

Арман Оразалыулы Абайлдаев – старший преподаватель кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева, Алматы, Казахстан; e-mail: a.abaildayev@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1813-1338>.

Бекжан Дуисенбиулы Коссалбаев – PhD, ассоциированный профессор кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева, Алматы, Казахстан; e-mail: kossalbayev.bekzhan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3892-7920>.

Наргиз Гизатуллина – докторант кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Satbayev University, Алматы, Казахстан; e-mail: nar.gn@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4230-1031>.

Гаухар Толеутай – PhD кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева, Казахстан; e-mail: gaukhar.toleutay@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0381-6665>.

Received 30.01.2026

Revised 05.03.2026

Accepted 05.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-77](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-77)

МРНТИ: 31.21.01



А.Б. Джумагазиева*, Ж.А. Искакбаева¹, У.Е. Жантiekеев², К.С. Бексеитова², С. Азат²

¹Лаборатория микробиологии, АО «Научный центр противомикробных препаратов», Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Аль-фараби, 75Б

²Satbayev University,

050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

*e-mail: r_dawa@mail.ru

ОЧИСТКА ВОДЫ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА БАКТЕРИЦИДНОГО ДЕЙСТВИЯ

Аннотация: Целью данного исследования являлась оценка эффективности установки холодной плазмы для обеззараживания воды, контаминированной бактериальной микрофлорой. Экспериментальная установка CD Plasma генерирует холодную плазму путем ионизации частиц обрабатываемой жидкости, предварительно преобразованной в двухфазную жидко-газовую среду. Холодная плазма оказывает выраженное антимикробное действие за счет синергетического влияния активных форм кислорода и азота, ультрафиолетового излучения и заряженных частиц, которые вызывают окислительное повреждение клеточной стенки, нарушение целостности мембраны, инактивацию белков и фрагментацию ДНК микроорганизмов. В качестве тест-объектов использованы бактерии *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa* как представители санитарно-показательной и условно-патогенной микрофлоры. Показано, что воздействие холодной плазмы в течение 5 минут обеспечивает значительное снижение микробной обсемененности в отношении обеих культур, однако в большей степени в отношении *Pseudomonas aeruginosa*. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности холодной плазмы в инаktivации бактерий без использования химических реагентов и указывают на перспективность её применения в технологиях очистки и обеззараживания воды. Метод отличается энергоэффективностью, масштабируемостью и минимальным образованием побочных продуктов при небольших эксплуатационных затратах.

Ключевые слова: холодная плазма, обеззараживание воды, бактерии, экологически чистые технологии.

1. ВВЕДЕНИЕ

Дефицит и загрязнение воды остаются двумя наиболее острыми глобальными проблемами, имеющими глубокие последствия для общественного здравоохранения, экологической устойчивости и экономического развития [1]. В связи с продолжающимся

ростом населения мира и расширением промышленной деятельности, спрос на чистую, безопасную воду неуклонно увеличивается [2]. Однако водоемы все чаще загрязняются различными веществами, включая промышленные химикаты [3], сельскохозяйственные стоки [4], фармацевтические препараты [5], микроорганизмы [6] и микропластик [7]. Бактериальное загрязнение в значительной степени усложняет традиционные процессы очистки воды и представляют собой значительные проблемы [8-12], поскольку многие из них трудно удалить с помощью обычной фильтрации и химической обработки. Следовательно, существует острая потребность в более передовых и эффективных технологиях очистки воды, способных решать эти меняющиеся проблемы.

В условиях нарастающей нехватки водных ресурсов во многих точках мира и, в частности, в Казахстане, становится критически важным не только улучшать процессы очистки сточных вод, но и делать приоритетным их повторное использование и восстановление водных ресурсов. [13-17]. Поэтому существует острая потребность в инновационных, экономически эффективных и устойчивых технологиях очистки воды, которые могут решать эти проблемы, одновременно повышая общую эффективность, экологичность и доступность систем очистки воды.

Материалы и методы

Для моделирования бактериальной контаминации воды использовали тест-штаммы микроорганизмов *Escherichia coli* ATCC 8739 и *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, полученные из Американской коллекции типовых культур (*American Type Culture Collection*). Выбор модельных штаммов был основан на эпидемиологической значимости: *Escherichia coli* является санитарно-показательным микроорганизмом и служит маркером фекального загрязнения воды; *Pseudomonas aeruginosa* относится к условно-патогенным микроорганизмам с выраженной природной устойчивостью к физическим и химическим факторам, способностью к формированию биопленок и активной колонизации водных систем.

Культуры выращивали в течение 18 часов на плотной питательной среде Мюллер-Хинтон агар (Himedia, Индия) при температуре 37 ± 1 °C. По истечении времени инкубации, готовили по отдельности суспензии тест-штаммов с использованием прибора денситометра DEN-1 (Biosan, Латвия) в концентрации $1,5 \times 10^3$ КОЕ/мл.

В общей сложности были подготовлены и переданы для обработки установкой холодной плазмы 4 колбы по 1000 мл воды, засеянных *Escherichia coli* ATCC 8739 и 4 колбы по 1000 мл воды, засеянных *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027. Оценку эффективности обеззараживания воды проводили путем посева 1 мл воды на поверхность плотной питательной среды – МХА, после обработки холодной плазмой в течение 1 минуты, 3 минут и 5 минут. Параллельно, проводили контроль обсемененности воды до фильтрации аналогичным образом. Чашки Петри с внесенными образцами инкубировали в термостате в течение 24 часов, с последующим подсчетом выросших колоний с помощью счетчика колоний Scan 100 (Interscience, Франция).

Экспериментальные исследования проводились с использованием лабораторной установки холодной плазмы, предназначенной для плазменно-химической очистки загрязнённой воды и её обеззараживания. Принцип работы установки основан на генерации плазменного разряда в двухфазной газо-жидкостной среде внутри реактора, что приводит к образованию высокоэнергетических и высокореакционных частиц – электронов, ионов, радикалов и возбужденных атомов. Установка функционирует при атмосферном давлении и комнатной температуре, что исключает термическое воздействие на воду и повышает энергоэффективность процесса. В ходе обработки формируются активные формы кислорода и азота, включая гидроксильные радикалы ($\cdot\text{OH}$), озон (O_3) и пероксид водорода (H_2O_2), обеспечивающие окислительное разрушение органических и неорганических загрязнителей, а также инактивацию микроорганизмов. Циркуляция воды осуществляется в замкнутом контуре с использованием насоса, обеспечивающего равномерное воздействие плазмы на весь объем жидкости. Время обработки регулируется и составляет от 1 до 20 минут, что позволяет адаптировать процесс к различным экспериментальным условиям.

Циркуляция воды осуществлялась в замкнутом контуре с использованием насоса, обеспечивающего равномерное воздействие плазмы на весь объем жидкости. Циркуляционный насос подает воду из резервуара по трубопроводу из ПВХ толщиной 20 мм со скоростью потока 10 л/мин, создавая давление приблизительно 3 бар на входе в

плазменный реактор. Прежде чем попасть в зону реактора, вода проходит через специально сконструированное сопло типа Вентури, расположенное в нижней части реактора. Внутренний диаметр сопла уменьшается с 14 мм до 5 мм, что приводит к значительному увеличению скорости и распылению жидкости на капли размером от микрометра до нанометра. При таком распылении образуется газожидкостный аэрозоль, который является рабочей средой плазменного реактора. Быстрое прохождение жидкости через узкое сечение сопла создает локальный перепад давления, создавая область низкого давления внутри активной зоны реактора. Это вызванное гидродинамикой снижение давления позволяет аэрозолю проникать в зону плазмы, не нарушая общей стабильности вакуума. В результате реактор работает в саморегулирующемся режиме смешанного давления: давление в контуре рециркуляции остается близким к атмосферному, в то время как в плазменной камере поддерживается пониженное внутреннее давление, составляющее приблизительно -0,8 бар, что контролируется вакуумметром. Плазма генерируется в этой двухфазной среде при входной мощности 3 кВт, напряжении 10кВ и импульсе 3 А. Несмотря на высокую мгновенную электрическую мощность, разряд остается нетепловым из-за интенсивного охлаждения капель аэрозоля за счет испарения и быстрого гашения на границе раздела газ-жидкость. Время обработки регулируется и составляет от 1 до 20 минут, что позволяет адаптировать процесс к различным экспериментальным условиям.

Результаты

Для оценки эффективности обеззараживания воды с использованием установки холодной плазмы был проведен модельный эксперимент с тест-штаммами *Escherichia coli* ATCC 8739 и *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027.

Исходная бактериальная нагрузка составляла $1,5 \times 10^3$ КОЕ/мл для каждого микроорганизма, что подтверждено результатами контрольных посевов до обработки (рис. 1-2).

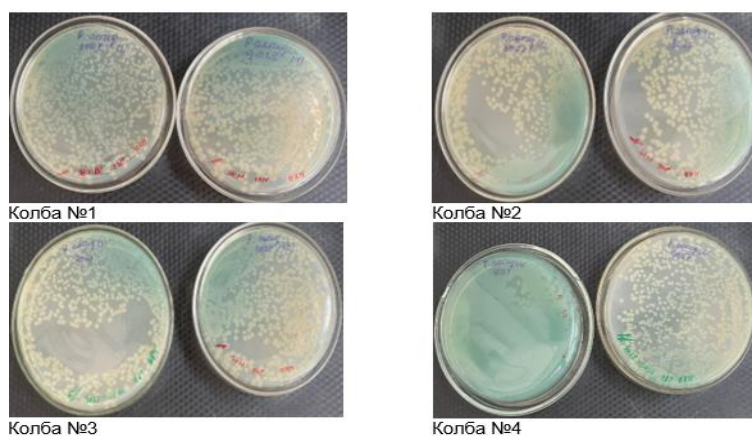


Рисунок 1 – Результаты посева из образцов воды с *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 до фильтрации

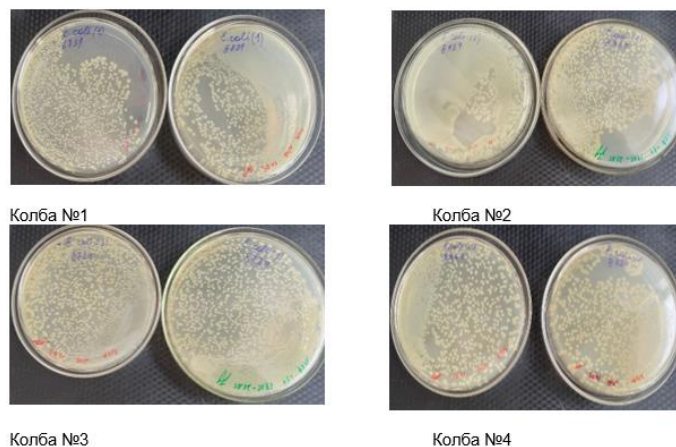


Рисунок 2 – Результаты посева из образцов воды с *Escherichia coli* ATCC 8739 до фильтрации

Из данных, представленных на рисунках 1-2 видно, что в контрольных образцах, не подвергавшихся обработке холодной плазмой, наблюдался рост микроорганизмов в количестве, сопоставимом с исходной концентрацией посева. По истечении времени инкубации на чашках Петри отмечался характерный рост типичных колоний *Escherichia coli* ATCC 8739 и *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027. Подсчет колоний показал, что средний уровень бактериальной обсемененности составлял $\sim 1,5 \times 10^3$ КОЕ/мл, что подтверждает стабильность жизнеспособности тест-культур и воспроизводимость модельной контаминации. Эти данные свидетельствуют об отсутствии факторов, влияющих на рост микроорганизмов в контрольных условиях.

Результаты высева образцов отфильтрованной воды представлены в таблице 1 и на рисунках 3-4.

Таблица 1 – Результаты количественного высева из образцов воды после фильтрации

Экспозиция	Общее количество выросших колоний, КОЕ/мл							
	<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739				<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027			
	1 повтор	2 повтор	3 повтор	M±StD	1 повтор	2 повтор	3 повтор	M±StD
1 минута	$\sim 1,5 \times 10^3$	$\sim 1,5 \times 10^3$	$\sim 1,5 \times 10^3$	$\sim 1,5 \times 10^3$	3	5	4	4±1
3 минуты	528	498	517	514,3±15,2	1	3	2	2±1
5 минут	69	94	78	80,3±12,7	1	-	-	НО

Примечание: «-» – отсутствие роста, «НО» – среднее значение и значение стандартного отклонения не определены в виду отсутствия роста во 2 и 3 повторях

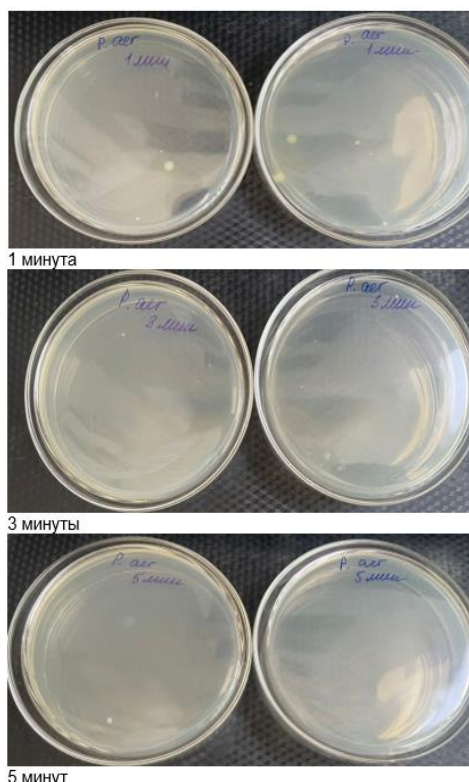


Рисунок 3 – Результаты высева из образцов воды с *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 после фильтрации

По результатам проведенного эксперимента установлено, что установка холодной плазмы оказывает выраженное бактерицидное действие, с времязависимым эффектом (табл. 1). После одной минуты обработки снижение бактериальной обсемененности *Escherichia coli* ATCC 8739 было незначительным: количество выросших колоний соответствовало исходной концентрации ($\sim 1,5 \times 10^3$ КОЕ/мл), что указывает на отсутствие мгновенного плазменного эффекта в отношении данного микроорганизма при минимальном времени экспозиции. В то же время в отношении *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 наблюдается более выраженный эффект: количество колониеобразующих единиц снизилось до 3-5 КОЕ/мл, что соответствует снижению более чем на 3 порядка ($\log_{10}$).

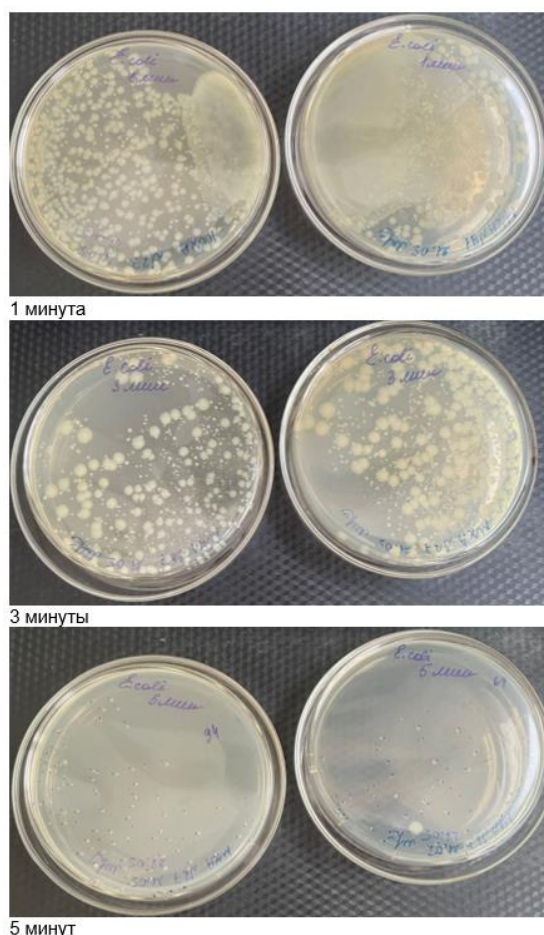


Рисунок 4 – Результаты посева из образцов воды с *Escherichia coli* ATCC 8739 после фильтрации

При увеличении времени обработки до 3 минут количество клеток *E. coli* уменьшилось до 500 КОЕ/мл, что соответствует снижению бактериальной нагрузки примерно на 1 логарифмический цикл ($\log_{10}$). Для *P. aeruginosa* количество выросших колоний составило 1-3 КОЕ/мл, что указывает на практически полную инактивацию культуры. Максимальный бактерицидный эффект наблюдался при экспозиции 5 минут: количество клеток *E. coli* снизилось до ~75 КОЕ/мл (снижение на $2 \log_{10}$), а для *P. aeruginosa* рост отсутствовал практически полностью (1 КОЕ в одном повторе, полное отсутствие КОЕ во втором).

Полученные результаты показали более выраженную чувствительность *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 к воздействию холодной плазмы по сравнению с *Escherichia coli* ATCC 8739. Данный феномен может быть объяснен особенностями действия низкотемпературной плазмы, включающего генерацию реактивных форм кислорода и азота (ROS/RNS), ультрафиолетового излучения и заряженных частиц, вызывающих множественные повреждения клеточных структур микроорганизмов [18-20].

Известно, что одним из ключевых механизмов бактерицидного действия холодной плазмы является индуцированное ROS перекисное окисление липидов клеточной мембраны, приводящее к утрате барьерной функции и быстрой гибели клетки [19, 21]. Наружная мембрана *P. aeruginosa* характеризуется высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, что повышает её чувствительность к окислительному стрессу и перекисидации липидов [22]. В результате под действием плазмы происходит быстрое нарушение целостности мембраны и инактивация клеток.

Кроме того, высокая метаболическая активность *P. aeruginosa* и интенсивное потребление кислорода могут способствовать усиленному образованию вторичных ROS внутри клетки, что приводит к накоплению окислительных повреждений ДНК и белков [20, 23]. При этом антиоксидантные системы защиты (каталаза, супероксиддисмутаза) оказываются недостаточными при воздействии высокоактивных плазменных радикалов, обладающих комплексным повреждающим действием [19, 24].

Несмотря на известную устойчивость *P. aeruginosa* к антибиотикам и химическим дезинфектантам, её чувствительность к холодной плазме может быть выше, чем у *E. coli*, что показано в ряде экспериментальных исследований по плазменной инаktivации водных патогенов [25, 26]. Это связывают с различиями в структуре липополисахаридного слоя и особенностями поверхностных полисахаридов, которые определяют проницаемость клеточной оболочки для реактивных частиц плазмы [21, 25].

Таким образом, более высокая чувствительность *Pseudomonas aeruginosa* к холодной плазме обусловлена совокупностью факторов: уязвимостью липидного слоя к окислительному повреждению, усилением внутриклеточного окислительного стресса и ограниченной эффективностью антиоксидантных механизмов защиты при воздействии активных плазменных частиц.

Установленные особенности повышенной чувствительности *Pseudomonas aeruginosa* к воздействию холодной плазмы определяют необходимость учёта экспериментальных условий, в частности исходной бактериальной нагрузки, при интерпретации полученных результатов. Поскольку интенсивность генерации ROS/RNS и глубина их проникновения в микробные клетки во многом зависят от плотности популяции, корректный выбор начальной концентрации микроорганизмов является важным фактором, позволяющим объективно оценить кинетику плазменной инаktivации и сопоставить чувствительность различных видов бактерий в стандартизированных условиях эксперимента.

В нашем эксперименте начальная бактериальная нагрузка в модельном эксперименте составляла $1,5 \times 10^3$ КОЕ/мл, что соответствует уровню умеренной микробной контаминации воды и широко используется в исследованиях по оценке эффективности новых методов обеззараживания [27, 28]. Применение контролируемой и относительно невысокой концентрации микроорганизмов позволяет корректно оценить кинетику инаktivации и выявить времязависимый характер бактерицидного действия холодной плазмы без эффекта экранирования клеток.

При высокой степени микробного загрязнения возможно формирование клеточных агрегатов и биопленочных структур, что приводит к снижению эффективности плазменной инаktivации вследствие частичной защиты внутренних клеток от воздействия ROS и УФ-излучения [20, 29]. Кроме того, увеличение биомассы сопровождается потреблением и нейтрализацией реактивных форм кислорода органическими компонентами среды, что уменьшает их биоцидную активность [18, 20].

Ряд исследований показывает, что эффективность холодной плазмы сохраняется и при более высокой микробной нагрузке, однако в этом случае требуется увеличение времени экспозиции или мощности разряда для достижения аналогичного уровня инаktivации [25, 30]. Следовательно, выбранная начальная концентрация $1,5 \times 10^3$ КОЕ/мл является методически обоснованной и позволяет оценить базовую кинетику бактерицидного действия плазмы, с возможностью экстраполяции результатов на условия более выраженного загрязнения при оптимизации параметров обработки.

Заключение

Таким образом, проведенный эксперимент показал высокую эффективность установки холодной плазмы для инаktivации бактериальной микрофлоры в воде. Отмечена чётко выраженная зависимость бактерицидного действия от времени обработки: при увеличении экспозиции наблюдается значительное снижение количества жизнеспособных клеток. Наибольший эффект достигался при 5-минутной обработке, что обеспечивало снижение бактериальной нагрузки до $2 \log_{10}$ для *Escherichia coli* ATCC 8739 и практически полную элиминацию *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027. Полученные данные подтверждают перспективность применения холодной плазмы как эффективной не термической технологии для обеззараживания воды, способной обеспечивать значительное снижение микробной обсеменённости без использования химических реагентов и нагрева.

Список литературы

1. Efficient nitrogen removal through coupling biochar with zero-valent iron by different packing modes in bioretention system / J. Chen et al // Environ. Res. – 2023. – № 223. – P. 115375.
2. Campos L.C. A Review of the Most Concerning Chemical Contaminants in Drinking Water for Human Health / L.C. Campos // Sustainability. – 2024. – № 16. – P. 7107.

3. Chemical contaminants and environmental stressors induced teratogenic effect in aquatic ecosystem – A comprehensive review / S. Madesh et al // *Toxicology Reports*. – 2024. – Vol. 13. – P. 101819. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101819>.
4. Madjar RM. Nutrient Water Pollution from Unsustainable Patterns of Agricultural Systems, Effects and Measures of Integrated Farming / RM. Madjar, G. Vasile Scăteanu, MA. Sandu // *Water*. – 2024. – № 16(21). – P. 3146. <https://doi.org/10.3390/w16213146>.
5. Wada O.Z. Recent occurrence of pharmaceuticals in freshwater, emerging treatment technologies, and future considerations: A review / O.Z. Wada, D.B. Olawade // *Chemosphere*. – 2025. – Vol. 374. – P. 144153. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144153>.
6. Mendoza-Espinosa LG. Editorial: Wastewater and microbial contamination of water courses / LG. Mendoza-Espinosa, A. Mojiri // *Front. – 2024. – Water* 6. – P. 1428714. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1428714>.
7. A comprehensive review of microplastic pollution in freshwater and marine environments / I.M. Jaikumar et al // *Green Analytical Chemistry*. – 2025. – Vol. 12. – P. 100202. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2024.100202>.
8. Exploring emerging water treatment technologies for the removal of microbial pathogens / O.V. Obayomi et al // *Current Research in Biotechnology*. – 2024. – Vol. 8. – P. 100252. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2024.100252>.
9. Linden Systematic Review of Microorganism Removal Performance by Physiochemical Water Treatment Technologies / M. Burke et al // *Environmental Science & Technology Article ASAP*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c03459>.
10. Current microbiological challenges in drinking water / A.C. Afonso et al // *Journal of Water Process Engineering*. – 2025. – Vol. 72. – P. 107614. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107614>.
11. Emerging Technologies for the Control of Biological Contaminants in Water Treatment: A Critical Review / Rui Gao et al // *Engineering*. – 2025. – № 48(5). – P. 185-204 <https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.08.022>.
12. Effect of water treatment processes on microbial contamination in drinking water in rural areas of the urban periphery / Lan Zhang et al // *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*. – Vol 14, № 8. – P. 735
13. Wastewater Treatment in Central Asia: Treatment Alternatives for Safe Water Reuse / MS Kalmakhanova et al // *Sustainability*. – 2023. – № 15(20). – P. 14949. <https://doi.org/10.3390/su152014949>.
14. An analysis of barriers and perspectives for circular economy in industrial water use in Kazakhstan / I. Radelyuk et al // *Sustainable Water Resources Management*. – 2024. <https://doi.org/10.1007/s40899-024-01057-8>.
15. Trotta V. Risks associated with wastewater reuse in agriculture: investigating the effects of contaminants in soil, plants, and insects / V. Trotta, O. Baaloudj, M. Brienza // *Front. Environ. Sci.* – 2024. – № 12. – P. 1358842. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1358842>.
16. EXCESS AND ACTUAL INDICATORS OF WATER CONSUMPTION AND WASTEWATER DISPOSAL IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN / B. Botantaeva et al // *Water Conservation & Management*. – 2024. – Vol. 8. <https://doi.org/10.26480/wcm.03.2024.362.367>.
17. Radelyuk I. Sustainable Water Use in Industry - Reasons, Challenges, Response of Kazakhstan / I. Radelyuk, J. Klemeš, K. Tussupova // *Circular Economy and Sustainability*. – 2023. <https://doi.org/10.1007/s43615-023-00269-y>.
18. Laroussi M. Low Temperature Plasma Jet for Biomedical Applications: A Review / M. Laroussi // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2015. – № 43. – P. 703-711. <https://doi.org/10.1109/TPS.2015.2403307>.
19. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens / NN Misra et al // *Food Eng Rev*. – 2011.
20. Plasma-liquid interactions: A review and roadmap / P.J. Bruggeman et al // *Plasma Sources Science and Technology*. – 2016. – № 25(5). – Article 053002. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/25/5/053002>.
21. How Does Cold Plasma Work in Medicine?. / S. Bekeschus et al // *Textbook of Good Clinical Practice in Cold Plasma Therapy*. Springer, Cham. – 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87857-3_3.

22. Breaking the outer membrane barrier: structure, targets, and antimicrobial strategies for Gram-negative bacteria / F. Xu et al // Front. Microbiol. – 2026. – № 17. – P. 1734749. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2026.1734749>.
23. Imlay JA. Pathways of oxidative damage / JA. Imlay // Annu Rev Microbiol. – 2003. – № 57. – P. 395-418. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.57.030502.090938>. PMID: 14527285.
24. Cold Plasma Inactivation of Bacterial Biofilms and Reduction of Quorum Sensing Regulated Virulence Factors / D. Ziuzina et al // PLoS One. – 2015/ – № 10(9). – P. e0138209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138209>. PMID: 26390435; PMCID: PMC4577073.
25. Cold Plasma Inactivation of Bacterial Biofilms and Reduction of Quorum Sensing Regulated Virulence Factors / D. Ziuzina et al // PLoS One. – 2015. – № 10(9). – P. e0138209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138209>. PMID: 26390435; PMCID: PMC4577073.
26. Gram positive and Gram negative bacteria differ in their sensitivity to cold plasma / A. Mai-Prochnow // Sci Rep. – 2016. – № 6. – P. 38610. <https://doi.org/10.1038/srep38610>. PMID: 27934958; PMCID: PMC5146927.
27. WHO. Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. 2017.
28. EPA. Microbial contaminant standards for drinking water. 2018.
29. Resistance of bacterial biofilms to disinfectants: a review / A. Bridier et al // Biofouling. – 2011. – № 27(9). – P. 1017-32. <https://doi.org/10.1080/08927014.2011.626899>. PMID: 22011093.
30. Cold plasma technology: advanced and sustainable approach for wastewater treatment / P. Gururani et al // Environ Sci Pollut Res Int. – 2021. – № 28(46). – P. 65062-65082. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16741-x>. Epub 2021 Oct 7. PMID: 34617236; PMCID: PMC8494511.

Благодарность: Авторы выражают благодарность Министерству высшего образования и науки Республики Казахстан, выделившему грантовый проект ИРН:BR27199301 «Разработка климатически-нейтральных новых материалов, передовых технологий и методов для защиты окружающей среды от антропогенных загрязнений и изменения климата.»

А.Б. Джумагазиева*, **Ж.А. Искакбаева¹**, **У.Е. Жантикеев²**, **К.С. Бексеитова²**, **С. Азат²**

¹Микробиология зертханасы, «Жұқпалы ауруларға қарсы препараттар ғылыми орталығы» АҚ, 050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сәтбаев к-сі, 22А

²Satbayev University,
050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сәтбаев көш., 22

*e-mail: r_dawa@mail.ru

СУЫҚ ПЛАЗМА ӘДІСІМЕН СУДЫ ТАЗARTY: БАКТЕРИЦИДТІК ӘСЕРДІҢ ЭКСПЕРИМЕНТТІК БАҒАСЫ

Осы зерттеудің мақсаты бактериялық микрофлорамен контаминацияланған суды залалсыздандыру үшін суық плазма қондырғысының тиімділігін бағалау болды. CD Plasma эксперименттік қондырғысы өңделетін сұйықтықты алдын ала екі фазалы сұйық-газ ортасына айналдырып, оның бөлшектерін иондау арқылы суық плазма генерациялайды. Суық плазма реактивті оттегі пен азот түрлерінің, ультракүлгін сәулеленудің және зарядталған бөлшектердің синергиялық ықпалы нәтижесінде айқын антимикробтық әсер көрсетеді; бұл әсер жасуша қабырғасының тотығулық зақымдануын, мембрананың тұтастығының бұзылуын, ақуыздардың инактивтелуін және микроорганизмдер ДНҚ-сының фрагментациясын туындатады. Сынақ нысандары ретінде санитарлық-көрсеткіш және шартты-патогенді микрофлора өкілдері – *Escherichia coli* және *Pseudomonas aeruginosa* бактериялары пайдаланылды. Суық плазмамен 5 минут әсер ету екі культура үшін де микробтық ластануды едәуір төмендететіні көрсетілді, алайда бұл әсер *Pseudomonas aeruginosa* қатысты неғұрлым айқын. Алынған нәтижелер химиялық реагенттерді қолданбай бактерияларды инактивтеу тұрғысынан суық плазманың жоғары тиімділігін көрсетеді және оны суды тазарту және залалсыздандыру технологияларында қолданудың болашағын айғақтайды.

Түйін сөздер: суық плазма, суды залалсыздандыру, бактериялар, экологиялық таза технологиялар.

A.B. Zhumagazieva^{*}, Zh.A. Iskakbayeva¹, U.Ye. Zhantikeev², K.S. Bexeitova², S. Azat²

¹Laboratory of Microbiology, JSC «Scientific Center for Anti-Infective Drugs»,
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Satpayev Street, 22A

²Satbayev University,
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, 22 Satpaeva St.

*e-mail: r_dawa@mail.ru

WATER PURIFICATION BY THE COLD PLASMA METHOD: AN EXPERIMENTAL EVALUATION OF BACTERICIDAL ACTION

The aim of this study was to assess the effectiveness of a cold plasma unit for the disinfection of water contaminated with bacterial microflora. The CD Plasma experimental setup generates cold plasma by ionizing particles of the treated liquid, which is preliminarily converted into a two-phase liquid – gas medium. Cold plasma exerts a pronounced antimicrobial effect due to the synergistic influence of reactive oxygen and nitrogen species, ultraviolet radiation, and charged particles, which cause oxidative damage to the cell wall, disruption of membrane integrity, inactivation of proteins, and fragmentation of the DNA of microorganisms. As test objects, the bacteria Escherichia coli and Pseudomonas aeruginosa were used as representatives of sanitary-indicator and opportunistic microflora. It was shown that exposure to cold plasma for 5 minutes provides a significant reduction in microbial contamination with respect to both cultures, however to a greater extent with respect to Pseudomonas aeruginosa. The obtained results indicate the high effectiveness of cold plasma in the inactivation of bacteria without the use of chemical reagents and point to the prospects of its application in water treatment and disinfection technologies.

Key words: cold plasma, water disinfection, bacteria, environmentally friendly technologies.

Сведения об авторах

Ардак Бисенбаевна Джумагазиева^{*} – PhD доктор, заведующий лабораторией микробиологии АО «Научный центр противоинфекционных препаратов», Республика Казахстан; e-mail: r_dawa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8610-7321>.

Жанар Алибаевна Искакбаева – заместитель заведующего лабораторией микробиологии АО «Научный центр противоинфекционных препаратов», Республика Казахстан; e-mail: zhanara_07_74@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-0074>.

Улан Жантикеев – PhD-докторант кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатпаева, Республика Казахстан; e-mail: nurlybekov.ulana@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1200-2340>.

Калампыр Сунакбаевна Бексейтова – PhD доктор, научный сотрудник лаборатории инженерного профиля, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Республика Казахстан; e-mail: kalampyr.bexeitovas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5014-9407>.

Сейтхан Азат – профессор, руководитель лаборатории инженерного профиля, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Республика Казахстан; e-mail: s.azat@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9705-7438>.

Авторлар туралы мәліметтер

Ардак Бисенбаевна Джумагазиева^{*} – PhD, АҚ «Инфекцияға қарсы препараттар ғылыми орталығы», микробиология зертханасының меңгерушісі, Қазақстан Республикасы; e-mail: r_dawa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8610-7321>.

Жанар Алибаевна Искакбаева – микробиология зертханасы меңгерушісінің орынбасары, АҚ «Инфекцияға қарсы препараттар ғылыми орталығы», Қазақстан Республикасы; e-mail: zhanara_07_74@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-0074>.

Улан Ержанұлы Жантикеев – «Материалтану, нанотехнологиялар және инженерлік физика» кафедрасының PhD-докторанты; Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: nurlybekov.ulana@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1200-2340>.

Калампыр Сунақбайқызы Бексейтова – PhD - докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, инженерлік бейінді зертхананың ғылыми қызметкер, Республика Казахстан; e-mail: kalampyr.bexeitovas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5014-9407>.

Сейтхан Азат – профессор, инженерлік бейінді зертхананың басшысы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: s.azat@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9705-7438>.

Information about the authors

Ardak Bissenbayevna Jumagazyieva* – PhD, Head of the Microbiology Laboratory, JSC «Scientific Center for anti-infectious drugs», Republic of Kazakhstan; e-mail: r_dawa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8610-7321>.

Zhanar Alibayevna Iskakbayeva – Deputy Head of the Microbiology Laboratory JSC «Scientific Center for anti-infectious drugs», Republic of Kazakhstan; e-mail: zhanara_07_74@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-0074>.

Ulan Yerzhanuly Zhantikeyev – PhD-student of the Department of «Materials Science, Nanotechnology and Engineering Physics», Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, Republic of Kazakhstan; e-mail: nurlybekov.ulan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1200-2340>.

Kalampyr Sunakbayeva Bexeitova – PhD, researcher of the Laboratory of Engineering Profile, Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, Republic of Kazakhstan; e-mail: kalampyr.bexeitovas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5014-9407>.

Seitkhan Azat – Professor, Head of the Laboratory of Engineering Profile, Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev, Republic of Kazakhstan; e-mail: s.azat@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9705-7438>.

Поступила в редакцию 06.01.2026

Поступила после доработки 03.03.2026

Принята к публикации 05.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-78](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-78)

МРНТИ: 31.25.15



Н.Е. Жабаета^{1*}, Ш.Н. Жумагалиева¹, Ж.А. Абилов¹, А.Д. Газизов²

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби,

050040, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 71

²Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды

050060, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 75В

*e-mail: nurai_zhabaeva@mail.ru

БЕНТОНИТ И ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА: СОСТАВ, СВОЙСТВА И МЕДИЦИНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Аннотация. В статье представлен систематический обзор состава, физико-химических свойств и биологической активности бентонитовых глин, включая бентониты Таганского месторождения, а также гуминовых веществ и их применения в медицине. Актуальность работы обусловлена уникальными адсорбционными и регенеративными свойствами этих природных материалов, что определяет их перспективность в детоксикации и терапии различных патологий. Проанализированы литературные данные о минералогическом составе бентонита (преимущественно монтмориллонита), его набухающих и сорбционных характеристиках, а также о химическом составе гуминовых и фульвокислот. Рассмотрены основные направления медицинского применения: бентонитовые энтеросорбенты для коррекции острых и хронических интоксикаций и диарей, наружные лекарственные формы (гели и мази) для заживления ожогов и ран, а также нутрицевтическое и иммуномодулирующее применение гуминовых веществ. Анализ экспериментальных и клинических данных свидетельствует о синергетическом эффекте совместного использования бентонита и гуминовых комплексов, проявляющемся в повышенной сорбционной способности, пролонгированном действии и снижении токсичности. Полученные данные демонстрируют научную значимость изучения взаимодействия этих природных компонентов и их фармакологического потенциала. Практическая ценность работы заключается в обосновании перспектив разработки природных энтеросорбентов и биологически активных добавок детоксикационного действия.

Ключевые слова: бентонит, монтмориллонит, Таганское месторождение, гуминовые вещества, гуминовые кислоты, адсорбция, энтеросорбент, детоксикация.