



УДК 504.45.064.4

РЕСУРСО-ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ХЛОР-БИОЦИДНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ

© 2008. **Ляшенко Н.В., Ажгиревич А.И., Денисова А.В.**
Новочеркасская государственная мелиоративная академия
Издательский Дом «КАМЕРТОН»

Показано, что после УФ-обработки воды совместно с хлорсодержащими бактерицидами и ионами серебра (или меди) происходит увеличение антибактериальной устойчивости воды как при относительно низких, так и высоких температурах. При этом возможно снижение дозы экологически опасного хлора.

It is shown that after Uf-processing of water jointly with with hlorsoderzhashchi бактерицидами and silver ions (or copper) occur increase antibakterial'noy stability of water as at rather low, and high temperatures. The decline of dose is thus possible ecologically dangerous chlorine.

Ключевые слова: энергосбережение, ресурсосбережение, ПДК, УФ-обработка воды.

По мнению авторов [1], совершенствование технологии обеззараживания воды следует проводить путем совместного использования различных дезинфектантов как химической, так и физической природы. Указывается, что такое сочетание может обеспечить: высокий стабильный эффект обеззараживания при обработке вод разного качества, снижение риска образования вредных соединений, сохранение качества питьевой воды при ее транспортировке.

Так, при совместном действии УФ-облучения с химическими окислителями отмечено существенное увеличение скорости и уровня инактивации бактерий по сравнению с действием каждого из бактерицидов в отдельности [2]. В частности, указывается [3], что совместная обработка воды озоном и УФ-лучами увеличивает на 3 – 10 порядков скорость реакции окисления нефтепродуктов, фенолов, пестицидов, по сравнению с озоном. Согласно [4], этот феномен объясняется генерацией в обрабатываемой воде свободных радикалов, которые являются более мощными окислителями (их окислительный потенциал равен 2,8 В, в то время как у озона он составляет 2,07 В, а у хлора ~ 1,5 В). Таким образом, речь идет по сути об активированных окислительных технологиях [5]. Впервые на возможность их реализации указал академик Н.Н. Семенов, высказавший идею жидкофазного цепного окисления примесей воды радикалом ОН.

Указанные технологии по сравнению с традиционными методами химико-биоцидной обработки воды, характеризуясь более высокой эффективностью при меньших затратах, обладают достаточной гибкостью, что позволяет относительно легко включить их в существующие технологические схемы обеззараживания.

В этой связи вызывает практический интерес (с позиций экологической безопасности и экономии дезинфектантов) сочетание УФ-облучения с хлорированием. Как указывается в работах [6], при этом возможно снизить концентрацию хлора в воде и используемые дозы УФ-излучения.

Авторы работ [7] рекомендуют вводить небольшие количества хлора в обрабатываемую УФ-лучами воду для обеспечения антибактериальной устойчивости последней.

По схеме «ультрафиолет – молекулярный хлор» функционируют очистные сооружения в США, использующие воду р.Миссури [7]. При этом хлор вводится в дозе 1 мг/л. Аналогичная схема апробирована в Англии, на р.Темза, где для предотвращения биообрастания труб также применяется хлор. При производительности по воде 55 тыс. м³/сут доза УФ-излучения составляет 20 мДж/см² [8]. На очистных сооружениях одного из районов г.Тольятти производительностью около 400 тыс. м³/сут перед смесителем в воду периодически (с апреля по октябрь) вводится хлор дозами 0,5 – 1,5 мг/л. Для более эффективного обеззараживания также подается хлор перед резервуарами чистой воды [9].



Согласно [10], сочетание УФ-лучей и хлора в оборотной системе водоснабжения способствует достижению высокого обеззараживающего эффекта в отношении споровых и хлорустойчивых форм бактерий и вирусов, при этом расход хлора снижается в 2 – 3 раза, а эксплуатация хлораторной установки существенно упрощается. СанПиН 2.1.2.568-96 «Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды в плавательных бассейнов» рекомендуют совместное использование УФ-излучения и хлорирования, в частности, для детских бассейнов. При этом возможно снижение допустимого общего содержания остаточного хлора с 0,8 – 1,2 до 0,3 мг/л.

Без сомнения, введение хлора после УФ-обработки воды обеспечивает её более длительную устойчивость к повторному бактериальному заражению. Однако, следует учитывать те проблемы, которые приносит с собой хлорирование и на что указывается в работах [1-3]. Например в работе [11] подчеркивается, что имеющее место в ряде бассейнов периодическое введение хлора приводит к раздражению слизистых оболочек глаз и носа, возникновению аллергических реакций и ухудшению самочувствия купающихся.

На международном конгрессе озоновых и ультрафиолетовых технологий (август 2007 г., г.Лос-Анджелес, США) был представлен обзор методов дезинфекции, применяемых в этой стране на этапе окончательного обеззараживания перед подачей воды в сеть [12]. Из него следует, что УФ-облучение используется в основном в сочетании с хлорированием (21%) и озонированием (0,2% случаев).

Помимо молекулярного хлора, ряд исследователей сообщают о перспективности сочетания УФ-обработки с другими хлорсодержащими препаратами, например, хлораминами [9] и гипохлоритом натрия [9, 11, 13]. Так, сочетание УФ с хлораминами в качестве вторичного обеззараживания применено в системе водоподготовки г.Хельсинки производительностью 300 тыс. м³/сут. [9]. Сообщается, что, наряду с обеспечением эффекта бактерицидного последствия, разрушается биопленка в трубопроводах. Однако, следует отметить в качестве недостатков необходимость организации специального реагентного хозяйства (хлор, аммиак), сложность технологической схемы, включающей приготовление растворов хлораминов и, естественно, эколого-гигиенические проблемы, обусловленные работой с вышеуказанными опасными веществами.

Ряд исследователей [9, 14] считают комбинацию «гипохлорит натрия – УФ-лучи» более перспективной: повышается эффект обеззараживания, снижается количество вторичных продуктов хлорирования. Сообщается [9], что в г.Среднеуральске запущена в эксплуатацию установка по подготовке воды из местного водохранилища производительностью 3600 м³/ч, где в качестве вторичного дезинфектанта использован гипохлорит натрия.

В 2006 г. в Канаде в системе питьевого водоснабжения г. Корневол введена в эксплуатацию система глубокого окисления на основе технологии H₂O₂ + УФ. Для предотвращения обрастания микрофильтров после решеток в воду добавляется гипохлорит натрия дозой 2 – 3 мг/л (производительностью 264950 м³/сут) [12].

В последние годы ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» реализована комплексная система обеззараживания питьевой воды, включающая в себя замену жидкого хлора гипохлоритом натрия и внедрение технологии УФ- облучения [15]. В результате был осуществлен крупнейший в мире проект УФ-комплекса для обеззараживания питьевой воды Санкт-Петербурга и его пригородов с максимальной суммарной производительностью более 5,5 млн. м³/сут.

Вышеизложенное свидетельствует о резком расширении области применения УФ-облучения, во всех развитых странах мира оно уверенно вытесняет хлорирование в процессе водоснабжения и водоотведения [16]. Основной причиной этого является необходимость обеспечения надежного обеззараживания в отношении устойчивых к хлору микроорганизмов: вирусов и цист простейших. Недостаточная эффективность традиционно используемой схемы обеззараживания хлорированием чаще всего проявляется неудовлетворительными пробами по содержанию колифагов. Согласно [17], колифаги, как и вирусы вообще устойчивы к воздействию соединений хлора, однако весьма чувствительны к УФ-облучению.

Ряд появившихся в последнее время работ [18, 19] подтверждают ранее имевшее место утверждение, что эффективность УФ-облучения воды возрастает при его сочетании с ионами некоторых



металлов, в частности, меди. При этом возможно, как в частности вытекает из результатов исследований [19], некоторое снижение электроэнергии на генерацию УФ-лучей.

В данном разделе с учетом ранее выполненных нами экспериментов (глава 3) и выше рассмотренных литературных источников обосновывается возможность ресурсо- и энергосбережения химико-биоцидных технологий сочетанием дезинфектантов различной природы.

Как известно, после прекращения УФ-облучения вода вновь может подвергнуться бактериальному загрязнению. Выходом из этого положения считают проведение хлорирования (молекулярным хлором или гипохлоритом натрия), например перед распределительными сетями. Тем самым приходится расходовать дополнительное количество экологически опасного дезинфектанта.

Отталкиваясь от результатов предыдущей главы, нами проведены исследования с целью сокращения расходов последнего. Заявленная цель может быть достигнута сочетанием финишного хлорирования с введением ионов серебра или меди.

Для опытов была взята предварительно простерилизованная кипячением природная вода из р. Аксай. В нее были внесены тест-организмы *E.coli* в количестве 10^3 кл/см³. Воздействием УФ-облучения (дозой 24 мДж/см²) вода была полностью обеззаражена, после чего ее разделили на 5 частей, которые были перенесены в чашки Петри. Одна проба осталась на контроле, во вторую внесен раствор гипохлорита натрия (из расчета 1,5 мг/л активного хлора), в третью – хлорная вода аналогичной концентрации (по активному хлору), в четвертую – растворы NaClO (из расчета 0,8 мг/л активного хлора) и Ag₂SO₄ (из расчета 0,003 мгAg⁺/л), в пятую – хлорная вода с концентрацией 0,8 мг/л активного хлора и ранее указанное количество Ag₂SO₄. Испытываемые пробы воды выдерживались при 15°C (отклонения $\pm 0,5$ °C) с открытым зеркалом воды. Анализ выживаемости тест-организмов (в 3-кратной повторности) проводился через 1-2 суток. Часть полученных (для проб с хлорной водой) результатов представлены на рис. 1.

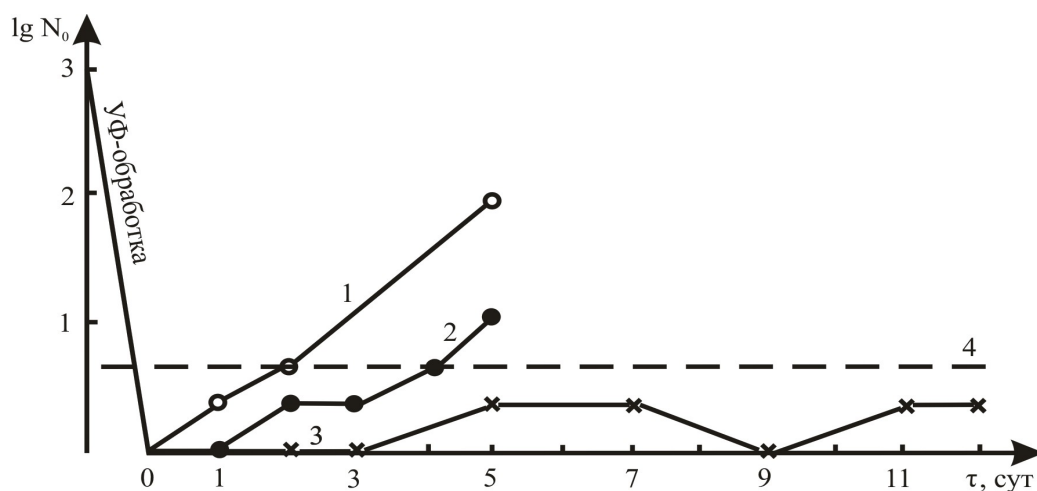


Рис. 1. Антибактериальная устойчивость воды, прошедшей: 1 - УФ-обработку; 2 - УФ-обработку и введение хлора (1,5 мг/л активного хлора); 3 - УФ-обработку и последующее введение хлора (0,8 мг/л) и Ag₂SO₄ (из расчета 0,001 мгAg⁺/л); 4 - санитарно-безопасная вода (коли-индекс ≤ 3)

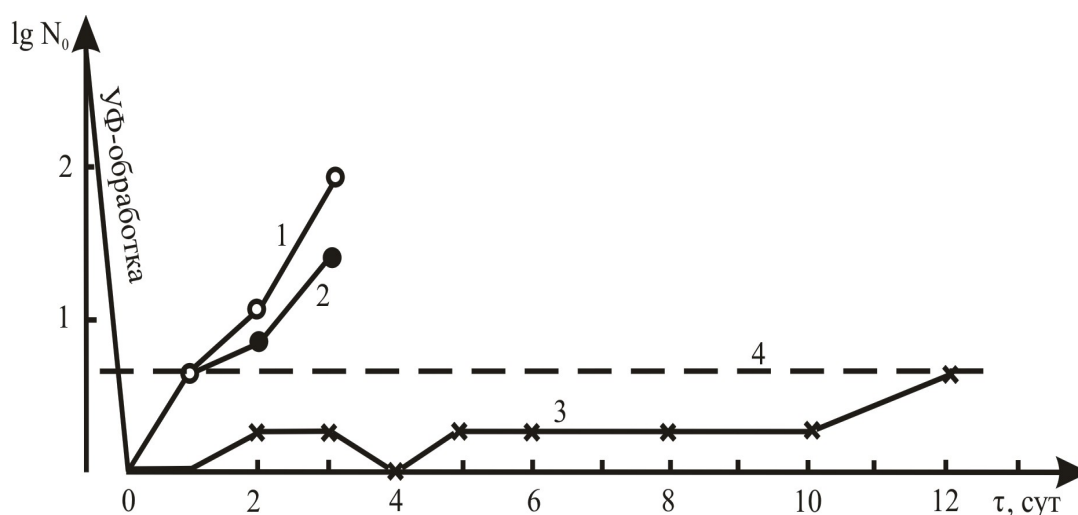


Рис. 2. Антибактериальная устойчивость воды при 35°C (обозначения аналогично рис.4.1)

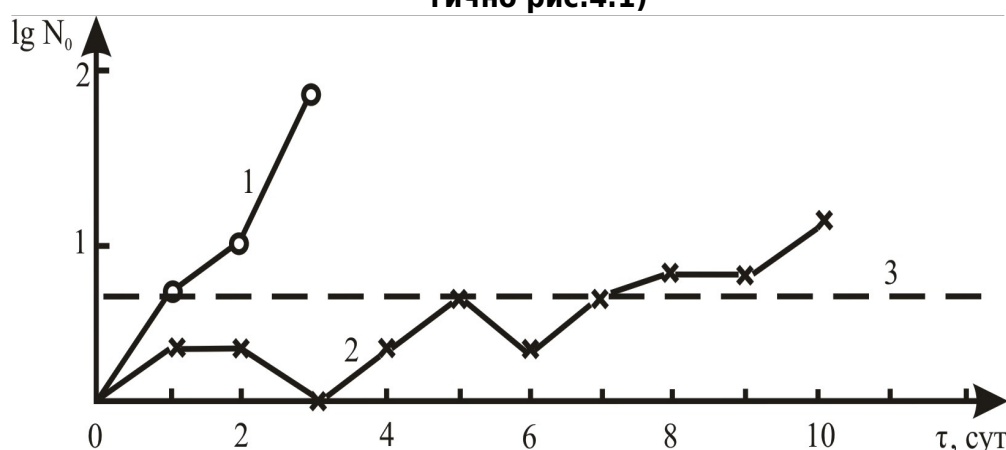


Рис. 3. Антибактериальная устойчивость воды при 35 °С, прошедшей обработку УФ-лучами с последующим введением: 1,5 мг/л хлора (1) и 0,75 мг/л хлора + 0,1 мг Cu^{2+} /л (2); 3 - коли-индекс ≤ 3

Как следует из полученных данных, вода, обработанная УФ-лучами, уже через 2 суток теряет свою санитарную безопасность (кривая 1). Вода, в которую после УФ-обработки, ввели хлорную воду, оставалась санитарно-безопасной в течение 4 суток, а содержащая, наряду с хлором (но почти в 2 раза меньшим по количеству) ионы серебра, сохраняла свою антибактериальную устойчивость 12 суток. Аналогичные по характеру результаты были получены и в отношении антибактериальной устойчивости проб воды, содержащей вышеуказанное количество гипохлорита натрия.

В практическом отношении было целесообразно повторить эксперимент при повышенных температурах. При этом обработку воды УФ-лучами, введение химических дезинфектантов проводили аналогично предыдущей серии опытов (при 15°C), после чего температуру незамедлительно подняли до 35°C и поддерживали ее в дальнейшем с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Результаты экспериментов представлены на рис.2.

Как следует из полученных данных, антибактериальная устойчивость воды, обработанной только УФ-лучами (кривая 1) и содержащей 1,5 мг/л активного хлора (кривая 2), с увеличением температуры с 15 до 35°C существенно снизилась: уже через сутки обе пробы воды потеряли свою санитарную безопасность. Это можно объяснить тем, что при 35°C с одной стороны активизируется жизнедеятельность микроорганизмов, а с другой – теряется бактерицидная активность хлора (улетучивание части



его, гидролиз другой). Напротив, вода, которая содержала ионы серебра (кривая 3), осталась в санитарно-безопасном состоянии более длительное время. Что можно объяснить благоприятными условиями для существования серебра в наиболее бактерицидном состоянии – ионном.

Таким образом, использование после УФ-обработки воды смеси хлорсодержащих препаратов и ионов серебра с целью повышения времени ее сохранности в санитарно-эпидемиологическом отношении позволяет (наряду с ее достижением) существенно снижать дозу хлора. Так, при обработке по указанному алгоритму 1 млн. м³ воды, введение в нее ~1,45 кг Ag₂SO₄ (эквивалентно 1 кг ионов серебра) предотвратит попадание в воду около 700 кг активного хлора. Исследования по изучению возможности снижения дозы хлора, используемого для обеспечения антибактериальной устойчивости воды, которая прошла предварительную УФ-обработку, посредством введения ионов меди также были выполнены при температурах инфицированной воды 15° и 35 °С. Концентрации хлора составляли 1,5 и 0,75 мг/л, ионов меди (из CuSO₄) – 0,1 мг/л. Часть полученных результатов приведена на рис.3.

Анализ полученных данных также подтверждает возможность увеличения антибактериальной устойчивости облученной воды при меньших дозах хлора, если финишное обеззараживание сочетать с введением ионов меди даже с концентрацией на порядок ниже их ПДК. Указанная закономерность имеет место как при относительно низкой (15°С), так и относительно высокой (35°С) температурах. Применительно к ранее рассмотренному объему воды (1 млн. м³) это означает введение в нее ~ 400 кг CuSO₄·5H₂O (содержат 100 кг Cu²⁺), что предотвращает использование 750 кг активного хлора.

На основании изучения литературных данных, в частности [13, 20, 21, 18, 19], проведено сопоставление по наиболее важным показателям процессов биоцидной обработки воды хлором и ионами серебра (табл.1).

Таблица 1

Сопоставление различных методов биоцидной обработки воды

№ п п	Показатели процесса	Процесс		
		хлорирования	Ионами	
			Ag ⁺	Cu ²⁺
1	Улучшение органолептических показателей воды:			
	1.1 вкус	да	да	Отчасти
	1.2 запах	нет	да	Да
	1.3 цвет	да	да	Да
2	Санитарно-гигиенические:			
	2.1 возможность образования токсических и мутагенных веществ в обрабатываемой воде	да	нет	Нет
	2.2 возможность повторного бактериального загрязнения после прекращения воздействия дезинфектанта	да (через 1-2 сут.)	нет	Нет
	2.3 появление полезных ингредиентов в обработанной воде (микроэлементов)	нет	да	Да
3	Образование отходов:			
	3.1 газообразные	да	нет	нет
	3.2 жидкие	нет	нет	нет
	3.3 твердые	нет	нет	нет
4	Уровень угрозы для населения при транспортировке, эксплуатации, аварии (теракте)	высокий	отсутствует	
5	Вероятность пожарной опасности	да	низкая	
6	Опасность для обслуживающего персонала:			
	6.1 вредные химические вещества в рабочей зоне	да	нет	нет
	6.2 вредные излучения	нет	нет	нет
	6.3 высокое электрическое напряжение	да	нет	нет
7	Технико-экономические:			



	7.1 удельная бактерицидная активность	высокая	весьма высокая	относительно высокая
	7.2 дефицитность (доступность) готовой формы препарата (при отсутствии финансовых проблем)	да	нет	нет
	7.3 уровень сложности технологической схемы, потребность в спецоборудовании	высокий, да	низкий	
			нет	нет
	7.4 возможность полной автоматизации процесса	нет	да	да
	7.5 необходимость подъездных путей для подвоза препарата или вспомогательных материалов	да	нет	нет
	7.6 потребность в складских помещениях для реагентов	да	отсутствует	
	7.7 стоимость основного компонента на единицу обеззараживаемого объекта	относит. высокая	очень высокая	относит. высокая
	7.8 энергетические затраты на единицу объема обеззараживаемой жидкости	высокие	относительно низкие	
	7.9 потребность в дополнительном штате обслуживающего персонала	да	отсутствует	
	7.10 необходимость в предварительной механической или химической водоподготовке	всегда	иногда (при высокой мутности)	
	7.11 возможность работы в широком диапазоне температур, в т.ч. при высоких ее значениях (30-40 °C и более)	снижение эффективности с ростом температуры	повышение эффективности с ростом температуры	
	7.12 применимость для обеззараживания различных объемов воды:			
	-малых	нецелесообразно	да	
	-средних	да	не всегда	
	-больших	особенно	нецелесообразно	

Критический анализ методов хлорирования и осеребрения показывает, что каждый из них характеризуется как существенными достоинствами, так и серьезными недостатками. Взятые по отдельности, они не отвечают в полной мере сформулированному в работе [18] критерию выбора бактерицидного препарата для систем централизованного водоснабжения: "улучшение качества воды при минимизации экологического вреда, экономических затрат и социальных издержек". В то же время сочетание указанных дезинфектантов может дать, по нашему мнению, новый импульс в развитии технологий обеззараживания питьевой воды с позиций указанного критерия.

Впервые на целесообразность хлорсеребряного метода обеззараживания воды указали Л.А. Кульский с сотр. [22]. Применение метода в плавательном бассейне позволило, как сообщают авторы, при небольших концентрациях серебра (0,1 – 0,2 мг/л) и остаточного хлора (0,3 – 0,4 мг/л) обеспечить хороший бактерицидный эффект и длительное сохранение воды в бассейне, несмотря на многократное инфицирование ее кишечными бактериями. Однако следует отметить при этом, что рекомендованные концентрации ионов серебра, в 2-4 раза превышающие установленную для них ПДК, не могут быть экономически приемлемыми в процессах обеззараживания питьевой воды.

Для исследований совместного действия ультрафиолетовых лучей и ионов серебра (I) была поставлена серия экспериментов.



В предварительно стерилизованную кипячением природную воду р. Аксай вносили тест-организмы *E.coli* из расчета 10^6 кл/см³. Далее в соответствии с рекомендациями [19] инфицированную воду разделили на 8 частей. В первую пробу воды внесли Ag_2SO_4 из расчета 0,005 мг Ag^+ /л, вторую – обработали УФ-лучами с периодическим отбором воды на бактериологический анализ.

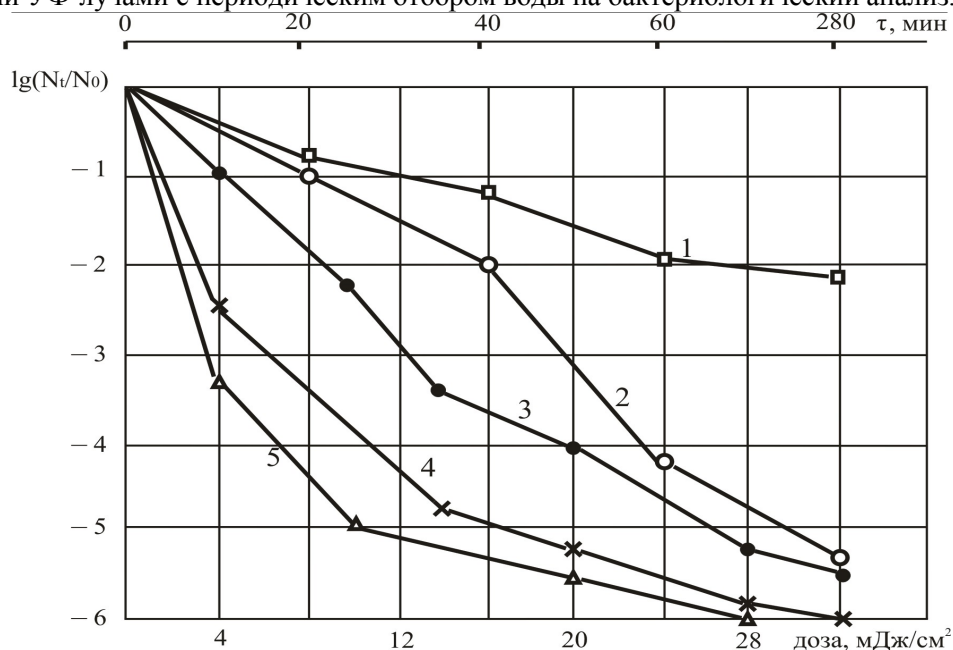


Рис. 4. Индивидуальная бактериальная активность ионов серебра (1), УФ-лучей (2) и их сочетанная (3 - 5): 3 - время экспозиции 0,5 ч; 4 - 1,0 ч; 5 - 2,0 ч

Другие пробы инфицированной воды вначале подвергали обработке УФ-лучами с определенной дозой (4; 10; 14; 20; 28 и 32 мДж/см²), после чего отключали генератор и в облученную воду немедленно вводили раствор Ag_2SO_4 с указанной концентрацией по Ag^+ . По истечении определенного времени экспозиции (0,5; 1,0 и 2,0 ч) анализировали число выживших тест-организмов. Результаты экспериментов (после их обработки) показаны на рис.4; укажем при этом, что координата времени построена с целью оценки бактерицидной активности только ионов серебра.

Согласно анализу полученных данных, последовательное использование УФ-лучей и ионов серебра (на порядок ниже ПДК) позволяет в значительной степени увеличить глубину обеззараживания. При этом, что важно с практической точки зрения, возможно и снижение дозы облучения.

Например, глубина обеззараживания, соответствующая $\lg N_t/N_0 = -5$ (снижение числа организмов на 5 порядков от первоначального), достигается при воздействии УФ-лучей с дозой ~ 28 мДж/см² (кривая 2). Согласно исследованиям, аналогичный эффект может быть достигнут при меньшей дозе УФ-облучения (20 мДж/см²), если в облученную воду внести ионы серебра с последующей выдержкой 1 ч (кривая 4).

Как в теоретическом, так и в практическом отношении интересно изучение одновременного бактерицидного воздействия УФ-облучения и ионов серебра. Однако, поскольку активность УФ-лучей более значительна, нежели ионов серебра (рис.4, кривые 1 и 2), с учетом рекомендаций [18], эксперименты проводили в сопоставимом интервале времени, по окончании которого в пробах инфицированной воды, подвергнутых только УФ-обработке (в течение 24 мин), анализировались живые тест-организмы.

Согласно полученным данным (рис.5), одновременное, хотя и кратковременное (~ 24 мин), воздействие УФ-лучей и ионов серебра на тест-организмы позволяет заметно (на $0,5 \div 1$ порядка) уве-



личить конечную глубину обеззараживания. При этом результаты статистической обработки указывают на появление синергетического эффекта.

Аналогичным образом, хотя и в меньшей степени, проявляется эффективность совместного бактерицидного воздействия УФ-лучей и ионов меди ($0,1 \text{ мг/л}$, из $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). При этом для более корректного сопоставления результатов время индивидуального облучения и совместного воздействия УФ-лучей и ионов меди выбрали одинаковым (30 – 35 мин), а дозу облучения меньшей – 20 мДж/см^2 . Последним обеспечивалось «затягивание» процесса инактивации посредством УФ-обработки. Результаты представлены на рис.6.

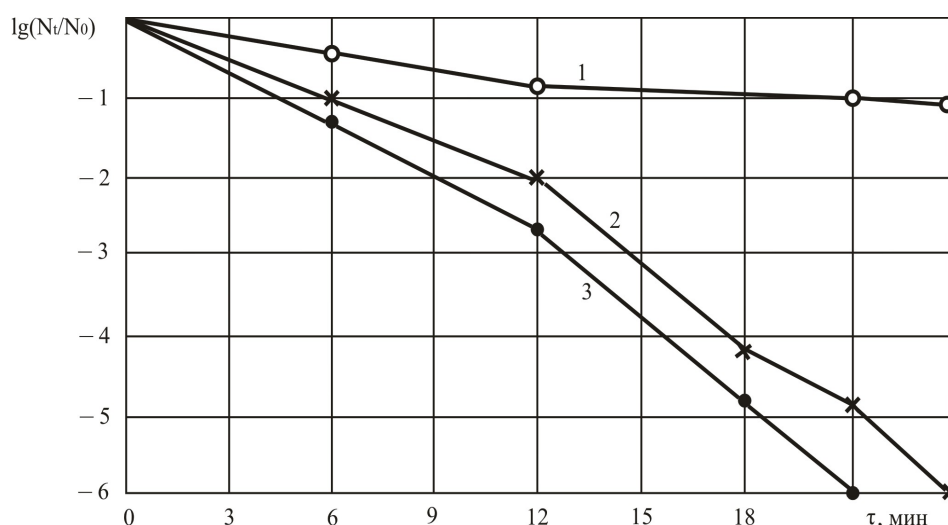


Рис. 5. Бактерицидный эффект: индивидуально ионов серебра (1), УФ-облучения (2) и совместный (3)

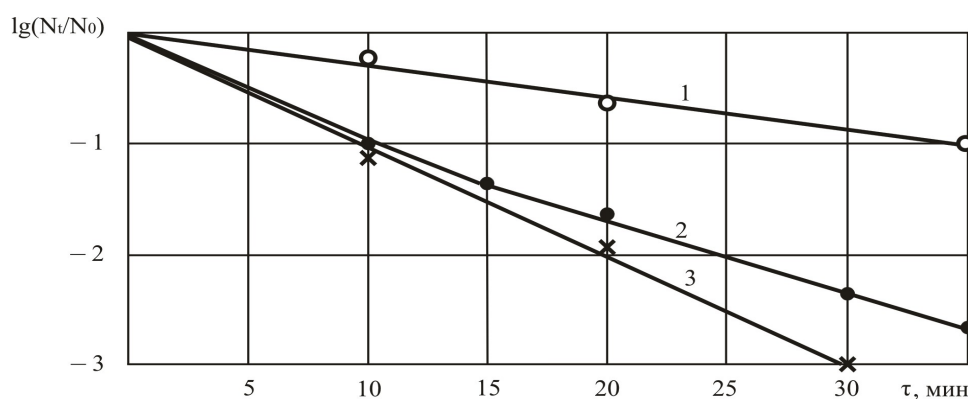


Рис. 6. Бактерицидный эффект: индивидуально ионов меди (1), индивидуально УФ-лучей (2) и совместный (3)

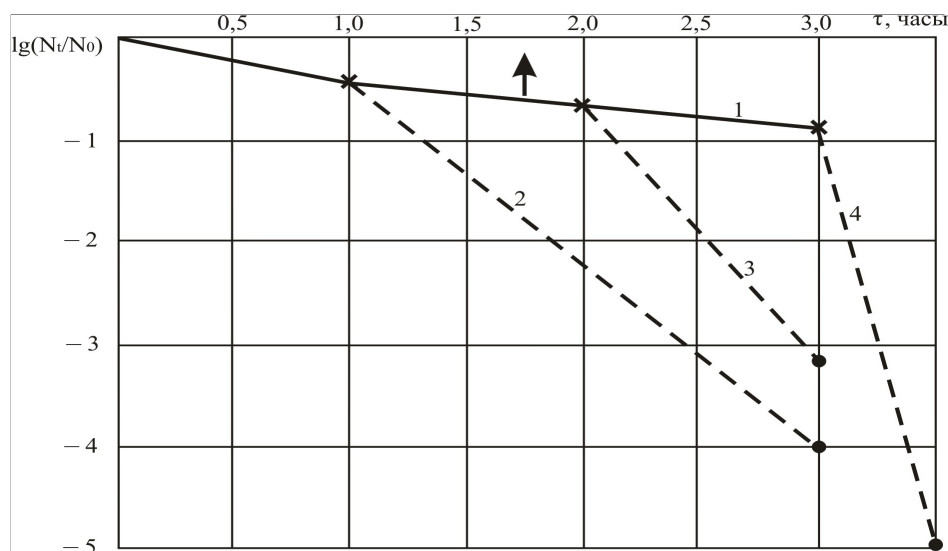


Рис. 7. Последовательное: через 1 ч (2), 2 ч (3) и 3 ч (4) облучение инфицированной воды, содержащей Cu^{2+} (1)

Результаты, отраженные на рис. 4-6, указывают на то, что УФ-лучи и Ag^+ (Cu^{2+}), воздействуя на инфицированную воду, «помогают» друг другу: например, указанные ионы уничтожают одну часть тест-организмов и ослабляют другую, облегчая тем самым последующее бактерицидное действие ультрафиолета. При этом высокий обеззараживающий эффект сочетанного действия достигается при меньших дозах последнего, что дает выигрыш в энергозатратах на генерацию УФ-лучей.

В связи с вышеизложенным представляет практический интерес ответ на вопрос: когда наиболее эффективно вводить бактерицидные ионы? В частности, указанный вопрос правомочен в тех случаях, когда расстояние от водозабора до бактерицидной установки значительно.

С целью ответа на данный вопрос был поставлен специальный эксперимент. В инфицированную воду с температурой 20°C вводили сульфат меди (из расчета $0,1 \text{ мг } \text{Cu}^{2+}/\text{л}$), далее ее разделили на 4 части. Одну оставили в качестве контрольной, вторую после 1 ч экспозиции подвергли УФ-обеззараживанию в течение 15 мин дозой 24 мДж/см^2 , третью и четвертую подвергли аналогичной операции, но после 2 и 3 ч экспозиции соответственно. Результаты после соответствующей обработки представлены на рис.7.

Как следует из полученных данных и их интерпретации, при осуществлении последовательной обработки инфицированной воды вначале ионами меди и далее (через определенное время) ультрафиолетом появляется возможность существенного повышения эффективности биоцидной обработки воды при одновременном снижении энергозатрат.

Выводы:

1. Использование после УФ-обработки воды совместно с хлорсодержащих бактерицидов (хлора или гипохлорита натрия) и ионов серебра (или меди) способствует пролонгации ее антибактериальной устойчивости как при относительно низких, так и относительно высоких температурах. При этом возможно снижение дозы экологического опасного хлора.

2. Проведено сопоставление по различным показателям технологий обеззараживания воды молекулярным хлором и ионами серебра (меди). Показано, что одновременное применение указанных дезинфектантов, позволяя интенсифицировать процесс инактивации тест-организмов (благодаря взаимной нейтрализации части присущих им недостатков), может служить основой для создания активированных бактерицидных технологий в процессах водоподготовки.



3. Совместное воздействие на инфицированную воду УФ-лучей и ионов серебра (меди), взятых в концентрациях ниже ПДК, приводит в ряде случаев к появлению синергидного бактерицидного эффекта. При последовательной обработке инфицированной воды вначале ионами меди и далее (через 1 – 3 ч) УФ-лучами имеет место существенное повышение бактерицидной эффективности при одновременном снижении дозы ультрафиолета.

Библиографический список

1. Медриш Г.Л., Русанова Н.А. К вопросу о совершенствовании технологии обеззараживания воды // Материалы междунар. конгресса “Вода: экология и технология”. – М., 2000. – С. 380.
2. Francis P., Gothard A., Redhead K. Disinfection with depyrogenation and removal of organics // Uoint CSCE – ASCE Nat. conf. Environ. Eng. (Vancouver, Uuly 13-15, 1998). – Montreal, 1998. – P. 456-463.
3. Журба М.Г., Говорова Ж.М., Жаворонкова В.И. и др. Очистка цветных маломутных вод, содержащих антропогенные примеси // Водоснабжение и сан. техника. – 1997. – № 6. – С. 3-6.
4. Holdsworth T.T., Shaul C.M. Ozone / Light Treatment of Dithiocarbonate Pesticides // US/RU Seminar of Advance in Water and Wash Water Treatment and Slugh and Hasorfont W. Manep. – Oct., 1992, Cincinati, Ohio.
5. Сотниченко С.А., Флоровский К.Л., Панченко Р.К. Современные активированные окислительные технологии: критерии выбора и оптимизации в создании приборов нового поколения / Материалы междунар. конгресса “Вода: экология и технология”. – М., 2000. – С. 576-577.
6. Sobotka I. Application of bioindicator for scientific research of water disinfection / Agua. – 1986. – № 6. – P. 318-320.
7. UV Light Disinfection technology in Drinking water Application: US EPA. – 1996. – P. 411-416.
8. World’s Langes potable water UV plant for Tames Water // Water services. – 1997. – № 10-96.
9. Костюченко С.В., Волков С.В., Якименко и др. УФ-излучение для обеззараживания питьевой воды из поверхностных источников // Водоснабжение и сан. техника. – 2000. – № 2. – С. 12-16.
10. Sobotka V., Krysznafir B. Biochemical changes during Ultraviolet disinfection // Effluent and water Treatment Journal. – 1984. – V. 20. – № 8. – P. 3-4.
11. Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Новиков Ю.В. и др. Обеззараживание воды плавательных бассейнов с использованием УФ-облучения // Водоснабжение и сан. техника. – 2000. – № 2. С. 21-22.
12. Богомолов М.В., Коверга А.В., Волков С.В. и др. Международный конгресс озоновых и ультрафиолетовых технологий в лос-Анджелесе // Водоснабжение и сан. техника. – 2008. - № 4. С. 47-53.
13. Кульский Л.А., Гребенюк В.Д., Савлук О.С. Электрохимия в процессах очистки воды. – Киев: Техника, 1987. – 220 с.
14. Терентьев В.И., Лопатин С.Ф., Раевский К.К. Некоторые направления совершенствования технологии обеззараживания воды хозяйственнопитьевого назначения в Северо-Западном регионе // Материалы междунар. конгресса “Вода: экология и технология”. – М., 2000. – С. 425-426.
15. Кармазинов Ф.В., Кинебас А.К., Костюченко С.В. Крупнейшая в мире система УФ-обеззараживания питьевой воды в Санкт-Петербурге // Водоснабжение и сан. техника. – 2008. - № 4. С. 7-12.
16. Кудрявцев Н.Н., Костюченко С.В., Зайцева С.Г. Схемы применения ультрафиолетового обеззараживания водоснабжения // Водоснабжение и сан. техника. – 2008. - № 4. – С. 23-27.
17. Онищенко Г.Г. Эффективное обеззараживание воды – основа профилактики инфекционных заболеваний // Водоснабжение и сан. техника. – 2005. – № 12. ч 1. _
18. Гутенев В.В. Бактерицидные технологии повышения безопасности систем питьевого водоснабжения. Дис... д-ра техн. наук. – Н. Новгород, 2004. – 447 с. _
19. Ажигиревич А.И. Интенсификация УФ-технологии обеззараживания воды для локализации негативных воздействий систем водоснабжения на окружающую среду: Дисс... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2002. – 149 с. _
20. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. – Киев: Наукова думка, 1991. – 586 с. _
21. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Проектирование систем и сооружений. – В 3-х т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2004. _
22. Кульский Л.А. Серебряная вода. – Киев.: Наукова думка, 1968. – 114 с.