. Капельное орошение и AWD не только экономят воду, но и предотвращают засоление. Биоуголь и солома не только питают растения, но и повышают влагоемкость легких почв. Использование стрессоустойчивых сортов может повысить продуктивность и расширить выращивание риса в засоленных регионах. В-четвертых, низкая механизация — не только причина, но и следствие. Пока производство риса остается мелкозвеньевым и низкорентабельным, у фермеров нет средств для приобретения техники. Государственно-частное партнерство в создании машинно-технологических станций и ирригационных кооперативов представляется неизбежным. Эффективное использование удобрений также может уменьшить выбросы NO_3 с рисовых полей не менее чем на 25% — ключевого парникового газа, образующегося

при разложении азотных удобрений в почве, благодаря оптимизации сроков, доз и методов их внесения [13], а для решения этих проблем крайне важно внедрять устойчивые стратегии производства, которые ставят во главу угла защиту окружающей среды, рациональное использование ресурсов и социально-экономическое развитие.

Выводы. Рисоводство Ганы находится на перепутье. Экстенсивный путь развития исчерпал себя: пригодные земли вовлечены в оборот, а почвенные и водные ресурсы деградируют. Импортная зависимость достигла критического уровня, создавая угрозы продовольственной безопасности. Настоящий системный обзор демонстрирует, что глубинная причина кризиса — не в отдельно взятых факторах, а в их конвергенции: деградация почв — климатическая турбулентность — инфраструктурная отсталость — дефицит компетенций. Выход из сложившейся ситуации видится в переходе к парадигме устойчивой интенсификации на принципах климатически оптимизированного земледелия (Climate-Smart Agriculture) — с приоритетным развитием орошения и водосберегающих технологий; циркулярной экономики — полное вовлечение рисовой соломы и других побочных продуктов в агроцепочку; агроэкологического подхода — севообороты, агролесомелиорация, интегрированная защита растений. Реализация данной парадигмы требует консолидации усилий государства, научно-исследовательских институтов, частного сектора и самих фермеров. Без этого достижение продовольственного суверенитета Ганы в рисовом секторе останется недостижимым ориентиром.

Список источников, References

1. Chivenge, P., Rubianes, F., Chin, D., Thach, T., Khang, V.T., Romasanta, R.R., et al. (2020). Effect of rice straw incorporation on nutrient cycling and soil organic matter. In: *Sustainable Rice Straw Management*, pp. 131-144. Springer.
2. Boakyo, M.Y., Kulas, R.J. (2020). Improving water use efficiency for small-scale rice farmers in the Upper West Region of Ghana: a review of sustainable approaches. In: *Exploring synergies and trade-offs between climate change and the Sustainable Development Goals*, pp. 231-262.

3. Dash, J., Kuila, M. (2023). A comparative study on the application of mathematical models to the amount of NPK fertilizers absorbed to achieve the best rice yield indicators. *Int. J. Plant Soil Sci.*, 35, 70-77. doi: 10.9734/ijps/2023/v35i72863

4. Pantera, A., Mosquera-Losada, M., Herzog, F., Den Herder, M. (2021). Agroforestry and the environment. *Agroforestry Systems*, 95, 767-774. doi: 10.1007/s10457-021-00640-8

5. Mangaraj, S., Paikaray, R.K., Maitra, S., Pradhan, S.R., Garnayak, L.M., Satapati, M., et al. (2022). Integrated nutrient management improves growth and yield of rice and mung bean in a rice-mung bean cropping system under coastal plain agro-climatic conditions. *Plants*, 11, 142. doi: 10.3390/plants11010142

6. Yamba et al. (2023). Cited by: rainfall seasonality in Northern Ghana.

7. Mohapatra, P.K., Sarkar, R.K., Panda, D., Kariahi, E. (2025). Ecology and habitat diversity of rice. In: *Rice Tillering Behaviour*, pp. 19-63. Springer. doi: 10.1007/978-981-97-5235-5_2

8. Parthasarathi, T., Vanitha, K., Mohandass, S., Vered, E. (2018). Evaluation of drip irrigation system for water productivity and rice yield. *Agronomy Journal*, 110 (6), 2378-2389.

9. Baidoo, I., Sam, K.O., Diaba, M.A., Brown-Appiah, E.C., Akomea, Y.P., Atiwoto, A.E., Sarpong, D.B., Bolwig, S. (2024). Integrating Biochar with Solar Drip Irrigation Technology for Smallholder Vegetable Farming in South-Eastern Ghana Yields Profitable Returns. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 42 (7), 110-125.

10. Ukwu, F.K. (2024). Agro-Chemical Use in Crops in Ghana: Multidimensional Impacts and Sustainable Solutions. *Newport International Journal of Research in Medical Sciences*.

11. Kumar, A., Nayak, A.K., Sharma, S., Senapati, A., Mitra, D., Mohanty, B., et al. (2023). Rice straw recycling: a sustainable approach to ensuring environmental quality and economic security. *Pedosphere*, 33, 34-48. doi: 10.1016/j.pedsph.2022.06.036

12. Singh, S., Kiran, B.R., Mohan, S.V. (2024). Carbon farming: a circular model for increasing CO_2 uptake and combating climate change. *Environmental Advances*, 3 (4), 522-542. doi: 10.1039/d3va00296a

13. Boateng, K.K., Obeng, G.Y., Mensah, E. (2020). Eco-Friendly Yield and Greenhouse Gas Emissions as Affected by Fertilization Type in a Tropical Smallholder Rice System, Ghana. *Sustainability*, 12 (24), 10239.

Информация об авторах:

Йамоах Дерик Гйаси, аспирант кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-0176-0026>, dgyasi@aacint.org

Приходько Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, Scopus ID: 57214098822, Researcher ID: AAH-1647-2021, SPIN-код: 4011-7185, prihodkoigor2012@yandex.ru

Кесафоти Христофор Евстафьевич, ассистент кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7468-865X>, Researcher ID: PVE-0472-2026, SPIN-код: 1186-0294, mr.kesafoti@mail.ru

Клименко Валерия Евгеньевна, заведующая лабораторией кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-9141-4921>, valeria.klimenko007@mail.ru

Information about the authors:

Derick Gyasi Yamoah, postgraduate student of the department of construction and operation of water management facilities, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-0176-0026>, dgyasi@aacint.org

Igor A. Prihodko, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of construction and operation of water management facilities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, Scopus ID: 57214098822, Researcher ID: AAH-1647-2021, SPIN-code: 4011-7185, prihodkoigor2012@yandex.ru

Khristofor E. Kesafoti, assistant of the department of construction and operation of water management facilities, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7468-865X>, Researcher ID: PVE-0472-2026, SPIN-code: 1186-0294, mr.kesafoti@mail.ru

Valeria E. Klimenko, head of the laboratory of the department of construction and operation of water management facilities, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-9141-4921>, valeria.klimenko007@mail.ru