



Научная статья

УДК 631.6

doi: 10.55186/25876740_2026_69_5_626

ТРАДИЦИОННЫЕ АГРОТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РИСОВОДСТВЕ РЕСПУБЛИКИ ГАНА: ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ

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

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

Аннотация. В статье рассматривается проблема неэффективности существующих агротехнологий и систем водопользования в рисоводстве Республики Гана. На основе анализа литературных данных и материалов полевых исследований выявлены основные недостатки традиционных методов орошения, включая затопление рисовых чеков, бороздковое и дождевальное орошение. Показано, что доминирование экстенсивных подходов, критически низкая эффективность использования водных ресурсов, инфраструктурные ограничения и климатические вызовы препятствуют достижению продовольственной безопасности. Рассматриваются перспективы внедрения водосберегающих технологий, таких как попеременное увлажнение и осушение (AWD) и аэробное выращивание риса, адаптированные к условиям Ганы. Особое внимание уделяется социально-экономическим барьерам внедрения инноваций и необходимости научного обоснования региональных рекомендаций.

Ключевые слова: Республика Гана, рис, орошение, водосберегающие технологии, попеременное увлажнение и осушение (AWD), эффективность водопользования, продовольственная безопасность, климатически устойчивое сельское хозяйство

Original article

TRADITIONAL AGRICULTURAL TECHNOLOGIES AND WATER MANAGEMENT SYSTEMS IN RICE FARMING IN THE REPUBLIC OF GHANA: EFFICIENCY ISSUES AND WAYS TO MODERNIZE

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

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

Abstract. The article examines the problem of inefficiency of existing agricultural technologies and water management systems in rice production in Republic of Ghana. Based on the analysis of literature data and field research materials, the main disadvantages of traditional irrigation methods, including flooding of rice checks, furrow and sprinkler irrigation, are identified. It is shown that the dominance of extensive approaches, critically low water use efficiency, infrastructural constraints, and climatic challenges hinder the achievement of food security. The prospects for introducing water-saving technologies, such as Alternate Wetting and Drying (AWD) and aerobic rice cultivation, adapted to the conditions of Ghana, are considered. Special attention is paid to the socio-economic barriers to innovation adoption and the need for scientific substantiation of regional recommendations.

Keywords: Republic of Ghana, rice, irrigation, water-saving technologies, Alternate Wetting and Drying (AWD), water use efficiency, food security, climate-smart agriculture

Введение. Рис (*Oryza sativa* L.) является основным продуктом питания для более чем половины населения мира и второй по значимости зерновой культурой после кукурузы в Республике Гана [Buri et al., 2015]. За последние десятилетия потребление риса на душу населения в Западной Африке неуклонно растет: в Гане этот показатель увеличился с 22,6 кг в 2008 г. до 43,5 кг в 2022 г. [MoFA, 2023]. Однако внутреннее производство значительно отстает от растущего спроса: средний дефицит потребления составляет приблизительно 0,67 млн т ежегодно, что покрывается импортом из Вьетнама, Индии, Таиланда и других стран [Alhassan et al., 2015], о чем свидетельствует рисунок 1.

При существующей средней урожайности 3–4 т/га достижимый потенциал оценивается более чем в 6,5 т/га [Buri et al., 2015]. Низкая продуктивность объясняется комплексом факторов: климатическими условиями, исходно низким плодородием почв, неоптимальными

методами управления почвенными ресурсами, неадекватным орошением и неэффективными системами водопользования [Nakamura et al., 2016; Chidiebere-Mark et al., 2019].

Цель настоящей статьи — системный анализ проблем эффективности существующих агротехнологий и систем водопользования в рисоводстве Ганы, а также оценка перспектив внедрения ресурсосберегающих подходов на основе данных научных исследований и практического опыта.

Основная часть
Технологическая отсталость и доминирование экстенсивных методов. Основной объем производства риса в Гане базируется на традиционных системах земледелия, не претерпевших существенных изменений на протяжении десятилетий. Доминирующим методом остается затопляемое орошение (рисовые чеки), а также использование бороздкового и дождевального орошения. Согласно данным ФАО [2011] и Министерства сельского хозяйства США [2019], около

84% стран мира используют метод поверхностного орошения, и Гана не является исключением.

Традиционные методы, при всей их простоте и доступности, характеризуются рядом существенных недостатков. Поверхностное орошение, включая затопление чеков, основано на гравитационном перемещении воды от более высоких точек к низким. При бороздковом орошении для достижения относительно равномерного распределения влаги 20–30% подаваемой воды вынужденно сбрасывается с поля в виде поверхностного стока. В отсутствие систем сбора и повторного использования стока эффективность полива снижается до 60–70% [Muhammad et al., 2010].

Подготовка почвы под затопление требует интенсивного ручного труда и тщательного выравнивания полей, что увеличивает временные и финансовые затраты фермеров. Исследования, проведенные на Индо-Гангских равнинах, показывают, что лазерное выравнивание полей позволяет сокращать потребление воды до



40% и повышать урожайность риса и пшеницы на 5-10% по сравнению с традиционным выравниванием [FAO, 2024], результаты исследования отражены в таблице. Однако в Гане подобные технологии пока не получили широкого распространения.

Важно отметить, что урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Ганы неизменно выше, чем на богарных. Согласно сравнительным данным Всемирного банка [2021] и MoFA-PFJ-2 [2023], орошение обеспечивает существенную прибавку урожая. Исследование Anang et al. [2017] показало, что при учете самоотбора фермеров в орошаемую группу, орошаемые хозяйства оказываются на 9,2% эффективнее по технической эффективности по сравнению с богарными. Однако достигнутые показатели все еще далеки от потенциально возможных 6,5-7 т/га.

Критически низкая эффективность использования водных ресурсов. Традиционное затопление полей слоем воды 5-10 см приводит к колоссальным потерям воды. Согласно данным Kruzhilin et al. [2017], 1 га риса при затоплении может потреблять более 20000 м³ воды, при этом скорость испарения достигает 6000-8000 м³. По оценкам специалистов, для производства 1 кг риса при традиционном затоплении требуется около 3000 л воды [Ghanaian Times, 2025; citation:5].

В условиях Ганы, где система орошения часто представлена открытыми каналами (гравитационными или насосными), потери на транспортировку и испарение усугубляются. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO) оценивает ирригационный потенциал Ганы в 1,9 млн га [FAO, 2005; GIDA, 2024]. Однако реально освоено лишь около 229 тыс. га, что составляет лишь 12% от потенциала. Существующие 190 ирригационных систем часто морально и физически устарели [MoFA-GIDA, 2024].

В качестве альтернативы традиционному затоплению все большее внимание привлекает метод попеременного увлажнения и осушения (Alternate Wetting and Drying — AWD). Данный метод предполагает периодическое осушение поля с последующим повторным затоплением, что позволяет возвращать кислород в почву и подавлять метаногенез. Согласно данным FAO, AWD позволяет сократить потребление воды на 30-50% без снижения урожайности. Согласно данным, полученным в ходе проектов CGIAR в Гане, технология чередования затопления и осушения (AWD) позволяет снизить расход воды на орошение порядка более чем на треть [Amankwa-Yeboah et al., 2024; citation:4]. Полевые испытания 2021-2022 гг. в Фумесу дали схожий результат: экономия водозабора составила 28%, а урожайность при этом не снизилась. Однако есть важная оговорка: при совместном применении AWD, синтетических удобрений и местных разновидностей риса *Oryza glaberrima* сборы зерна сократились почти на треть (31%) [Field Crops Research, 2025; citation:8]. Помимо AWD, существует и другой водосберегающий метод — аэробное рисосеяние, когда семена заделывают в сухую землю и лишь потом орошают. По оценкам FAO [2024], такая технология сокращает потребление воды на 30-50%. Дополнительный плюс: гребневой посев дает значительно более высокие урожаи по сравнению с традиционными способами.

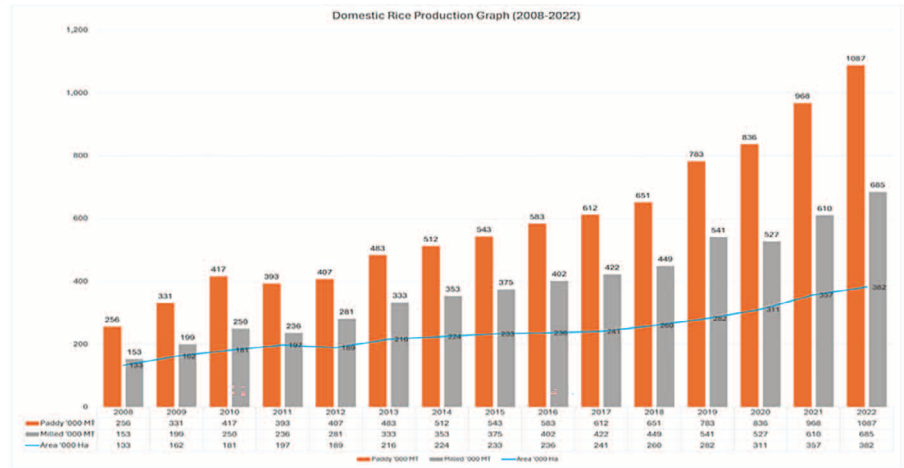


Рисунок 1. Динамика производства риса-сырца и посевных площадей в Республике Гана (2008-2022) [MoFA, 2023]

Figure 1. Dynamics of paddy rice production and cropping area in Republic of Ghana (2008-2022) [MoFA, 2023]

Таблица. Урожайность риса при различных типах земледелия в Республике Гана

[Всемирный банк, 2021; MoFA-PFJ-2, 2023]

Table. Rice yields under different cropping systems in Republic of Ghana [World Bank, 2021; MoFA-PFJ-2, 2023]

Горизонт (см)	Анализ размера частиц			Текстура
	% песка	% глины	% ила	
0-13	50,48	33,77	15,75	Песчано-глинистый суглинок
13-25	62,36	15,87	21,77	Песчано-суглинистая почва
25-42	52,53	29,96	17,51	Песчано-глинистый суглинок
42-73	56,29	29,73	13,98	Песчано-глинистый суглинок
73-101	42,48	39,91	17,61	Глина
101-139	46,16	39,64	14,20	Песчано-глинистый суглинок

Климатические изменения и инфраструктурные барьеры. Сдерживающим фактором для развития рисоводства в Гане выступают именно инфраструктурные ограничения, причем их влияние многократно усиливается на фоне климатической нестабильности. Ирригационная система левого берега Кпонг (KLBIS), построенная в 1980-х годах, долгое время работала с низкой эффективностью из-за износа инфраструктуры. В рамках проекта Ghana Commercial Agriculture Project (GCAP) с инвестициями 62 млн долл. было восстановлено 6500 га орошаемых земель, включая 3300 га на KLBIS, что позволило достичь урожайности риса до 6 т/га [potatoes.news, 2025; citation:3].

В настоящее время Программа устойчивости продовольственных систем (FSRP) при поддержке Всемирного банка и ЭКОВАС реализует проект модернизации ирригационной системы Кпонг стоимостью 22,5 млн долл., охватывающий около 1000 га. Целевой показатель урожайности установлен на уровне 7 т/га.

Климатическая изменчивость существенно обостряет проблему водообеспечения. Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), Африка является одним из наиболее уязвимых континентов к изменчивости и изменению климата [IPCC, 2014]. Прогнозируется, что к 2030 г. от 75 до 250 млн человек будут подвержены усиленному дефициту воды из-за изменения климата. Исследования, проведенные в северной

Гане, показывают, что перемещение даты посадки с апреля на май является наиболее рискованным выбором для кукурузы и сорго, тогда как для риса наиболее эффективна технология пересадки рассады [Ahiamadia et al., 2024; citation:9] (рис. 2).

Повышение температуры ведет к росту транспирации, что увеличивает потребность в поливной воде. Исследования Xu et al. [2023] показывают, что засуха на критических стадиях роста (цветение и налив зерна) может снижать урожайность за счет уменьшения массы зерна. С другой стороны, чрезмерные осадки могут приводить к переувлажнению, что препятствует развитию корней и увеличивает риск заболеваний.

Социально-экономические барьеры внедрения инноваций и научная неопределенность. Ключевым препятствием для широкого внедрения водосберегающих технологий в Гане является высокий порог их доступности для мелких фермеров. Наиболее эффективные технологии (капельное орошение, интеллектуальные системы на базе Интернета вещей, автоматизированные комплексы) требуют значительных первоначальных инвестиций и специализированных знаний для обслуживания. Капельное орошение, обеспечивающее до 60% экономии воды по сравнению с поверхностными методами [Alibaba, 2025; citation:7], остается недоступным для большинства мелких хозяйств.



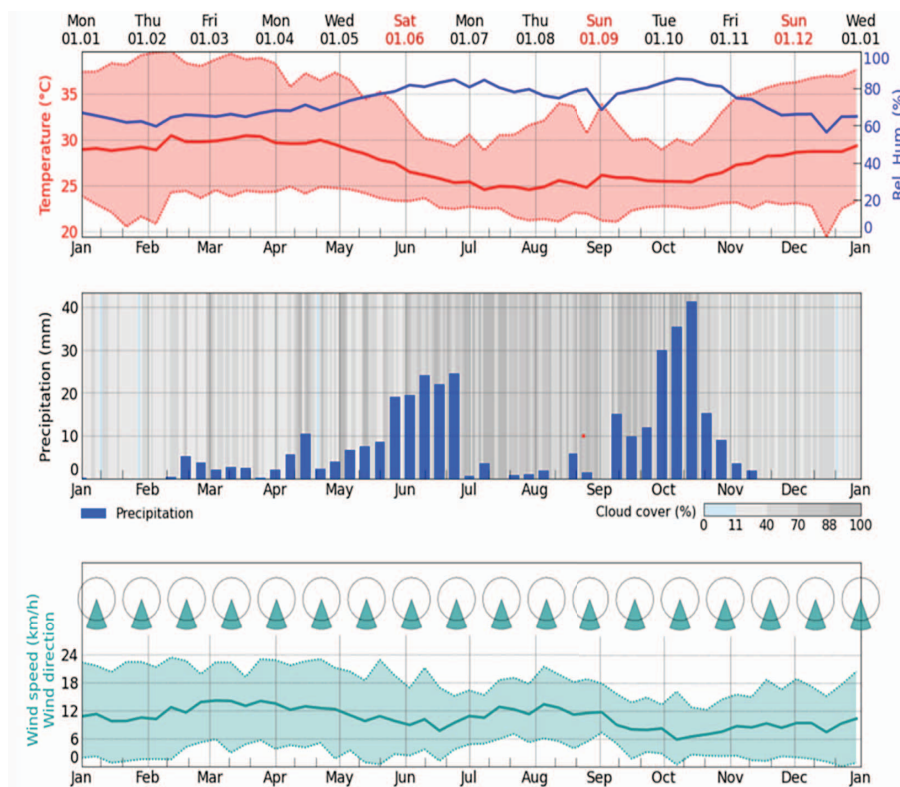


Рисунок 2. Климатическая характеристика района исследований (среднемесячные показатели)
Figure 2. Climatic characteristics of the research area (monthly averages)

Опыт внедрения AWD в регионе Вета (Вольта) демонстрирует эту проблему наглядно: датчики влажности почвы, необходимые для точного определения сроков полива, эффективны, но слишком дороги для мелких фермеров. Как отметил один из фермеров: «Сенсор хорош, но слишком дорог для мелкого фермера. Если его не субсидировать, многие из нас не смогут его себе позволить» [Ghanaian Times, 2025; citation:5].

Трудоемкие, но водосберегающие методы (например, System of Rice Intensification — SRI) малоприменимы в регионах с дефицитом рабочей силы. Таким образом, формируется технологический разрыв: традиционные методы неэффективны, а передовые — недоступны.

Важной проблемой является недостаток локальных научных данных для разработки региональных рекомендаций. Хотя в мире существуют такие методы, как периодическое орошение (AWD) и аэробное выращивание, их применение в почвенно-климатических условиях Ганы изучено недостаточно. Исследования последних лет показывают, что различные сорта риса (*Oryza sativa* и *Oryza glaberrima*) по-разному реагируют на AWD и различные источники питания [Field Crops Research, 2025; citation:8]. Синтетические удобрения повышали урожайность улучшенного сорта *Oryza sativa* на 18% по сравнению с дигестатом, тогда как дигестат увеличивал урожайность местного сорта *Oryza glaberrima* на 66%, несмотря на 20% снижение содержания хлорофилла.

Это указывает на необходимость разработки адаптированных «технологических пакетов» (сочетание сорта, режима орошения и системы удобрения) для конкретных условий. Без таких научно обоснованных рекомендаций внедрение водосберегающих технологий сопряжено с высокими рисками снижения урожайности.

Экологические последствия неэффективного орошения. Помимо прямых потерь воды, нерациональные методы орошения приводят к деградации почв и значительным выбросам парниковых газов. Затопляемые рисовые поля создают анаэробные условия, в которых бактерии продуцируют метан — парниковый газ, в 28 раз более активный, чем CO₂. Традиционные рисовые чеки вносят около 12% глобальных сельскохозяйственных выбросов метана [Ghanaian Times, 2025; citation:5].

Внедрение AWD позволяет сократить выбросы метана на 30–50% [Arouna et al., 2023; Alauddin et al., 2020]. Исследования показывают, что при периодическом осушении почва переходит в аэробное состояние, что подавляет метаногенез. Если оценивать глобальные перспективы внедрения метода AWD, то потенциальный экологический эффект сопоставим с ежегодным выводом из эксплуатации более 100 млн автомобилей — именно столько выбросов парниковых газов удалось бы предотвратить. Помимо этого, длительное затопление полей ведет к вымыванию элементов минерального питания из почвы, а на территориях с изначально засоленными грунтовыми водами запускает процессы вторичного засоления. Еще один негативный фактор — неконтролируемое применение удобрений в сочетании с неэффективными методами орошения: в таких условиях активно вымываются нитраты, а в атмосферу поступает закис азота (N₂O), чтократно увеличивает экологическую нагрузку от рисоводства.

Заключительные положения. Анализ убедительно свидетельствует: корень проблем в рисоводстве Ганы — не отдельные недостатки, а системное переплетение технических, инфраструктурных, климатических, социально-экономических и экологических ограничений.

Традиционная ирригация (затопление, бороздковый полив) использует воду с КПД не выше 60–70%, теряет огромные объемы на испарение и фильтрацию, оставляет большой углеродный след и не позволяет раскрыть потенциал урожайности. Добавьте сюда климатическую нестабильность — и риски для фермеров становятся запредельными. Альтернатива есть: водосберегающие технологии — AWD, аэробное рисосеяние, лазерное выравнивание, капельный полив — сокращают водопотребление на треть или даже наполовину, причем урожайность либо сохраняется, либо растет. Пример модернизации системы Клонг доказывает: при комплексном подходе реально выходить на 6–7 т/га.

Почему же эти методы не стали нормой? Потому что мелким хозяйствам не по карману оборудование, нет понятных научных рекомендаций, подогнанных под местные условия, ученые, консультанты и аграрии работают врозь. Разорвать этот порочный круг можно только совместными усилиями государства (субсидии на датчики и технику), бизнеса (сервисы лазерной планировки и проката) и науки (доработка технологических пакетов для каждой агроэкологической зоны Ганы).

Список источников

1. Alhassan, H. et al. (2015). Rice import demand in Ghana. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6 (4), 120–127.
2. Amankwa-Yeboah, P., Oke, A., Okyere, H., Zema-dim, B., Yeboah, S., Adomako, J., Ntedwah, A.A., Offei, M.A. (2024). Innovative water management in irrigated rice fields: participatory demonstration approach to promoting alternate wetting and drying and tailwater harvesting in Ghana. *IWMI*.
3. Anang, B.T., Bäckman, S., Rezitis, A. (2017). Production technology and technical efficiency: irrigated and rain-fed rice farms in northern Ghana. *Eurasian Economic Review*, 7 (1), 95–113.
4. Buri, M.M., Issaka, R.N., Essien, A., Biney, N. (2015). Effect of nitrogen rates on growth and yield of three rice varieties in rainfed lowland in the forest agro-ecological zone of Ghana. *International Journal of Agricultural Sciences*, 5 (7), 878–885.
5. Chidibere-Mark, N.M. et al. (2019). Determinants of technical efficiency of smallholder rice farmers in Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 23 (2), 101–113.
6. FAO (2005). *AQUASTAT Country Profile — Ghana*. Rome.
7. FAO. Индо-Гангские равнины. Почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие. 2024.
8. Ghanaian Times (2025). *Rethinking Rice: How Ghana's AWD revolution is saving water, securing the future of farming*, July 3.
9. Бандурин М.А., Приходько И.А., Бандурина И.П. Современные методы управления поливами на оросительных системах Юга России // Научная жизнь. 2021. Т. 16. № 8 (120). С. 986–997. doi: 10.35679/1991-9476-2021-16-8-986-997. EDN BSZFQQ
10. Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А. Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края // Природообустройство. 2022. № 4. С. 50–56. doi: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56. EDN OKIGJZ
11. IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.
12. Kruzhillin, I.P., Ganiev, M.A., Melikhov, V.V., Rodin, K.A., Dubenok, N.N., Ovchinnikov, A.S., Abdu, N.M. (2017). Drip irrigation regime for rice. *APRN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (24), 7118–7123.



13. Lampayan, R.M. et al. (2015). Effects of alternate wetting and drying (AWD) threshold level and seedling age on yield, water use, and water productivity of transplanted rice. *Paddy and Water Environment*, 13 (3), 215-227.

14. MoFA (2023). *Planting for Food and Jobs. Phase 2. Agriculture in Ghana: Facts and Figures*. Accra.

15. Nakamura, S. et al. (2016). *Rice production in Ghana: Constraints and opportunities*. JIRCAS Working Report, 85, 1-12.

16. potatoes.news (2025). Трансформация сельского хозяйства Ганы: модернизация ирригационной системы Кпонг стоимостью 22.5 млн долларов.

17. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A. (2021). Probabilistic Approach to Soil Fertility Conservation by Mathematical Modeling of Technological Processes and Optimization of Resource Use. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vladivostok, 06-09 October 2020. Vladivostok, p. 042063. doi: 10.1088/1755-1315/666/4/042063. EDN QIZZWM

18. Приходько И.А., Владимиров С.А., Хатхоку Е.И. и др. Исследование окислительно-восстановительных процессов в ризосфере рисовых чеков в период вегетации риса // *International Agricultural Journal*. 2020. Т. 63. № 5. С. 5. doi: 10.24411/2588-0209-2020-10211. EDN FDZBWK

19. Xu, Y., Zhao, M., Li, K. et al. (2023). A review of research progress and prospects of agricultural adaptation to climate change. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 31 (8), 1155-1170.

20. Prikhodko, I., Vladimirov, S., Alexandrov, D. (2021). Application of ecologically balanced technologies of rice cultivation in the Krasnodar Territory. *E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, February 24-26, 2021*, vol. 273. Rostov-on-Don, EDP Sciences. doi: 10.1051/e3sconf/202127301017. EDN MVKKVS

21. Аруна А., Дземеку И.К., Абдул-Гание С., Рахман Н.А. Управление водными ресурсами для устойчивого орошения в производстве риса // *Агрономия*. 2023. № 13 (6). С. 1522.

22. Field Crops Research. (2025). Different responses of African rice cultivars to alternate wetting and drying irrigation and anaerobic digestate application. *Field Crops Research*, 335, 110189.

23. Ahiamadia, D., Ramilan, T., Tozer, P.R. (2024). Enhancing climate resilience in northern Ghana: A stochastic dominance analysis of risk-efficient climate-smart technologies. *Environmental Development*, 101031.

References

1. Alhassan, H. et al. (2015). Rice import demand in Ghana. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 6 (4), 120-127.

2. Amankwaa-Yeboah, P., Oke, A., Okyere, H., Zemadim, B., Yeboah, S., Adomako, J., Ntedwah, A.A., Offei, M.A. (2024). Innovative water management in irrigated rice fields: participatory demonstration approach to promoting alternate wetting and drying and tailwater harvesting in Ghana. *IWMI*.

3. Anang, B.T., Bäckman, S., Rezitis, A. (2017). Production technology and technical efficiency: irrigated and rainfed rice farms in northern Ghana. *Eurasian Economic Review*, 7 (1), 95-113.

4. Buri, M.M., Issaka, R.N., Essien, A., Biney, N. (2015). Effect of nitrogen rates on growth and yield of three rice varieties in rainfed lowland in the forest agro-ecological zone of Ghana. *International Journal of Agricultural Sciences*, 5 (7), 878-885.

5. Chidiebere-Mark, N.M. et al. (2019). Determinants of technical efficiency of smallholder rice farmers in Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 23 (2), 101-113.

6. FAO (2005). *AQUASTAT Country Profile — Ghana*. Rome.

7. FAO (2024). *Indo-Gangskie ravнины. Pochvozashchitnoe i resursoberegayushchee zemledelie* [Indo-Gangetic plains. Soil protection and resource-saving agriculture].

8. Ghanaian Times (2025). *Rethinking Rice: How Ghana's AWD revolution is saving water, securing the future of farming*, July 3.

9. Bandurin, M.A., Prikhod'ko, I.A., Bandurina, I.P. (2021). Sovremennye metody upravleniya polivami na orositel'nykh sistemakh Yuga Rossii [Modern methods of irrigation management on irrigation systems of the South of Russia]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific life], vol. 16, no. 8 (120), pp. 986-997. doi: 10.35679/1991-9476-2021-16-8-986-997. EDN BSZFQQ

10. Volosukhin, V.A., Bandurin, M.A., Prikhod'ko, I.A. (2022). Izmenenie klimata: prichiny, riski dlya vodokhozyaistvennogo kompleksa Krasnodarskogo kraia [Climate change: causes, risks for the water management complex of the Krasnodar Territory]. *Prirodoobustroistvo* [Environmental engineering], no. 4, pp. 50-56. doi: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56. EDN OKIGJZ

11. IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.

12. Kruzhilin, I.P., Ganiev, M.A., Melikhov, V.V., Rodin, K.A., Dubenok, N.N., Ovchinnikov, A.S., Abdu, N.M. (2017). Drip irrigation regime for rice. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (24), 7118-7123.

13. Lampayan, R.M. et al. (2015). Effects of alternate wetting and drying (AWD) threshold level and seedling age on yield, water use, and water productivity of transplanted rice. *Paddy and Water Environment*, 13 (3), 215-227.

14. MoFA (2023). *Planting for Food and Jobs. Phase 2. Agriculture in Ghana: Facts and Figures*. Accra.

15. Nakamura, S. et al. (2016). *Rice production in Ghana: Constraints and opportunities*. JIRCAS Working Report, 85, 1-12.

16. potatoes.news (2025). *Transformatsiya sel'skogo khozyaistva Gany: modernizatsiya irrigatsionnoi sistemy Kpong stoimost'yu 22.5 mln dollarov* [Transformation of Ghana's agriculture: modernization of the Kpong irrigation system at a cost of 22.5 million dollars].

17. Safronova, T.I., Vladimirov, S.A., Prikhodko, I.A. (2021). Probabilistic Approach to Soil Fertility Conservation by Mathematical Modeling of Technological Processes and Optimization of Resource Use. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vladivostok, 06-09 October 2020. Vladivostok, p. 042063. doi: 10.1088/1755-1315/666/4/042063. EDN QIZZWM

18. Prikhod'ko, I.A., Vladimirov, S.A., Khatkhokhu, E.I. i dr. (2020). Issledovanie oksitel'no-vosstanovitel'nykh protsessov v rizoferi risovykh chekov v period vegetatsii risa [Study of redox processes in the rhizosphere of rice checks during the rice growing season]. *International Agricultural Journal*, vol. 63, no. 5, p. 5. doi: 10.24411/2588-0209-2020-10211. EDN FDZBWK

19. Xu, Y., Zhao, M., Li, K. et al. (2023). A review of research progress and prospects of agricultural adaptation to climate change. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 31 (8), 1155-1170.

20. Prikhodko, I., Vladimirov, S., Alexandrov, D. (2021). Application of ecologically balanced technologies of rice cultivation in the Krasnodar Territory. *E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, February 24-26, 2021*, vol. 273. Rostov-on-Don, EDP Sciences. doi: 10.1051/e3sconf/202127301017. EDN MVKKVS

21. Aruna, A., Dzomeku, I.K., Abdul-Ganie, S., Rahman, N.A. (2023). Upravlenie vodnymi resursami dlya ustoychivogo orosheniya v proizvodstve risa [Water management for sustainable irrigation in rice production]. *Agronomiya*, no. 13 (6), p. 1522.

22. Field Crops Research. (2025). Different responses of African rice cultivars to alternate wetting and drying irrigation and anaerobic digestate application. *Field Crops Research*, 335, 110189.

23. Ahiamadia, D., Ramilan, T., Tozer, P.R. (2024). Enhancing climate resilience in northern Ghana: A stochastic dominance analysis of risk-efficient climate-smart technologies. *Environmental Development*, 101031.

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. Prikhodko, 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

