

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Обзорная статья

УДК 631.432:631.445.1

Гидроморфизм почв орошаемых земель: причины, проявления и последствия

Зафаржон Абдукаримович Жаббаров¹, Гулнора Тулкуновна Джалилова²,
Тухтасин Абдрахманов³, Шохрух Зафар оглы Абдуллаев⁴,
Жавохир Жахонгир оглы Абдукаримов⁵

^{1, 2, 3, 4, 5}Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
Республика Узбекистан

¹zafarjonjabbarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2816-6347>

²jalilova.gulnora.2024@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1003-4434>

³soilecology@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7891-7781>

⁴shoxabdullaev1996@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0355-4948>

⁵abdukarimovjavoxir705@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5422-8209>

Аннотация. Цель: исследование систематизации причин, проявлений и последствий гидроморфизма почв орошаемых земель, а также обобщение подходов к его диагностике и снижению негативного влияния на агроэкосистемы. В работе использованы публикации отечественных и зарубежных авторов по химии субмергированных почв, биогеохимии болотных и гидроморфных систем, агромелиорации и управлению оросительными системами. Методологической основой исследования послужил аналитический обзор научной литературы и сравнительный анализ результатов, полученных в различных климатических и агротехнических условиях. **Обсуждение.** Установлено, что главными факторами развития гидроморфизма являются избыточное водоснабжение и недостаточный дренаж, формирующие анаэробную среду в почве. Это приводит к снижению окислительно-восстановительного потенциала (Eh), восстановлению соединений железа и марганца, формированию глеевых признаков и накоплению токсичных соединений (Fe^{2+} , H_2S). Отмечено ухудшение структуры почвы, распад микро- и макроагрегатов, дефицит микроэлементов, снижение аэрации и замедление роста корневой системы растений. Последствия включают снижение урожайности культур, ускорение процессов вторичного засоления и увеличение эмиссии парниковых газов. **Выводы.** Эффективное предотвращение и ослабление гидроморфизма возможно при сочетании инженерных, агротехнических, биологических и организационно-экономических мер, интеграция которых позволяет снизить негативные последствия гидроморфизма и сохранить устойчивое плодородие орошаемых земель.

Ключевые слова: гидроморфизм почв, орошаемые земли, дренаж, окислительно-восстановительные процессы, глееобразование, плодородие, засоление

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 10 октября 2025 г.).

Финансирование: настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке Агентства по инновационному развитию Республики Узбекистан в рамках инновационного проекта № IL-9224094166 «Создание картографических моделей эколого-мелиоративного состояния почв, распространенных вокруг Каттакурганского водохранилища».

Для цитирования: Гидроморфизм почв орошаемых земель: причины, проявления и последствия / З. А. Жаббаров, Г. Т. Джалилова, Т. Абдрахманов, Ш. З. Абдуллаев,

MODERN PROBLEMS OF LAND RECLAMATION AND WATER INDUSTRIAL COMPLEX AND WAYS TO SOLVE THEM

Review article

Soil hydromorphism in irrigated lands: causes, manifestations and consequences

Zafarjon A. Jabbarov¹, Gulnora Tulkunovna Djalilova²,
Tukhtasin Abdrakhmanov³, Shokhrukh Z. Abdullaev⁴,
Javokhir J. Abdukarimov⁵

^{1, 2, 3, 4, 5}National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,
Republic Uzbekistan

¹zafarjonjabbarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2816-6347>

²jalilova.gulnora.2024@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1003-4434>

³soilecology@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7891-7781>

⁴shoxabdullaev1996@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-0355-4948>

⁵abdukarimovjavoxir705@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5422-8209>

Abstract. Purpose: to study the systematization of the causes, manifestations and consequences of hydromorphism of soils of irrigated lands, as well as to generalize approaches to its diagnostics and mitigation of the negative impact on agroecosystems. The publications of domestic and foreign authors on the chemistry of submerged soils, marsh and hydromorphic system biogeochemistry, agro-reclamation and irrigation system management were used. The methodological basis of the study was an analytical review of the scientific literature and a comparative analysis of the results obtained in various climatic and agrotechnical conditions. **Discussion.** It was established that the main factors in the hydromorphism development are excess water supply and insufficient drainage, which form an anaerobic environment in the soil. This leads to a decrease in the oxidation-reduction potential (Eh), iron and manganese compounds reduction, gley features formation and the toxic compounds accumulation (Fe²⁺, H₂S). Deterioration of soil structure, breakage of micro- and macroaggregates, micronutrient deficiencies, decreased aeration, and slower root growth were observed. Consequences include reduced crop yields, accelerated secondary salinization, and increased greenhouse gas emissions. **Conclusions:** The effective prevention and mitigation of hydromorphism is possible through a combination of engineering, agronomic, biological, and organizational-economic measures. The integration of these measures helps reduce the negative impacts of hydromorphism and maintain the sustainable fertility of irrigated lands.

Keywords: soil hydromorphism, irrigated lands, drainage, oxidation-reduction processes, gley formation, fertility, salinization

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “Modern problems of land reclamation and water industrial complex and ways to solve them” (Novocherkassk, October 10, 2025).

Financing: this research was supported by the Agency for Innovative Development of the Republic of Uzbekistan under innovation project No. IL-9224094166, “Development of cartographic models of the ecological and reclamation state of soils around the Kattakurgan Reservoir”.

For citation: Jabbarov Z. A., Djalilova G. T., Abdrakhmanov T., Abdullaev Sh. Z., Abdukarimov J. J. Soil hydromorphism in irrigated lands: causes, manifestations and

consequences. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;97(3):46–59. (In Russ.).

Введение. Гидроморфизм почв представляет собой одно из ключевых проявлений деградационных процессов в условиях орошаемого земледелия. Длительное или постоянное переувлажнение нарушает баланс окислительно-восстановительных реакций, формирует глеевые горизонты, изменяет биогеохимические циклы и создает условия для фитотоксичности. Эти процессы снижают продуктивность культур, ускоряют вторичное засоление, вызывают дефицит микроэлементов и способствуют росту эмиссий парниковых газов. Значимость проблемы усиливается в регионах с интенсивным орошением и недостаточно развитой дренажной инфраструктурой, где риск гидроморфных изменений почв особенно высок. Несмотря на значительное количество исследований, остается актуальной задача комплексной диагностики гидроморфизма, систематизации его проявлений и поиска устойчивых решений для агросистем. В статье анализируются причины и механизмы гидроморфизма почв, его влияние на агроэкологическое состояние орошаемых земель и возможные подходы к снижению негативного воздействия. Статья носит характер целевого литературного обзора. В ней проанализированы классические и современные источники по химии субмергированных почв, биогеохимии болотных/гидроморфных систем, агромелиорации и управлению оросительными системами. Рассмотрены прикладные работы по дренажу, засолению, экономике управления водой и биологической мелиорации, включены классификационные и диагностические документы, охвачены исследования по влиянию гидроморфизма на питание растений, агрегатное состояние и урожайность, включая борное питание, токсичность $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{S}$ и совместное действие с засолением.

Цель исследований – систематизация причин, проявлений и последствий гидроморфизма почв орошаемых земель, а также обобщение подходов к его диагностике и снижению негативного влияния на агроэкосистемы.

Обсуждение. Понятие гидроморфизма и его причины освещаются также в современной литературе, где акцент делается на динамике окислительно-восстановительных процессов в увлажненных почвах. В исследованиях показано, что по мере насыщения почвы влагой и вытеснения кислорода происходят восстановительные реакции, при которых железо и марганец переходят в растворимые восстановленные формы. Эти процессы сопровождаются понижением окислительно-восстановительного потенциала (Eh), что и является характерным признаком гидроморфизма [1].

В ряде современных исследований внимание уделяется не только гидроморфизму как таковому, но и трансформации органического вещества в почвах при избыточной влажности. В таких условиях анакисные или слабоокислительные процессы способствуют накоплению более устойчивых органических форм, например, полимерных промежуточных продуктов ферментации (ацетаты, спирты и другие компоненты органической матрицы). В гидроморфных землях (особенно в орошаемых системах) восстановительная обстановка усиливает задержку углерода и приводит к изменению структуры органических соединений, что влияет на агрономическую структуру почвы и ее поровую систему [2].

Существует также ряд исследований по вопросам гидроморфизма в условиях избыточного увлажнения и орошаемого земледелия, например, по водному балансу и заболачиванию. В регионах с дефицитом воды опубликовано множество работ о проблемах и возможностях управления оросительными системами. Рассматриваются вопросы нерационального водопользования и недостаточного развития дренажных систем. Неэффективное регулирование норм орошения приводит к увеличению водонасыщенности почвы, подъему уровня грунтовых вод и, как следствие, к усилению гидроморфных процессов [3]. В современных исследованиях активно анализируются случаи гидроморфизма и заболачивания в контексте водного баланса, неэффективного орошения и недостаточной дренажной инфраструктуры.

Так, Liu et al. показали, что установка подповерхностного дренажа при круглогодичном орошении существенно изменяет распределение влаги и солей в почве, снижая переувлажнение [4]. Zheng et al. в своих работах демонстрируют, как моделирование и оптимизация дренажных сетей улучшает эффективность отвода лишней воды и снижает риски заболачивания [5].

Связь гидроморфных процессов с дренажными системами и общим водным режимом орошаемых территорий подробно рассматривается в работах по подтоплению и водонасыщению почв, где показано, что пополнение запасов подземных вод при поверхностных методах орошения без должного регулирования приводит к подъему уровня грунтовых вод, заболачиванию и проявлениям гидроморфизма [6].

Экономическая эффективность почвозащитных мелиоративных мероприятий фиксируется в исследованиях по природоохранному и агроэкономическому эффекту: в частности, защитные лесные насаждения и иные консервационные практики снижают поверхностный сток и эрозию, ограничивают заболачивание и тем самым уменьшают риск гидроморфизации орошаемых земель [7].

На примере Пакистана исследования последствий масштабных ирригационных систем выявили следующее: при недостаточно развитой дренажной сети происходит подъем уровня грунтовых вод, что сопровождается процессами засоления и прогрессированием гидроморфизма; эти эффекты последовательно фиксируются как в современных обзорах устойчивого водно-солевого управления, так и в исторических оценках инфраструктурной деградации [8].

Связь гидроморфизма с морфологическими и геохимическими показателями и с окислительно-восстановительными процессами прослеживается в работах Редди. По его мнению, изучение биогеохимических процессов в насыщенных водой почвах (прежде всего, на примере естественных болот) важно и для понимания процессов на орошаемых землях. При забо-

лачивании или чрезмерном увлажнении железо, марганец и соединения серы находятся в восстановленном состоянии. Это восстановление приводит к появлению гидроморфных индикаторов, таких, как глеевые окраски, сидеритовые конкреции и др. [9].

Изучение окислительно-восстановительных (Eh) процессов в почве и их результаты важны для разработки методов диагностики гидроморфизма. Совместный мониторинг Eh и уровня грунтовых вод считается ключевым для оценки степени развития гидроморфных процессов на орошаемых участках [10].

Существует ряд работ по морфологическим показателям и классификации почв, сформированных в условиях гидроморфизма. В международной классификации почв, разработанной USDA-NRCS, даны четкие критерии таких гидроморфных почвенных типов, как глеевые горизонты (Gleysols) и подтипы Aquic. Сизые окраски, окислительно-восстановительные горизонты и железо-марганцевые конкреции интерпретируются как признаки условий Aquic и индикаторы гидроморфизма¹. В классификации WRB (Всемирная база почвенных ресурсов) выделены такие почвы, насыщенные водой, как Gleysols и Stagnosols; понятие гидроморфизма отражено в специальных группах, а для его диагностики в динамике описаны морфологические и химические показатели². Для определения окраски почв, сформированных в условиях гидроморфизма, применяется международный стандарт – шкала Манселла, которая помогает оценивать степени сизоватых, зеленовато-синих (глеевых) тонов. Сизые (сероватые) пятна – яркие признаки гидроморфных процессов, и их можно корректно оценивать по шкале Манселла.

¹Soil Survey Staff (2014) Keys to Soil Taxonomy. 12 Edition, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, 97, 123, 287.

²IUSS Working Group WRB (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106, Rome: FAO.

Установлено влияние гидроморфизма на плодородие и урожайность, а также его связь с физическими свойствами и структурой почвы. Отмечается чрезвычайная важность почвенных агрегатов (микро- и макроагрегатов) совместно с органическим веществом для плодородия; в гидроморфных условиях уплотнение почвы и анаэробноз могут приводить к распаду агрегатов. Это снижает аэрацию и замедляет развитие корневой системы растений [11].

По влиянию гидроморфизма на плодородие и урожайность изучался дефицит микроэлемента бора (В) у зерновых культур. Показано, что в условиях заболачивания содержание бора, наряду с другими элементами, в почве может снижаться. Гидроморфизм отрицательно влияет на круговорот микроэлементов, вызывая дефицит питания растений; при этом требуется специальная корректировка системы удобрений [12].

Исследования биологических процессов и микробиологической активности в насыщенных водой почвах на орошаемых землях показали, что в таких условиях активизируется метаногенез: анаэробные бактерии усиливают выделение метана (CH_4), возрастает эмиссия парниковых газов. Это важно не только экологически, но и агротехнически [13].

Проанализированы особенности разложения органического вещества и гумусообразования в почвах орошаемого земледелия. В анаэробной среде разложение органического вещества может быть неполным, накапливаются отдельные токсичные соединения, что создает неблагоприятные условия для растений [14].

В публикациях по связи гидроморфизма с урожайностью и фитотоксичностью, в основном на солончаках (saline) и содовых (sodic) почвах, рассматриваются и компоненты, связанные с гидроморфизмом. Отмечается совместное проявление гидроморфизма и засоления, приводящее к сильному стрессу растений – одновременному дефициту кислорода и засолению, что резко снижает урожайность [15].

В полностью насыщенных водой почвах на сильно переувлажненных орошаемых участках наблюдали рост концентраций двухвалентного железа (Fe^{2+}) и сульфидов (H_2S) и выявили их влияние на корневую систему риса. Восстановленное железо и сульфиды вызывают фитотоксичность тканей корня, вследствие чего даже влаголюбивые культуры (рис) могут повреждаться [16].

Было отмечено, что при поливе водой невысокого качества и подъеме грунтовых вод снижается активность кальция и возрастает активность натрия в пахотном горизонте; на переувлажненных участках наблюдаются застойные явления с ярко выраженным гидроморфизмом, сопровождаемые увеличением доли водно-пептизируемого ила и гидрофильных коллоидов, что ведет к дезагрегации и распаду агрегатов [17].

В последние годы опубликовано несколько исследований, посвященных профилактике гидроморфизма и смягчению его вредоносного влияния посредством агротехнических и мелиоративных мер. Разработаны методики восстановления засоленных почв, оптимизации дренажа и управления водным балансом. В частности, обзоры подчеркивают, что глубокий дренаж, эффективные схемы дренажных траншей (в т. ч. с использованием соломы) и щадящие методы полива с промывкой – ключевые инструменты для ослабления переувлажнения и поддержания почвенного здоровья [18–20].

Воздействие биологической и биохимической мелиорации проявляется при посеве галофитов или солеустойчивых растений: в процессе биомелиорации наблюдаются преобразования структуры и состава почвы, улучшение водного и солевого режима. Для сильно переувлажненных участков могут быть отобраны специальные экотипы галофитов [21]. Посев глубокоукореняющихся, более влагопотребляющих растений способствует стабилизации водного баланса и ослаблению гидроморфных процессов.

Кроме того, в рисовых агроэкосистемах предложены методы снижения эмиссии метана на полностью затопленных полях посредством приме-

нения ингибиторов нитрификации и/или уреазы: такие химические соединения сокращают длительность анаэробного периода и позволяют контролировать процессы метаногенеза, тем самым оказывая влияние на гидроморфизм [22, 23].

В настоящее время, в связи с изменением режимов орошения под влиянием крупных водохранилищ, разработаны показатели и критерии для оценки гидроморфных изменений. К основным факторам относят затопление (его длительность и повторяемость) и уровень грунтовых вод (изменение его глубины в вегетационный период). Степень гидроморфизма оценивают по изменениям, наблюдаемым в грунтовых водах, почвах и растительности. Авторы предлагают следующий алгоритм: определить типы воздействия (затопление или увлажнение почвы), а затем оценить трансформацию природных комплексов по критериям. Предлагаемая методика дает количественные показатели на основе специальных шкал для гидрогенной трансформации. Представленные оценки отражают «степень трансформации» по каждому критерию и «глубину трансформации» по совокупности критериев [24].

В мировой научной литературе накоплено множество данных о гидроморфизме орошаемых (или длительно переувлажненных) почв, где детально освещены основные причины процесса, его морфологические и биогеохимические показатели, а также негативные последствия. Главный вывод состоит в том, что избыточное водоснабжение и слабый дренаж создают в почве анаэробную среду, усиливая восстановленные состояния элементов (глееобразование) – прежде всего железа и марганца – и различные фитотоксические эффекты. Это ведет к уплотнению почвы, дефициту микро- и макроэлементов, нарушению трансформации органического вещества, замедлению развития корневых систем растений.

На орошаемых площадях гидроморфизм вызывает снижение урожайности культур, ускоряет засоление и ухудшает общее агроэкологиче-

ское состояние, что может привести к долговременному падению плодородия. Вместе с тем совершенствование дренажных систем, эффективное управление водными ресурсами, грамотный подбор солеустойчивых или влаголюбивых культур, а также согласованное применение агротехнических и мелиоративных мер позволяют уменьшить вред от гидроморфизма. Для его диагностики необходимо широко использовать показатели почвенной морфологии (глеевые окраски, железо-, марганцевые конкреции), наблюдения за окислительно-восстановительным потенциалом (Eh), динамикой уровня грунтовых вод, содержанием органического вещества и микроэлементов.

В целом опыт показывает, что для сохранения устойчивой урожайности и плодородия в орошаемом земледелии первостепенное значение имеет правильное управление водным балансом и своевременная организация дренажа. Реализация этих мероприятий позволяет предотвратить гидроморфизм или смягчить его негативные последствия и одновременно обеспечить устойчивость всей агроэкологической системы.

Выводы. Главными факторами, определяющими развитие гидроморфизма на орошаемых землях, являются переизбыток воды и недостаточный дренаж, которые формируют устойчивую анаэробную среду и активируют восстановительные процессы железа, марганца и серы. Для комплексной диагностики необходимо сочетать оценку морфологических признаков (глеевые окраски, конкреции) с инструментальным мониторингом окислительно-восстановительного потенциала и уровня грунтовых вод, а также учитывать содержание органического вещества и микроэлементный статус почв. Воздействие гидроморфизма проявляется в уплотнении и распаде агрегатов, нарушении питания растений, фитотоксичности и усилении негативного эффекта от таких вторичных стрессов, как засоление. Снижение риска возможно только при интеграции инженерных (дренаж, оптимизация поливов), агротехнических (режимы орошения и промывки),

биологических (подбор культур) и организационно-экономических мер. При правильном управлении водным балансом и дренажной системой удастся предотвратить либо существенно ослабить негативные последствия гидроморфизма и сохранить долгосрочную продуктивность агроландшафтов.

Список источников

1. Mattila T. J. Redox potential as a soil health indicator – how does it compare to microbial activity and soil structure? // *Plant Soil*. 2024. Vol. 494, no. 1-2. P. 617–625. DOI: 10.1007/s11104-023-06305-y. EDN: FAJZKJ.
2. Transformation of organic matter under anoxic conditions in soils / S. M. Pyzola, P. Dhakal, M. S. Coyne [et al.] // *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 970. Article number: 178899. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.178899. EDN: FCQJHK.
3. Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities / M. Qadir, T. M. Boers, S. Schubert [et al.] // *Agricultural Water Management*. 2003. Vol. 62, no. 3. P. 165–185. DOI: 10.1016/S0378-3774(03)00146-X. EDN: ERUVOL.
4. Effects of subsurface drainage and year-round irrigation on crop water-salt stress and yield in an arid region / J. Liu [et al.] // *Agricultural Water Management*. 2025. Vol. 312(C). DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109406.
5. Study on the Factors Affecting the Drainage Efficiency of New Integrated Irrigation and Drainage Networks and Network Optimization Based on Annual Cost System / Z. Zheng, M. Li, T. Wang, H. Ren // *Water*. 2025. Vol. 17(8), no. 1201. DOI: 10.3390/w17081201.
6. Waterlogging tolerance: A review on regulative morpho-physiological homeostasis of crop plants / S. Sharma, J. Sharma, V. Soni [et al.] // *Journal of Water and Land Development*. 2021. Vol. 49, no. 4-6. P. 16–28. DOI: 10.24425/jwld.2021.137092. EDN: XFAHPA.
7. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion / X. Du, J. Jian, C. Du, R. D. Stewart // *International Soil and Water Conservation Research*. 2021. DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.08.001. EDN: OPXTAZ.
8. Qureshi A. S., Perry Ch. Managing Water and Salt for Sustainable Agriculture in the Indus Basin of Pakistan // *Sustainability*. 2021. Vol. 13, no. 9. Article number: 5303. DOI: 10.3390/su13095303. EDN: WJYNOL.
9. Reddy K. R., Delaune R. D. Biogeochemistry of wetlands: Science and applications. CRC Press, 2008. 800 p. DOI: 10.1201/9780203491454. EDN: WXVIWL.
10. Fiedler S., Vepraskas M. J., Richardson J. L. Soil Redox Potential: Importance, Field Measurements, and Observations // *Advances in Agronomy*. 2007. Vol. 94. P. 1–54. DOI: 10.1016/S0065-2113(06)94001-2. EDN: XTKCMF.
11. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics / J. Six, H. Bossuyt, S. Degryze, K. Denef // *Soil & Tillage Research*. 2004. Vol. 79, iss. 1. P. 7–31. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.008.
12. Rerkasem B., Jamjod S. Boron deficiency in wheat: A review // *Field Crops Research*. 2004. Vol. 89, iss. 2-3. P. 173–186. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.01.022.
13. Conrad R. The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved // *Environmental Microbiology Reports*. 2009. Vol. 1, iss. 5. P. 285–292. DOI: 10.1111/j.1758-2229.2009.00038.x.
14. Seidelman F. R., Shvarovv. I. Transformation of organic matter in irrigated soils: A synthesis // *Pakistan Journal of Soil Science*. 2001. Vol. 5(2). P. 45–59.
15. Wong V. N. L., Dalal R. C., Greene R. S. B. Carbon dynamics of sodic and saline soils and implications for soil carbon sequestration and soil health // *Soil Use and Management*. 2009. Vol. 25, iss. 1. P. 2–11. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00251.x.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 46–59.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 97, no. 3. P. 46–59.

16. Armstrong W., Armstrong J. Rice: sulfide-induced barriers to root radial oxygen loss, Fe^{2+} and water uptake, and lateral root emergence // *Annals of Botany*. 2005. Vol. 96, no. 4. P. 625–638. EDN: IKQYIN.

17. Волокитин М. П. Влияние орошения на основные свойства черноземов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. № 1(57). С. 173–179. EDN: TMVPDT.

18. A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies / Y. Zhang [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. 2025. Vol. 16. DOI: 10.3389/fpls.2025.1545912. EDN: IENHBP.

19. Effects of Drainage Technology on Waterlogging Reduction and Rice Yield in Mid-Lower Reaches of Yangtze River / B. Qi, S. Yang, D. Li, D. Qin [et al.] // *Agronomy*. 2025. Vol. 15, iss. 4. Article number: 905. DOI: 10.3390/agronomy15040905.

20. Olana A. B. Effects and Mitigations Reviews of Water Logging and Salinity Problems on Agricultural Land in Ethiopia // *Engineering and Applied Sciences*. 2025. Vol. 10, iss. 2. P. 18–26. DOI: 10.11648/j.eas.20251002.12.

21. Harnessing halophytes to mitigate the environmental impact of membrane desalination brine / N. Kalboussi [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2025. Vol. 387. Article number: 125780. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125780.

22. Impact of urease inhibitor on greenhouse gas emissions and rice yield in a rainfed transplanting rice system in Costa Rica / W. Giraldo-Sanclemente, A. G. Pérez-Castillo, M. Monge-Muñoz [et al.] // *Frontiers in Agronomy*. 2025. Vol. 7. DOI: 10.3389/fagro.2025.1518802. EDN: QQWDHI.

23. Advancing effective methods for mitigating greenhouse gas emissions from rice (*Oryza sativa* L.) fields / Sh. P. S. Yadav, N. P. Ghimire, P. Paudel [et al.] // *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*. 2024. Vol. 3, no. 4. DOI: 10.1002/sae.270012. EDN: UJAKRQ.

24. Новикова Н. М., Назаренко О. Г., Волкова Н. А. Методика оценки гидрогенной трансформации природных комплексов побережий водохранилищ // *Экосистемы: экология и динамика*. 2017. № 2. С. 21–51. EDN: ZBQHDH.

References

1. Mattila T.J., 2024. Redox potential as a soil health indicator – how does it compare to microbial activity and soil structure? *Plant Soil*, vol. 494, no. 1-2, pp. 617-625, DOI: 10.1007/s11104-023-06305-y, EDN: FAJZKJ.

2. Pyzola S.M., Dhakal P., Coyne M.S. [et al.], 2025. Transformation of organic matter under anoxic conditions in soils. *Science of the Total Environment*, vol. 970, article number: 178899, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.178899, EDN: FCQJHK.

3. Qadir M., Boers T.M., Schubert S. [et al.], 2003. Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities. *Agricultural Water Management*, vol. 62, no. 3, pp. 165-185, DOI: 10.1016/S0378-3774(03)00146-X, EDN: ERUVOL.

4. Liu J. [et al.], 2025. Effects of subsurface drainage and year-round irrigation on crop water-salt stress and yield in an arid region. *Agricultural Water Management*, vol. 312(C), DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109406.

5. Zheng Z., Li M., Wang T., Ren H., 2025. Study on the Factors Affecting the Drainage Efficiency of New Integrated Irrigation and Drainage Networks and Network Optimization Based on Annual Cost System. *Water*, vol. 17(8). no. 1201, DOI: 10.3390/w17081201.

6. Sharma S., Sharma J., Soni V. [et al.], 2021. Waterlogging tolerance: A review on regulative morpho-physiological homeostasis of crop plants. *Journal of Water and Land Development*, vol. 49, no. 4-6, pp. 16-28, DOI: 10.24425/jwld.2021.137092, EDN: XFAHPA.

7. Du X., Jian J., Du C., Stewart R.D., 2021. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.08.001, EDN: OPXTAZ.

8. Qureshi A.S., Perry Ch., 2021. Managing Water and Salt for Sustainable Agriculture in the Indus Basin of Pakistan. Sustainability, vol. 13, no. 9, article number: 5303, DOI: 10.3390/su13095303, EDN: WJYNOL.
9. Reddy K.R., DeLaune R.D., 2008. Biogeochemistry of wetlands: Science and applications. CRC Press, 800 p., DOI: 10.1201/9780203491454, EDN: WXVIWL.
10. Fiedler S., Vepraskas M.J., Richardson J.L., 2007. Soil Redox Potential: Importance, Field Measurements, and Observations. Advances in Agronomy, vol. 94, pp. 1-54, DOI: 10.1016/S0065-2113(06)94001-2, EDN: XTKCMF.
11. Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil & Tillage Research, vol. 79, iss. 1, pp. 7-31, DOI: 10.1016/j.still.2004.03.008.
12. Rerkasem B., Jamjod S., 2004. Boron deficiency in wheat: A review. Field Crops Research, vol. 89, iss. 2-3, pp. 173-186, DOI: 10.1016/j.fcr.2004.01.022.
13. Conrad R., 2009. The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved. Environmental Microbiology Reports, vol. 1, iss. 5, pp. 285-292, DOI: 10.1111/j.1758-2229.2009.00038.x.
14. Seidelman F.R., Shvarovv I., 2001. Transformation of organic matter in irrigated soils: A synthesis. Pakistan Journal of Soil Science, vol. 5(2), pp. 45-59.
15. Wong V.N.L., Dalal R.C., Greene R.S.B., 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils and implications for soil carbon sequestration and soil health. Soil Use and Management, vol. 25, iss. 1, pp. 2-11, DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00251.x.
16. Armstrong W., Armstrong J., 2005. Rice: sulfide-induced barriers to root radial oxygen loss, Fe^{2+} and water uptake, and lateral root emergence. Annals of Botany, vol. 96, no. 4, pp. 625-638, EDN: IKQYIN
17. Volokitin M.P., 2015. *Vliyanie orosheniya na osnovnye svoystva chernozemov* [The influence of irrigation on the main properties of chernozems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(57), pp. 173-179, EDN: TMVPDT. (In Russian).
18. Zhang Y. [et al.], 2025. A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies. Frontiers in Plant Science, vol. 16, DOI: 10.3389/fpls.2025.1545912, EDN: IENHBP.
19. Qi B., Yang S., Li D., Qin D. [et al.], 2025. Effects of Drainage Technology on Waterlogging Reduction and Rice Yield in Mid-Lower Reaches of Yangtze River. Agronomy, vol. 15, iss. 4, article number: 905, DOI: 10.3390/agronomy15040905.
20. Olana A. B., 2025. Effects and Mitigations Reviews of Water Logging and Salinity Problems on Agricultural Land in Ethiopia. Engineering and Applied Sciences, vol. 10, iss. 2, pp. 18-26, DOI: 10.11648/j.eas.20251002.12.
21. Kalboussi N. [et al.], 2025. Harnessing halophytes to mitigate the environmental impact of membrane desalination brine. Journal of Environmental Management, vol. 387, article number: 125780, DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125780.
22. Giraldo-Sanclemente W., Pérez-Castillo A.G., Monge-Muñoz M. [et al.], 2025. Impact of urease inhibitor on greenhouse gas emissions and rice yield in a rainfed transplanting rice system in Costa Rica. Frontiers in Agronomy, vol. 7, DOI: 10.3389/fagro.2025.1518802, EDN: QQWDHI.
23. Yadav Sh.P.S., Ghimire N.P., Paudel P. [et al.], 2024. Advancing effective methods for mitigating greenhouse gas emissions from rice (*Oryza sativa* L.) fields. Journal of Sustainable Agriculture and Environment, vol. 3, no. 4, DOI: 10.1002/sae2.70012, EDN: UJAKRQ.
24. Novikova N.M., Nazarenko O.G., Volkova N.A., 2017. *Metodika otsenki gidrogennoy transformatsii prirodnikh kompleksov poberezhnykh vodokhranilishch* [Evaluation techniques of the hydrogenic transformation of the natural complexes on the shores of reservoirs].

Информация об авторах

З. А. Жаббаров – профессор, доктор биологических наук, профессор, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан, zafarjonjabbarov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2816-6347;

Г. Т. Джалилова – профессор, доктор биологических наук, профессор, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан, jalilova.gulnora.2024@gmail.com, gulnora_jalilova@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-1003-4434;

Т. Абдрахманов – профессор, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан, soilecology@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7891-7781;

Ш. З. Абдуллаев – преподаватель, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан, shoxabdullaev1996@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-0355-4948;

Ж. Ж. Абдукаримов – студент, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан, abdukarimovjavoxir705@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-5422-8209.

Information about the authors

Z. A. Jabbarov – Professor, Doctor of Biological Sciences, Professor, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic Uzbekistan, zafarjonjabbarov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2816-6347;

G. T. Djalilova – Professor, Doctor of Biological Sciences, Professor, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic Uzbekistan, jalilova.gulnora.2024@gmail.com, gulnora_jalilova@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-1003-4434;

T. Abdrakhmanov – Professor, Candidate of Agricultural Sciences, Professor, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic Uzbekistan, soilecology@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7891-7781;

Sh. Z. Abdullaev – Lecturer, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic Uzbekistan, shoxabdullaev1996@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-0355-4948;

J. J. Abdukarimov – Student, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic Uzbekistan, abdukarimovjavoxir705@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-5422-8209.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.09.2025; одобрена после рецензирования 22.10.2025; принята к публикации 18.11.2025.

The article was submitted 23.09.2025; approved after reviewing 22.10.2025; accepted for publication 18.11.2025.