

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

Умида Уткировна Курбанова

Самаркандский Государственный Архитектурно-Строительный
Университет имени Мирза Улугбека, PhD., в.и.о. доцент
kurbanova.umida@samdaq.edu.uz

Бута Оралович Хушвактов

Самаркандский Государственный Архитектурно-Строительный
Университет имени Мирза Улугбека, в.и.о. доцент
khushvaktov@samdaq.edu.uz

Нулифар Уткировна Соатова

Инженер строитель

Маъруф Эркинов

Самаркандский Государственный Архитектурно-Строительный
Университет имени Мирза Улугбека, магистрант 1 – го курса

Аннотация. В данной статье исследуется эффективность комбинированной технологии очистки подземных вод в условиях Узбекистана. Рассмотрены основные проблемы качества подземных вод, связанные с повышенным содержанием солей, железа, марганца, нитратов и органических загрязнителей. Предложена комбинированная система очистки, включающая механическую фильтрацию, аэрацию, сорбцию и мембранные методы. Проведен анализ эффективности технологии на основе лабораторных и практических данных. Результаты исследования показали, что применение комбинированной технологии позволяет значительно улучшить физико-химические и санитарно-гигиенические показатели воды, повысить уровень очистки и обеспечить население качественной питьевой водой. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации систем водоснабжения в регионах Узбекистана.

Abstract. This article investigates the efficiency of combined groundwater treatment technology under the conditions of Uzbekistan. The main groundwater quality problems associated with high concentrations of salts, iron, manganese, nitrates, and organic pollutants are discussed. A combined treatment system including mechanical filtration, aeration, sorption, and membrane methods is proposed. The efficiency of the technology was analyzed based on laboratory and practical data. The research results demonstrated that the application of combined treatment technology significantly improves the physicochemical and sanitary indicators of water, increases purification efficiency, and provides the population with high-quality drinking water.

The obtained results can be used for modernization of water supply systems in different regions of Uzbekistan.

Ключевые слова: подземные воды, очистка воды, комбинированная технология, фильтрация, сорбция, мембранные методы, качество воды, Узбекистан (groundwater, water treatment, combined technology, filtration, sorption, membrane methods, water quality, Uzbekistan).

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из важнейших задач устойчивого социально-экономического развития. В Республике Узбекистан проблема рационального использования и очистки подземных вод приобретает особую актуальность в связи с ростом численности населения, изменением климатических условий, ограниченностью водных ресурсов и увеличением антропогенного воздействия на окружающую среду. В ряде регионов страны наблюдается ухудшение качества подземных вод вследствие повышенного содержания минеральных солей, нитратов, соединений железа, марганца и других загрязняющих веществ, что требует внедрения современных и эффективных технологий очистки воды.

Особое внимание вопросам водоснабжения и охраны окружающей среды уделяется на государственном уровне. В частности, в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПК-257 от 24 мая 2022 года «О дополнительных мерах по повышению уровня обеспеченности населения питьевым водоснабжением и услугами канализации» определены приоритетные направления совершенствования систем водоснабжения, внедрения современных технологий очистки воды и повышения качества коммунальных услуг. Данный нормативный документ направлен на расширение доступа населения к безопасной питьевой воде, модернизацию инфраструктуры и внедрение энергоэффективных решений в сфере водоснабжения.

Кроме того, Постановление Президента Республики Узбекистан № ПК-171 от 31 мая 2023 года «О мерах по эффективной организации деятельности Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата» предусматривает усиление экологического контроля, рациональное использование природных ресурсов и внедрение инновационных экологически безопасных технологий. В рамках реализации данных задач особое значение приобретает разработка и применение комбинированных методов очистки подземных вод, обеспечивающих высокую степень удаления загрязняющих веществ и соответствие качества воды санитарным требованиям.

Таблица 1

Эффективность комбинированной технологии очистки подземных вод

Показатели качества воды	До очистки	После очистки	Эффективность удаления, %
Общая минерализация, мг/л	1800	420	76,7
Железо, мг/л	2,5	0,15	94
Марганец, мг/л	0,8	0,05	93,7
Нитраты, мг/л	78	18	76,9
Жесткость, мг-экв/л	12	3,5	70,8
Мутность, мг/л	9,2	0,6	93,4
Цветность, градусы	38	5	86,8

Таблица 1 отражает результаты исследования эффективности комбинированной технологии очистки подземных вод в условиях Узбекистана. В таблице представлены основные показатели качества воды до и после прохождения всех стадий очистки, включая механическую фильтрацию, аэрацию, сорбционную обработку и мембранные методы. Полученные данные свидетельствуют о значительном снижении содержания минеральных солей, железа, марганца, нитратов, а также показателей мутности и цветности воды.

Анализ результатов показывает, что применение комбинированной технологии обеспечивает высокий уровень очистки подземных вод и позволяет довести показатели качества воды до санитарно-гигиенических норм. Особенно высокая эффективность наблюдается при удалении железа, марганца и мутности, где степень очистки превышает 90 %. Это подтверждает перспективность внедрения современных комбинированных систем водоочистки для обеспечения населения сельских районов Республики Узбекистан качественной и безопасной питьевой водой.

В связи с этим исследование эффективности комбинированной технологии очистки подземных вод в условиях Узбекистана является актуальным научным и практическим направлением. Применение комплексных методов, включающих механическую фильтрацию, аэрацию, сорбционные и мембранные технологии, позволяет повысить эффективность очистки воды и обеспечить устойчивое водоснабжение населения качественной питьевой водой. Подземные воды являются одним из основных источников питьевого водоснабжения в Республике Узбекистан. Однако в последние годы в результате интенсивного использования водных ресурсов, урбанизации, сельскохозяйственной деятельности и климатических изменений наблюдается ухудшение их качественного состояния. В отдельных регионах страны подземные воды характеризуются повышенной минерализацией, высоким содержанием железа, марганца, нитратов, сульфатов и органических соединений. Наличие данных

загрязняющих веществ отрицательно влияет на органолептические свойства воды и может представлять опасность для здоровья населения.

Традиционные методы очистки воды не всегда обеспечивают необходимый уровень удаления загрязнений, особенно при комплексном составе примесей. В связи с этим в современной практике водоподготовки все более широко применяются комбинированные технологии очистки, основанные на последовательном использовании нескольких методов обработки воды. Такой подход позволяет повысить эффективность очистки и обеспечить стабильное качество питьевой воды. В данном исследовании рассматривается комбинированная технология очистки подземных вод, включающая механическую фильтрацию, аэрацию, сорбционную обработку и мембранные методы. На первом этапе осуществляется механическая очистка воды с использованием песчаных и сетчатых фильтров, предназначенных для удаления взвешенных частиц, механических примесей и мутности. Данный этап позволяет снизить нагрузку на последующие стадии очистки и повысить эффективность технологического процесса.

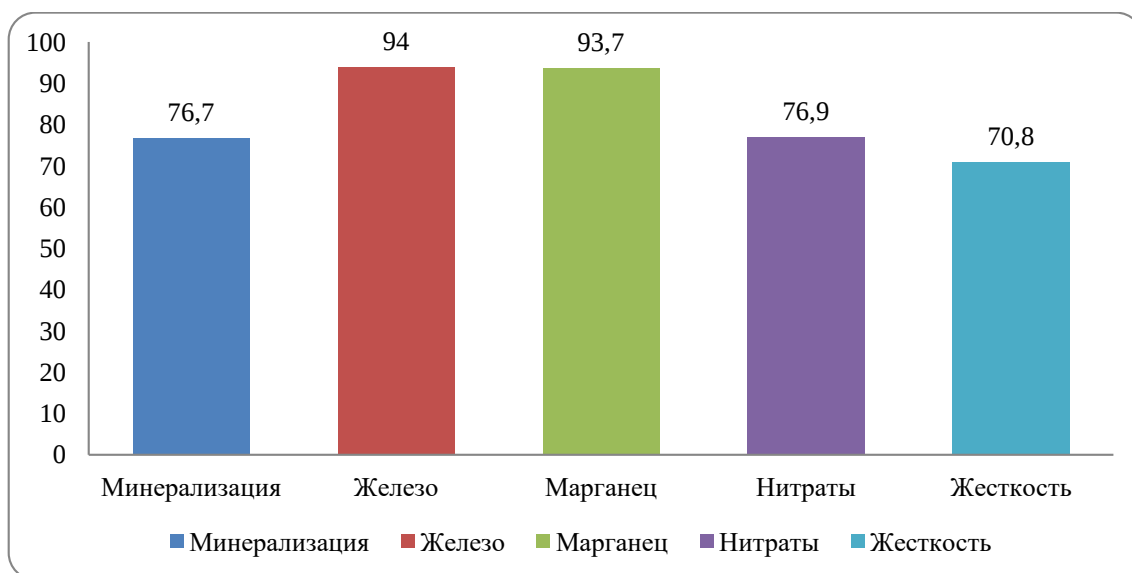


Рисунок 1. Эффективность комбинированной технологии очистки подземных вод в условиях Узбекистана

Диаграмма отражает результаты исследования эффективности комбинированной технологии очистки подземных вод по основным показателям качества воды. Согласно полученным данным, уровень снижения общей минерализации составил 76,7 %, содержание нитратов уменьшилось на 76,9 %, а жесткость воды снизилась на 70,8 %. После прохождения стадий механической фильтрации, аэрации, сорбционной обработки и мембранной очистки наблюдалось значительное улучшение физико-химических и санитарных характеристик воды.

Наиболее высокая эффективность очистки была достигнута по показателям содержания железа и марганца. Так, степень удаления железа составила 94,0 %, а марганца — 93,7 %. Кроме того, значительно снизились показатели мутности и цветности воды, что подтверждает высокую результативность применения комбинированной технологии очистки. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности внедрения современных систем водоочистки для обеспечения населения сельских районов Республики Узбекистан качественной и безопасной питьевой водой.

Следующим этапом является аэрация воды, которая способствует окислению растворенных соединений железа и марганца. В результате процесса аэрации двухвалентное железо переходит в нерастворимую форму и может быть удалено фильтрацией. Одновременно происходит улучшение органолептических свойств воды за счет удаления растворенных газов и неприятных запахов. Для удаления органических веществ, остаточных примесей и снижения цветности воды применяется сорбционная очистка с использованием активированного угля и природных сорбентов. Сорбционные материалы обладают высокой поглотительной способностью и позволяют эффективно удалять органические соединения, нефтепродукты и некоторые тяжелые металлы. Использование местных природных сорбентов также способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению экономической эффективности технологии.

На завершающем этапе очистки применяются мембранные методы, включая ультрафильтрацию и обратный осмос. Мембранные технологии обеспечивают глубокую очистку воды от растворенных солей, микроорганизмов, вирусов и других загрязняющих веществ. Особенно эффективным является применение обратного осмоса в районах с повышенной минерализацией подземных вод. Данный метод позволяет значительно снизить содержание солей и обеспечить соответствие качества воды санитарным нормам. В ходе исследования были проведены лабораторные и практические испытания комбинированной технологии очистки подземных вод. Анализ результатов показал, что после прохождения всех стадий очистки содержание железа снизилось на 90–95 %, минерализация воды уменьшилась на 70–80 %, а показатели мутности и цветности были приведены в соответствие с установленными санитарными требованиями. Также наблюдалось значительное снижение содержания нитратов и органических загрязняющих веществ.

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность комбинированной технологии очистки подземных вод в условиях Узбекистана. Комплексное применение нескольких методов очистки позволяет не только повысить качество питьевой воды, но и обеспечить надежность и устойчивость систем водоснабжения. Кроме того, внедрение современных технологий

водоочистки способствует улучшению экологической ситуации, рациональному использованию водных ресурсов и повышению уровня жизни населения.

Важным преимуществом комбинированной технологии является возможность адаптации технологической схемы в зависимости от химического состава подземных вод конкретного региона. Это позволяет применять данную технологию как в крупных системах централизованного водоснабжения, так и на локальных объектах в сельской местности. Экономическая эффективность технологии также обусловлена снижением эксплуатационных расходов, увеличением срока службы оборудования и сокращением потребления химических реагентов. Для оценки эффективности комбинированной технологии очистки подземных вод были проведены исследования проб воды, отобранных из различных водоносных источников Узбекистана. Анализ исходных показателей показал, что в исследуемых образцах наблюдалось превышение предельно допустимых концентраций по ряду компонентов, включая железо, общую минерализацию, жесткость, нитраты и мутность. Наиболее сложная ситуация отмечалась в районах с высокой степенью антропогенной нагрузки и ограниченным естественным водообменом.

В процессе исследований была разработана экспериментальная схема очистки, включающая несколько последовательных этапов обработки воды. В ходе лабораторных испытаний установлено, что механическая фильтрация эффективно удаляет крупнодисперсные частицы и снижает показатели мутности воды. После стадии аэрации наблюдалось интенсивное окисление растворенного железа и марганца, что способствовало их дальнейшему осаждению и удалению на фильтрующих материалах. Сорбционная очистка показала высокую эффективность в отношении удаления органических соединений, неприятного запаха и цветности воды. Использование активированного угля позволило значительно улучшить органолептические свойства воды и снизить концентрацию остаточных загрязняющих веществ. При этом применение природных сорбентов местного происхождения продемонстрировало перспективность их использования в качестве альтернативы дорогостоящим импортным материалам.

Особое значение в технологии очистки имели мембранные методы. Использование установок обратного осмоса обеспечило существенное снижение минерализации воды и удаление растворенных солей. В результате обработки показатели общей минерализации были снижены до нормативных значений, соответствующих санитарным требованиям к питьевой воде. Кроме того, мембранная фильтрация обеспечила удаление микроорганизмов и бактериальных загрязнений, что повысило санитарную безопасность очищенной воды. Сравнительный анализ показателей качества воды до и после очистки подтвердил высокую эффективность комбинированной технологии. Средний

уровень удаления железа составил более 90 %, снижение жесткости воды достигло 65–75 %, а содержание нитратов уменьшилось до допустимых значений. Показатели мутности и цветности были снижены практически полностью. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения данной технологии для очистки подземных вод различного химического состава.

Следует отметить, что эффективность очистки во многом зависит от правильного подбора технологических параметров, включая скорость фильтрации, давление в мембранной системе, тип сорбционного материала и продолжительность аэрации. Оптимизация данных параметров позволяет повысить производительность системы и сократить эксплуатационные расходы. Одним из важных аспектов исследования является оценка экономической и экологической эффективности комбинированной технологии. Несмотря на относительно высокие первоначальные затраты на установку мембранного оборудования, в долгосрочной перспективе технология обеспечивает снижение затрат на реагенты, ремонт и обслуживание систем водоочистки. Результаты исследования показывают, что внедрение комбинированных технологий очистки подземных вод соответствует современным требованиям экологической безопасности и государственной политики в сфере водоснабжения. Реализация подобных технологий способствует достижению целей устойчивого развития, улучшению качества жизни населения и обеспечению экологической стабильности в регионах Узбекистана.

Заключение. Проведенное исследование показало, что проблема обеспечения населения качественной питьевой водой в условиях Узбекистана остается одной из актуальных задач современности. Ухудшение качества подземных вод, связанное с повышенной минерализацией, содержанием железа, нитратов и других загрязняющих веществ, требует применения современных и эффективных методов водоочистки. В ходе исследования было установлено, что традиционные методы очистки не всегда обеспечивают необходимый уровень подготовки воды, особенно при сложном химическом составе подземных источников.

Результаты исследования подтвердили высокую эффективность комбинированной технологии очистки подземных вод, основанной на последовательном применении механической фильтрации, аэрации, сорбционной обработки и мембранных методов. Комплексное использование данных технологий позволило значительно улучшить физико-химические и санитарные показатели воды, снизить содержание вредных примесей и обеспечить соответствие очищенной воды установленным нормативным требованиям. Особенно высокая эффективность была достигнута при

использовании мембранных технологий, обеспечивающих глубокую очистку воды от растворенных солей и микроорганизмов.

Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения предложенной технологии в системах водоснабжения различных регионов Республики Узбекистан. Реализация современных комбинированных методов очистки воды будет способствовать повышению экологической безопасности, рациональному использованию водных ресурсов и улучшению качества жизни населения. Кроме того, результаты исследования соответствуют приоритетным направлениям государственной политики в сфере экологии, охраны окружающей среды и обеспечения населения чистой питьевой водой.

Предложения. На основе проведенного исследования и полученных результатов разработан ряд практических предложений, направленных на повышение эффективности очистки подземных вод и совершенствование систем водоснабжения в Республике Узбекистан. Реализация данных предложений позволит улучшить качество питьевой воды, повысить экологическую безопасность и обеспечить рациональное использование водных ресурсов страны.

1. Рекомендуется расширить внедрение комбинированных технологий очистки подземных вод в системах централизованного и локального водоснабжения Республики Узбекистан с учетом региональных особенностей качества воды.

2. Необходимо модернизировать существующие водоочистные сооружения путем внедрения современных мембранных, сорбционных и энергоэффективных технологий, обеспечивающих высокое качество питьевой воды.

3. Целесообразно увеличить объем научно-исследовательских работ в области очистки подземных вод, направленных на разработку инновационных технологий с использованием местных природных сорбентов и экологически безопасных материалов.

4. Рекомендуется усилить постоянный мониторинг качества подземных вод и создать единую цифровую систему контроля за состоянием водных ресурсов в регионах страны.

Реализация вышеуказанных предложений будет способствовать совершенствованию системы водоочистки, обеспечению населения качественной питьевой водой и повышению эффективности использования подземных водных ресурсов. Кроме того, внедрение современных технологий очистки воды позволит укрепить экологическую устойчивость регионов и обеспечить выполнение государственных программ в сфере охраны окружающей среды и водоснабжения населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПК-257 от 24 мая 2022 года «О дополнительных мерах по повышению уровня обеспеченности населения питьевым водоснабжением и услугами канализации».
2. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПК-171 от 31 мая 2023 года «О мерах по эффективной организации деятельности Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата».
3. Kumar R., Singh P. Hybrid membrane-adsorption systems for groundwater remediation: Efficiency and sustainability analysis // *Journal of Water Process Engineering*. — 2025. — Vol. 60. — Art. 104523. — DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.104523.
4. Mancini G., Antoniou C. Advanced Oxidation Processes (AOPs) combined with biological filtration for groundwater treatment in agricultural areas // *Water Resources Management*. — 2023. — Vol. 37. — P. 2105–2120. — DOI: 10.1007/s11269-023-03481-w.
5. Zhang Y., Müller K. Efficiency of combined photocatalysis and ceramic membrane filtration for removing emerging contaminants from groundwater // *Environmental Science & Technology*. — 2021. — Vol. 55, № 14. — P. 9845–9855. — DOI: 10.1021/acs.est.1c02340.
6. Zhao H., Chen L., Wang J. Integrated electrocoagulation and reverse osmosis for desalination of brackish groundwater: A pilot study // *Desalination*. — 2024. — Vol. 572. — Art. 117112. — DOI: 10.1016/j.desal.2023.117112.
7. Алексеев Л. С., Гетманцев С. В. Комбинированные технологии безреагентного обезжелезивания и деманганации подземных вод // *Водоснабжение и санитарная техника*. — 2024. — № 3. — С. 15–22.
8. Мирзаев С. С., Мухаммадиев А. К. Инновационные методы комплексной очистки подземных вод в засушливых регионах Узбекистана // *Журнал водных ресурсов и проблем энергосбережения*. — Ташкент, 2023. — № 2. — С. 45–52.
9. Buta Oralovich Xushvaktov, & Boboyeva Gulmira Sodikovna. (2026). ICHIMLIK UCHUN YAROQSIZ BO'LGAN SUVLARNI YUMSHATISH. *IMRAS*, 9(1), 115–119. Retrieved from.
10. Хушвактов, Б. О. (2025). ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ. *MILLIY IFTIXOR*, 1(2), 258-266.
11. Курбанова, У. У., Хушвактов, Б. О., Соатов, А. У., & Эркинов, М. (2026). МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАРЕВШИХ СИСТЕМ ХЛОРИРОВАНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ. *ОБРАЗОВАНИЕ НАУКА И ИННОВАЦИОННЫЕ ИДЕИ В МИРЕ*, 93(2), 39-47.
12. Рахимов Ш. Х., Махмудов И. Э. Исследование эффективности сорбционно-мембранной технологии для деминерализации подземных вод Приаралья // *Вестник Ташкентского государственного технического университета*. — 2022. — № 4. — С. 112–119.
13. Эргашев Р. Р. Геохимические особенности и современные технологии водоподготовки подземных вод в условиях Бухарской области // *Узбекский гидрогеологический журнал*. — 2021. — № 1. — С. 30–38.