

MPHTI 61.31.57: 70.25.17

Ш.М. Умбетова¹ – основной автор, ©
Н.О. Аппазов², Х.Р. Садиева³, Д.Ж. Ниязова⁴,
И.Д. Еспанова⁵, М.Б. Копен⁶, Ө.С. Баймаханов⁷



¹Канд. техн. наук, ²Канд. хим. наук, профессор, ³Канд. техн. наук, ассоц. профессор, ^{4,5,6,7}Докторант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-7716-9822> ²<https://orcid.org/0000-0001-8765-3386>
³<https://orcid.org/0000-0002-8925-8053> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-2698-1209>
⁵<https://orcid.org/0000-0003-0721-1794> ⁶<https://orcid.org/0000-0001-9982-0428>
⁷<https://orcid.org/0009-0008-1949-2275>



^{1,2,4,5,6,7}Кызылординский университет им. Коркыт Ата,
г. Кызылорда, Казахстан

³Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан



¹umbetova-37@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/PVEN9913>

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ

Аннотация. В данной работе рассматривается разработка технологии доочистки сточных вод с использованием природных сорбентов, а также проводится сравнительный анализ эффективности активированного угля из различных видов рисовых отходов. Особое внимание уделяется инновационному способу доочистки сточных вод, аккумулируемых в прудах-накопителях, с целью их безопасного применения для полива древесных насаждений и кормовых культур. Предложенная технология включает фильтрацию через активированный уголь из рисовой шелухи, аэрацию и использование биопрепарата «Биогексен» для повышения качества очистки.

Ключевые слова: доочистка, сорбент, сточная вода, пруд-накопитель, активированный уголь, технология.



Умбетова, Ш.М. Разработка технологии доочистки сточных вод с использованием природных сорбентов [Текст] / Ш.М. Умбетова, Н.О. Аппазов, Х.Р. Садиева, Д.Ж. Ниязова, И.Д. Еспанова, М.Б. Копен, Ө.С. Баймаханов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.191-198. <https://doi.org/10.55956/PVEN9913>

Введение. Современные экологические вызовы требуют эффективных и устойчивых решений в области очистки сточных вод. Одним из перспективных направлений является использование природных сорбентов, таких как активированный уголь, полученный из агропромышленных отходов.

Исследования, проведенные в Кызылординском регионе, показали, что сточные воды городской канализации характеризуются высоким содержанием ионов кальция (7,2 мг/л), магния (9,6 мг/л) и хлоридов (5,79 мг/л), а также слабощелочной реакцией среды (рН в пределах 6,8-7,6). Эти параметры указывают на потенциальную агрономическую ценность таких

вод, особенно для орошения технических, кормовых и древесных культур [1-6].

Однако, согласно критериям оценки вод по соотношению катионов, предложенным М.Ф. Будановым, при минерализации до 1 г/л необходимо соблюдать определённый баланс между ионами натрия, кальция и магния. Превышение отношения $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ выше единицы, зафиксированное в пробах, указывает на риск осолонцевания почв. Для предотвращения этого процесса рекомендуется предварительное известкование воды или гипсование почвы.

Дополнительно, содержание хлоридов в исследованных пробах варьировалось от 113,6 до 205,9 мг/л, что может привести к хлоридному засолению. В связи с этим необходимо организовать регулярный мониторинг солевого состава почвы и, при необходимости, разбавлять сточные воды более качественной водой, чтобы содержание хлоридов не превышало 140 мг/л.

Несмотря на потенциальные риски, использование сточных вод может способствовать повышению плодородия почвы: содержание гидролизующего азота увеличивается на 7%, а обменного калия – на 11%. Однако отмечается тенденция к осолонцеванию, что требует обязательного проведения мелиоративных мероприятий.

Первичный анализ пригодности очищенных сточных вод для полива древесных насаждений в Кызылорде показал, что они могут быть использованы в сельском хозяйстве при соблюдении следующих условий:

- постоянный контроль за солевым составом почвы;
- проведение гипсования при необходимости.

Глубокая очистка позволяет эффективно удалять соединения азота и фосфора. Так, механическая очистка снижает содержание этих элементов на 8-10%, биологическая – на 35-50%, а глубокая – до 98-99%. Для удаления аммиака применяются методы отдувки в щелочной среде, ионный обмен, гиперфильтрация, электролиз и биохимическое восстановление нитратов до молекулярного азота. Эффективность отдувки аммиака достигает 90%.

Одной из наиболее актуальных задач остаётся удаление ионов тяжёлых металлов (ИТМ), таких как медь, железо, цинк, алюминий и марганец, которые даже в низких концентрациях оказывают токсическое воздействие на экосистемы и нарушают работу биологических очистных сооружений. Средние концентрации ИТМ в сточных водах после биологической очистки могут превышать допустимые нормы в несколько раз.

Существующие методы осаждения ИТМ, включая биологические и химические, не всегда обеспечивают достижение нормативных значений. Поэтому особое внимание уделяется разработке эффективных сорбентов.

Несмотря на разнообразие сорбционных материалов, на практике отсутствует универсальный, доступный и эффективный сорбент для удаления ИТМ. Это связано как с экономическими факторами, так и с ограниченным ассортиментом материалов, способных работать при низких концентрациях загрязнителей.

Особый интерес представляют наночастицы серебра, обладающие высокой каталитической и биоцидной активностью. Однако они склонны к агрегации, что снижает их эффективность. Для стабилизации наночастиц применяются полимерные матрицы, образующие металлополимерные нанокомпозиты. Такие материалы сочетают в себе высокую активность

наночастиц и устойчивость к агрегации, а также легко масштабируются в промышленном производстве.

Пруды-накопители широко используются для хранения сточных вод, однако их качество зачастую не соответствует требованиям, предъявляемым к воде для полива. Без предварительной доочистки такие воды могут нанести вред почвам и растениям. В связи с этим разработка эффективной, экономичной и экологически безопасной технологии доочистки сточных вод является приоритетной задачей.

Учитывая необходимость доведения качества сточных вод до нормативных показателей для их безопасного использования в сельском хозяйстве, была разработана технологическая схема доочистки, сочетающая простоту реализации и высокую эффективность. Основу метода составляет использование природных сорбентов и биологических компонентов, обеспечивающих комплексное удаление загрязняющих веществ.

Условия и методы исследования. Предлагаемая технология доочистки сточных вод включает последовательность этапов, направленных на повышение эффективности удаления загрязняющих веществ с использованием природных сорбентов и биологических методов. Процесс включает:

1. Первичное отстаивание – забор воды из пруда-накопителя и подача в приёмный резервуар для осаждения крупных взвешенных частиц.

2. Сорбционная фильтрация – пропускание воды через фильтр с активированным углём, полученным из рисовой шелухи. Благодаря высокой удельной поверхности сорбент эффективно удаляет органические и неорганические загрязнители.

3. Аэрация – насыщение воды кислородом с помощью компрессора, что способствует активации аэробных биохимических процессов.

4. Биологическая обработка – внесение органического препарата «Биогексен», способствующего разложению органических соединений, снижению биохимического и химического потребления кислорода, а также устранению запахов.

5. Накопление очищенной воды – сбор обработанной воды в резервуарах объёмом до 25 м³.

6. Повторное использование – подача очищенной воды на орошение сельскохозяйственных культур через систему трубопроводов и арыков.

В отличие от известных установок биологической очистки предложенная система:

- проста в монтаже и эксплуатации;
- не требует сложных реагентов;
- может использоваться автономно вне централизованных очистных сооружений;
- адаптирована к условиям сельского хозяйства и малых населённых пунктов.

На рисунке показана 1 технологическая схема доочистки сточных вод.

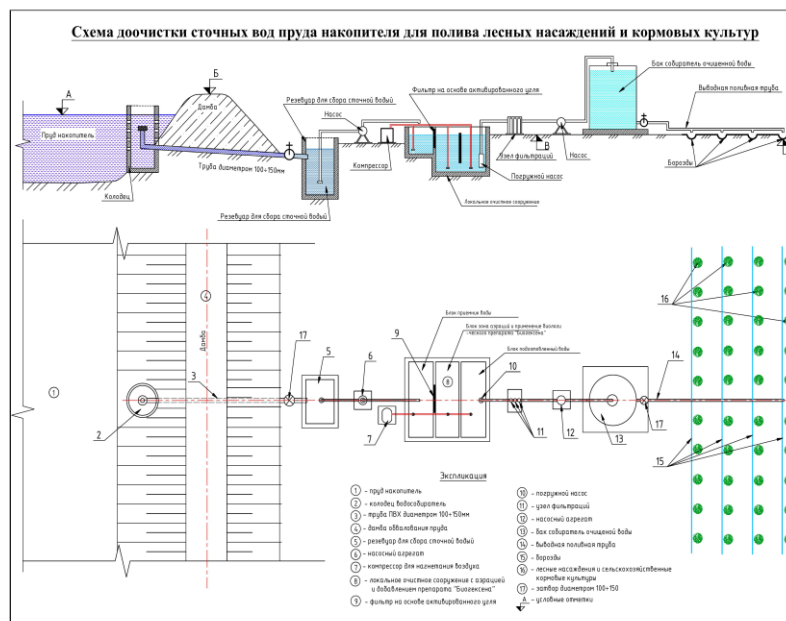


Рис.1. Технологическая схема доочистки сточных вод

Результаты исследований и их обсуждение. Для исследования были отобраны пробы канализационных сточных вод до и после их прохождения через слой активированного угля. Основные параметры, подлежащие анализу, включают: концентрацию органических веществ, содержание тяжелых металлов, мутность, уровень pH.

Процесс очистки осуществлялся путем пропускания канализационных сточных вод через колонку, заполненную активированным углем из рисовой шелухи [7-8]. Контрольные пробы брались до и после проведения очистки для дальнейшего анализа, результаты анализа канализационной сточной воды до и после их очистки активированным углем, приведен ниже в таблице 1. Этот метод направлен на снижение концентраций загрязняющих веществ в сточных водах для улучшения их экологической безопасности и дальнейшего использования.

1. Отбор и анализ сточных вод. На первом этапе были отобраны пробы сточных вод, содержащие ионы тяжёлых металлов (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Al^{3+}), а также органические и неорганические загрязнители. Для определения состава использовались методы спектрального анализа, что позволило установить начальные концентрации загрязняющих веществ.

2. Разработка и подготовка сорбентов. Активированный уголь из рисовой шелухи. Рисовая шелуха подвергалась карбонизации и активации, в результате чего получался сорбент с высокой удельной поверхностью и развитой пористой структурой. В некоторых вариантах он модифицировался серебросодержащими компонентами для повышения сорбционной активности.

3. Проведение очистки и анализ результатов. Процесс очистки осуществлялся путём пропускания сточных вод через колонки, заполненные активированным углём. Контрольные пробы отбирались до и после фильтрации. Анализ включал измерение следующих параметров:

- цветность;
- pH;
- жесткость;
- щелочность;
- содержание аммония, кальция, магния, железа, меди, алюминия;
- минерализация, фосфаты, нитраты, нитриты и др.

Эффективность удаления загрязнителей приведена в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализа канализационной сточной воды до и после их очистки активированным углем

Показатель	До очистки (мг/дм ³)	После очистки (мг/дм ³)	Изменение и снижение в %
Цветность (градусы)	510	600	↑ (возможно, из-за вымывания частиц)
pH	8,05	7,65	↓ 4,97% (приближение к нейтральной среде)
Жесткость (°Ж)	8,1	7,8	↓ 3,70 %
Щелочность	11,20	10,60	↓ 5,36%
Аммоний	20,90	19,90	↓ 4,78%
Кальций (мг/дм ³)	60	6	↓ 90,00%значительно
Магний (мг/дм ³)	32,4	62,4	↑ 92,59% (возможен ионный обмен)
Железо (мг/дм ³)	2,3	1,4	↓ 39,13%
Медь (мг/дм ³)	0,9	0,6	↓ 33,33%
Алюминий (мг/дм ³)	48,7	32,3	↓ 33,68%
Сульфаты (мг/дм ³)	0,27	0,20	↓ 25,93%
Хлориды (мг/дм ³)	45	10,8	↓ 76,00% существенно
Нитраты	0,33	0,31	6,06%
Нитриты	0,146	0,143	2,05%
Карбонаты	48,00	36,00	25,00%
Гидрокарбонаты	524,60	512,40	2,33%
Полифосфаты	0,164	0,106	35,37%
Ортофосфаты (мг/дм ³)	8,1	4,4	↓ 45,68%
Минерализация (мг/дм ³)	2,04	1,61	↓ 21,08%

Проведённые исследования показали, что после прохождения всех этапов доочистки наблюдается заметное улучшение качества воды. Концентрации большинства загрязняющих веществ, включая тяжёлые металлы, существенно снизились. Это подтверждает эффективность предложенной технологии.

Отмечено улучшение цветности и прозрачности воды, что свидетельствует о снижении содержания взвешенных частиц. Показатель pH изменился с 8,05 до 7,65, приближаясь к нейтральному значению, что указывает на мягкую нейтрализацию среды. Общая жёсткость снизилась с 8,1 до 7,8 мг-экв/дм³, что может быть связано с частичным удалением солей кальция и магния.

Щелочность уменьшилась с 11,2 до 10,6 ммоль/дм³, а содержание аммония снизилось с 20,9 до 19,9 мг/дм³, что говорит о частичном удалении аммонийных соединений. Особенно заметно снижение концентрации кальция

– с 60 до 6 мг/дм³, что подчёркивает высокую эффективность сорбента. Однако содержание магния, напротив, увеличилось, вероятно, из-за ионного обмена с фильтрующим материалом.

Концентрации железа, меди и алюминия также снизились, что подтверждает адсорбционные свойства активированного угля. Содержание сульфатов и хлоридов уменьшилось, особенно хлоридов – с 45 до 10,8 мг/дм³. Нитраты и нитриты изменились незначительно, что может свидетельствовать о слабом взаимодействии с сорбентом.

Снижение содержания карбонатов и гидрокарбонатов привело к уменьшению щелочности. Концентрации полифосфатов и ортофосфатов также снизились, особенно последних – почти в два раза, что способствует снижению риска эвтрофикации.

Общая минерализация воды уменьшилась с 2,04 до 1,61 мг/дм³, что является положительным итогом, указывающим на общее улучшение качества воды после очистки. Таким образом, очистка с использованием активированного угля из рисовой шелухи показала высокую эффективность в удалении тяжёлых металлов, фосфатов и хлоридов. Однако наблюдалось увеличение содержания магния, что может быть связано с ионным обменом между сорбентом и водой.

Заключение. Разработанная технология доочистки сточных вод с использованием природных сорбентов на основе агропромышленных отходов, таких как рисовая шелуха, продемонстрировала высокую эффективность и экологическую безопасность. Особенно перспективным оказался активированный уголь из рисовой шелухи, обладающий высокой удельной поверхностью и отличными сорбционными характеристиками, что позволяет эффективно удалять как органические, так и неорганические загрязнители.

Разработанная система доочистки сточных вод включает последовательные этапы: первичное отстаивание, фильтрацию через активированный уголь из рисовой шелухи, аэрацию, биологическую обработку препаратом «Биогексен», накопление очищенной воды и её последующее использование для полива сельскохозяйственных культур. Такой подход обеспечивает не только эффективное удаление загрязняющих веществ, но и рациональное повторное использование воды.

Таким образом, предложенная технология представляет собой доступное, экологически безопасное и адаптивное решение для локальной очистки сточных вод. Её внедрение способствует устойчивому водопользованию в аграрных экосистемах, снижая нагрузку на природные водные ресурсы и повышая экологическую устойчивость сельскохозяйственного производства.

Список литературы

1. Shomantayev A.A., Shegenbayev A.T., Otarbayev B.S., Daldabayeva G.T., Saktaganova N.A., Bulanbayeva P. Irrigation technology for tree crops wastewater from the city of Kyzylorda // Bulletin of Kyzylorda University named after Korkyt Ata. – 2024. – No. 2 (69). – P. 231-239.
2. Umbetova S., Abylkassova G., Spitsov D. Comparative study of wastewater treatment efficiency: ozone vs. atmospheric oxygen with a manganese dioxide catalyst // Water Quality Research Journal. – 2024. – P. wqrj2024033.
3. Syaole C., Kely C., Inhao. Properties, Applications And Methods Of Nanosilver Preparation // International Students' Scientific Newsletter. – 2018. – No. 6.

4. Radzhabov U.R., Shuhrazoda M., Yermamodova S.G., Kozizonov A.U. Coordination compound of silver (I) with metrotazil // Inorganic Chemistry Journal. – 2018. – Vol. 61. – No. 2. – P. 176-180.
5. Sabad-e-Gul S., Waheed S., Ahmad A., Khan S.M., Hussain M., Jamil T., Zuber M. Synthesis, characterization and permeation performance of cellulose acetate/polyethylene glycol-600 membranes loaded with silver particles for ultra low pressure reverse osmosis // J. Taiwan Inst. Chem. Eng. – 2015. – Vol. 57. – P. 129-138.
6. Umbetova Sh.M. Ochistka prirodnykh i stochnykh vod [Treatment of natural and wastewater]: monograph. – Baku: AzASU, 2025. – 250 p. [in Russian].
7. Utility model patent No. 2025/0258.2. Method for obtaining granular activated carbon from rice husk. – [?].
8. Utility model patent No. 2025/0250.2. Method for obtaining calcium silicate adsorbent from rice husk. – [?].

Исследования выполнены в рамках проекта BR21882415 «Разработка технологии безопасной утилизации сточных вод для полива кормовых культур и древесных насаждений в условиях дефицита воды в Кызылординской области», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.

Материал поступил в редакцию 19.07.25, принят 20.09.25.

**Ш.М. Умбетова¹, Н.О. Аппазов¹, Х.Р. Садиева²,
Д.Ж. Ниязова¹, И.Д. Еспанова¹, М.Б. Көпен¹, Ө.С. Баймаханов¹**

¹Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

²М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

ТАБИҒИ СОРБЕНТТЕРДІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП АҒЫН СУЛАРДЫ ҚОСЫМША ТАЗАЛАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста табиғи сорбенттерді қолдана отырып, ағын суларды қосымша тазалау технологиясын әзірлеу қарастырылады. Сонымен қатар, күріш қалдықтарынан алынған активтелген көмірдің тиімділігіне салыстырмалы талдау жүргізіледі. Ерекше назар пруд-накопительдерде жиналатын ағын суларды ағаш отырғызу мен мал азықтық дақылдарды суаруға қауіпсіз қолдану мақсатында инновациялық тазалау әдісіне аударылады. Ұсынылған технология күріш қауызынан алынған активтелген көмір арқылы сүзуді, аэрацияны және тазалау сапасын арттыру үшін «Биогексен» биопрепаратын қолдануды қамтиды.

Тірек сөздер: қосымша тазалау, сорбент, ағын су, пруд-накопитель, активтелген көмір, технология.

Sh.M. Umbetova¹, N.O. Appazov¹, K.R. Sadiyeva²,
D.Zh. Niyazova¹, I.D. Espanova¹, M.B. Kopen¹, O.S. Baymakhanov¹

¹Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

²M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR ADVANCED TREATMENT OF WASTEWATER USING NATURAL SORBENTS

Abstract. This study presents the development of a wastewater post-treatment technology utilizing natural sorbents, with a comparative analysis of the efficiency of activated carbon derived from various types of rice waste. Special attention is given to an innovative method for treating wastewater accumulated in storage ponds, aimed at its safe reuse for irrigation of tree plantations and forage crops. The proposed technology includes filtration through activated carbon made from rice husk, aeration, and the use of the biological agent “Biogexen” to enhance purification quality.

Keywords: post-treatment, sorbent, wastewater, storage pond, activated carbon, technology.