



Москва

Тел./Факс: 8 (800) 100-123-7 (Звонки по России бесплатно);

+7 (495) 617-19 -45, -46, -47, -48; +7(499) 795-77-86

E-mail: [svarog@svarog-uv.ru](mailto:svarog@svarog-uv.ru)

## **Применение ультрафиолетового излучения совместно с физическими процессами для дезинфекции сырой воды в небольших населенных пунктах.**

Стандарт качества питьевой воды предполагает, что она не может представлять опасность для здоровья людей. Вода может содержать как химические, так и микробиологические загрязняющие вещества, удаляемые дезинфекцией. Представляется, что для потребляемой и сточной воды потенциальной альтернативой дезинфекции химическими веществами, такими как хлор, может служить применение для этих целей ультрафиолетового излучения. Тот факт, что бактерицидное ультрафиолетовое излучение не образует нежелательных побочных продуктов и является эффективным средством инактивации большого числа микроорганизмов, обусловил повышенный интерес к ультрафиолетовому излучению в качестве средства дезинфекции потребляемой и сточной воды.

Множество патогенных микроорганизмов, в особенности спорообразующие бактерии и микроорганизмы, имеющие инкапсулированную конструкцию, такие как *Cryptosporidium* и *Giardia*, гораздо более устойчивы к дезинфекции хлором, чем организмы, обычно используемые в качестве индикаторных. Предполагалось, что единственным эффективным средством удаления *Cryptosporidium* из систем водоснабжения является фильтрация. Но в настоящее время озон и ультрафиолетовое излучение рассматриваются в качестве прекрасных альтернативных средств инактивации присутствующих в воде ооцист, способных заменить множество систем дезинфекции, основанных на применении хлора. Так, очень немногие предприятия водообработки в Южной Африке оборудованы озонаторами, что связано с высокой стоимостью установки и эксплуатации этих систем, поэтому на большинстве предприятий водообработки для дезинфекции питьевой воды используются почти исключительно системы с применением хлора и хлорамина.

Устойчивые к хлору энтеровирусы эффективно инактивируются дозами ультрафиолетового излучения порядка 25 мВт с/см<sup>2</sup>. Найдено, что для уменьшения на 90% степени эксцистации микроорганизмов *Cryptosporidium parvum* необходимы дозы 80 мВт с/см<sup>2</sup>, а для уменьшения этого показателя на 99% - 120 мВт с/см<sup>2</sup>. В работе (Bukhari и др., 1999) показано, что для достижения степени инактивации *Cryptosporidium parvum*, соответствующей показателю 4 по логарифмической шкале, достаточно дозы 41 мВт с/см<sup>2</sup>, а для инактивации ооцист *Cryptosporidium* в соответствии с показателем 3.9 по логарифмической шкале необходима доза 19 мВт с/см<sup>2</sup>. В работе (Mofidi и др., 2001) показано, что для инактивации вызывающих инфекции *Cryptosporidium parvum* в соответствии с логарифмическим показателем 2 (на 99%) требуется доза 11 мВт с/см<sup>2</sup>. В работе (Clancy и др., 2000) показано, что небольшая доза 3 мВт с/см<sup>2</sup> ультрафиолетового излучения среднего давления способна инактивировать ооцисты *Cryptosporidium* с логарифмическим показателем 3.4. Показано также, что при инактивации ооцист *Cryptosporidium* нет большой разницы в степени эффективности ультрафиолетовых ламп малого и среднего давления.

Другим стоящим рассмотрению альтернативным методом дезинфекции воды является применение процессов ускоренного окисления. Такие процессы предусматривают формирование промежуточных соединений химически высокоактивных свободных радикалов, например, гидроксильных радикалов. Применение процессов ускоренного окисления особенно выгодно на стадиях предварительной обработки и в качестве дополнения к другим процессам водообработки.

Целью данного исследования является определение воздействия ультрафиолетового излучения, кавитационных потоков и ультразвука - как по отдельности, так и в комбинации друг с другом - на протозойные цисты и ооцисты, спорообразующие организмы и бактериофаги. Все эти организмы обычно присутствуют в сырой воде, которой пользуются в сельской местности. Исследование проводилось для двух типов воды, а именно для сырой загрязненной воды реки Клип, в которую сливаются очищенные стоки из промышленной зоны, и для воды из обычного предприятия водообработки, обрабатывающего воду из незагрязненной реки.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.



В данном проекте применялась система "Лазурь М-3К" (рис. 1). Эта система состоит из трех основных частей, которые могут использоваться отдельно или в комбинации друг с другом: гидродинамический кавитационный блок, ультрафиолетовая лампа и ультразвуковой генератор.

(рис. 1). Система "Лазурь М-3К"

Показанное на (рис. 1) оборудование применяется для обработки открытой воды, содержащей различные микроорганизмы, при помощи гидродинамической кавитации, ультразвука и ультрафиолетового излучения. Вода из емкости перекачивается через блоки водообработки. Благодаря рециркуляции и регулированию расхода воды насосом и трубопроводной системой, расход может контролироваться в пределах 0-4 м<sup>3</sup>/ч. Вторым насосом использовался для прокачивания воды через контрольный картридж, в котором удерживаются ооцисты, поступающие из вторичной сборной емкости. При помощи селективного отключения или удаления одного или нескольких блоков может быть обеспечена любая конфигурация из трех блоков водообработки. Для получения воспроизводимых результатов все эксперименты повторялись шесть раз. Применявшиеся рабочие условия представлены в табл. 1. В ходе каждого эксперимента интенсивность ультрафиолетового излучения измерялась портативным устройством измерения плотности потока ультрафиолетового излучения.

**Таблица 1.** Рабочие условия системы "Лазурь М-3К".

<b>Расход</b>	<b>3 м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>2 м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>1 м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>0.5 м<sup>3</sup>/ч</b>
<b>Давление</b>	<b>3 бар</b>			
<b>Время обработки</b>	<b>0.75 с</b>	<b>1.13 с</b>	<b>2.25 с</b>	<b>5.52 с</b>
<b>Доза УФ - излучения</b>	<b>7.87 мВ с/см<sup>2</sup></b>	<b>11.97 мВ с/см<sup>2</sup></b>	<b>23.93 мВ с/см<sup>2</sup></b>	<b>47.86 мВ с/см<sup>2</sup></b>

В качестве параметров биологического качества воды рассматривались:

- количество стандартных пластин (СПС) при 22 и 37 °С (CFU / мл ),
- общая концентрация колиформ (ТС) (ТС /100 мл),
- концентрация фекальных колиформ (FC) (FC /100 мл),
- концентрация бактериофагов (PFU / Юмл),
- концентрация уничтожающих сульфиты микроорганизмов clostridium (CFU /100 мл),
- содержание Giardia и Cryptosporidium.

Собранные данные биологического качества воды анализировались следующим образом:

- а) определялось процентное уменьшение значений биологических параметров;
- б) производился статистический анализ.

Инфекционная способность ооцист проверялась на основе опытов на мышах. Эти опыты, целью которых было обнаружение ооцист и выявление их жизнестойкости, проводились под руководством доктора JPI Joubert из отдела токсикологии ветеринарного института в Ондерстепорте. Исследовалась эффективность инактивации ооцист при помощи трех процедур обработки, а именно: с использованием ультрафиолета, ультразвука, а также ультрафиолетового излучения совместно с ультразвуком. Опыты над мышами заключались во введении взвеси с микроорганизмами в семидневных мышат для определения инфекционной способности выявленных ооцист. Положительный контроль (введение в мышей взвеси с живыми ооцистами) дополнялся отрицательным контролем (введением дистиллированной воды). Каждая процедура проводилась по три раза. Кроме того, для подтверждения полученных результатов повторялся весь эксперимент.

## РЕЗУЛЬТАТЫ.

Результаты биологического анализа приведены в **табл. 2**. В ней также проводится сравнение среднего снижения значений биологических показателей для различных организмов в результате разных методов обработки.

Из результатов **табл. 2** можно сделать заключение, что наилучшие результаты в отношении снижения содержания бактерий для фильтрованной воды достигаются при обработке ультрафиолетовым излучением и ультразвуком и при комбинированной обработке ультрафиолетовым излучением и ультразвуком. Для оптимизации процедуры обработки были проведены эксперименты для выявления дозировок ультрафиолетового излучения и ультразвука, дающих наибольший эффект. Для ультрафиолетового излучения рассматривались следующие дозы: 7.98, 11.97, 23.93 и 47.86 мВт с/см<sup>2</sup>. Рабочие условия при таких дозах указаны в **табл. 1**.

Влияние различных дозировок воздействия ультрафиолетовым излучением и ультразвуком на различные биологические факторы представлено в **табл. 3**.

<b>Процентное снижение</b>						
<b>Сырая вода из реки Клип ( К 19)</b>						
	<b>SPC при 22 °С</b>	<b>SPC при 37 °С</b>	<b>TC</b>	<b>FC</b>	<b>Бактериофаги</b>	<b>Clostridium</b>
<b>Кавитация</b>	<b>43,58</b>	<b>73,66</b>	<b>16,51</b>	<b>10,59</b>	<b>но</b>	<b>13,66</b>
<b>Кавитация и ультразвук</b>	<b>23,93</b>	<b>8,36</b>	<b>19,25</b>	<b>28,92</b>	<b>но</b>	<b>17,50</b>
<b>Кавитация и УФ - излучение</b>	<b>64,02</b>	<b>69,15</b>	<b>56,03</b>	<b>81,20</b>	<b>но</b>	<b>41,94</b>
<b>Кавитация, УФ - излучение и ультразвук</b>	<b>27,48</b>	<b>57,41</b>	<b>77,02</b>	<b>72,95</b>	<b>95,76</b>	<b>30,40</b>
<b>Ультразвук</b>	<b>62,96</b>	<b>57,55</b>	<b>57,81</b>	<b>60,40</b>	<b>66,07</b>	<b>24,23</b>
<b>УФ - излучение</b>	<b>59,28</b>	<b>64,51</b>	<b>но</b>	<b>но</b>	<b>но</b>	<b>15,15</b>
<b>Вода, обработанная фильтрацией</b>						
	<b>SPC при 22 °С</b>	<b>SPC при 37 °С</b>	<b>TC</b>	<b>FC</b>	<b>Бактериофаги</b>	<b>Clostridium</b>
<b>Кавитация</b>	<b>30,32</b>	<b>35,24</b>	<b>44,10</b>	<b>63,83</b>	<b>но</b>	<b>42,74</b>
<b>Кавитация и ультразвук</b>	<b>5,96</b>	<b>29,80</b>	<b>72,21</b>	<b>44,27</b>	<b>но</b>	<b>37,08</b>
<b>Кавитация и УФ - излучение</b>	<b>91,89</b>	<b>97,30</b>	<b>69,14</b>	<b>67,02</b>	<b>но</b>	<b>48,69</b>
<b>Кавитация, УФ - излучение и ультразвук</b>	<b>96,23</b>	<b>97,73</b>	<b>94,64</b>	<b>90,92</b>	<b>99,71</b>	<b>78,73</b>
<b>Ультразвук</b>	<b>99,28</b>	<b>99,03</b>	<b>96,63</b>	<b>89,31</b>	<b>но</b>	<b>64,54</b>
<b>УФ - излучение</b>	<b>93,65</b>	<b>87,67</b>	<b>но</b>	<b>но</b>	<b>но</b>	<b>18,11</b>
<b>Кавитация</b>	<b>95,49</b>	<b>95,60</b>	<b>97,46</b>	<b>97,34</b>	<b>97,75</b>	<b>56,45</b>

**Таблица 2.** Процентное снижение содержания организмов в воде реки Клип и в фильтрованной воде при комбинированной обработке гидродинамической кавитацией, ультразвуком и ультрафиолетовым излучением.

Процентное уменьшение				
	Время обработки : 0,75 с Доза УФ - излучения: 7.98 мВт с/см <sup>2</sup>	Время обработки : 1.13 с Доза УФ - излучения: 11.97 мВт с/см <sup>2</sup>	Время обработки 2.26 с Доза УФ - излучения: 23.93 мВт с/см <sup>2</sup>	Время обработки 5.52 с Доза УФ - излучения: 47.86 мВт с/см <sup>2</sup>
СПС при 22 °С	95,5	99,91	99,99	99,94
СПС при 37 °С	95,6	99,90	99,98	99,97
ТС	67,3	nc	82,9	62,5
ФС	68,7	67,7	88,4	65,2
Бактериофаги	53,0	47,3	56,4	54,5
Clostridium	56,5	68,6	68,9	87,9

**Таблица 3.** Процентное уменьшение значений микробиологических факторов в фильтрованной воде, подвергнутой обработке ультразвуком и ультрафиолетовым излучением.

#### **Выявление жизнеспособности микроорганизмов *Cryptosporidium* при помощи опытов на мышах.**

Для определения степени заражения организмами *Cryptosporidium* производилось гистопатологическое исследование подвздошной кишки всех мышей каждой опытной партии. В результате было выявлено, что положительный результат на заражение микроорганизмами *Cryptosporidium* был отмечен только в одной из трех партий. При комбинированной обработке ультразвуком и ультрафиолетовым излучением исследования дали отрицательный результат в трех партиях. При обработке только ультрафиолетовым излучением было получено два положительных и один отрицательный результат заражения. Ни в одной из серий экспериментов с мышами, которым давали воду, обработанную ультразвуком и ультрафиолетовым излучением, не было отмечено ни одной мыши с положительным результатом исследования на заражение.

#### **ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.**

На основании приведенных в **табл. 2** результатов можно отметить, что в результате воздействия на биологическое качество воды при помощи гидродинамической кавитации, ультрафиолетового излучения и ультразвука количество организмов существенно уменьшается. При этом наблюдаемое процентное уменьшение варьируется в зависимости от типа организмов.

Из этих результатов (**табл. 2**) можно сделать заключение, что все режимы обработки, предусматривающие применение ультрафиолетового излучения и ультразвука, обеспечивают гораздо лучшие результаты, чем режимы с использованием кавитации. Важным фактором, который нужно принимать во внимание, является то, что гидродинамическая кавитация, ультрафиолетовое излучение и ультразвук применялись при заранее определенных условиях эксперимента (**табл. 1, столбец 2**).

## ВЫВОДЫ.

Из результатов проведенных экспериментов, целью которых было определение влияния ультрафиолетового излучения как отдельно, так и в комбинации с кавитацией потока и с обработкой ультразвуком на присутствующие в воде протозойные цисты или ооцисты и другие микроорганизмы, можно сделать указанные ниже выводы. Хотя эти выводы в целом справедливы, значения, приводимые для различных методов обработки, могут быть соотнесены только с оборудованием, используемым при экспериментальных условиях.

- Из всех рассмотренных методов обработки наиболее эффективными являются методы, основанные на применении ультразвука и ультрафиолетового излучения как по отдельности, так и в комбинации друг с другом.
- При использованном оборудовании и при действовавших экспериментальных условиях оптимальными для инактивации бактерий значениями времени обработки и дозы ультрафиолетового излучения являются значения 2.26 с и 23.93 мВт с/см<sup>2</sup> соответственно. Такая оптимальная доза ультрафиолетового излучения соответствует дозам ультрафиолетового излучения, необходимым для эффективной инактивации устойчивых к хлору энтеровирусов (25 мВт с/см<sup>2</sup>). Такая доза ниже показателя дозы 63 мВт с/см<sup>2</sup>, использованного Райсом и Хоффом (Rice, Hoff, 1981) для снижения эксцистации *Giardia Lamblia* на 90% и дозы 41 мВт с/см<sup>2</sup>, использованной для обеспечения инактивации *Cryptosporidium parvum* с логарифмическим показателем 4 (Bukhari и др., 1999), и близка значению дозы 19 мВт с/см<sup>2</sup>, использованной для инактивации ооцист *Cryptosporidium* с логарифмическим показателем 3.9 (Bukhari и др., 1999).
- Из всех исследованных организмов наиболее устойчивым к экспериментальным процедурам обработки оказался микроорганизм *Clostridium*. Этому может способствовать образование спор. Наибольшее сокращение количества микроорганизмов наблюдалось после комбинированной обработки ультрафиолетовым излучением и ультразвуком.
- Ультразвуковая обработка представляется многообещающей для интенсивной инактивации бактерий и бактериофагов. Она может сравниться с инактивацией бактерий и бактериофагов при отдельном использовании для обработки ультрафиолетового излучения.
- При интерпретации результатов исследований заражения мышей было установлено, что для инактивации *Cryptosporidium* наилучшие результаты достигаются при использовании ультрафиолетового излучения совместно с ультразвуковой обработкой.
- Было сделано важное наблюдение, заключающееся в том, что морфология цист *Giardia* изменяется при их обработке ультразвуком и гидродинамической кавитацией.
- После воздействия цист и ооцист кавитацией окраска всей цисты становится небесно-голубой, и вместо окраски только ядра этих субстанций, наблюдается слабая окраска DAPI.

*Научное редактирование выполнено:*

*Ген. директором ЗАО «Сварог», действительный член ВАНКБ А.Н. Ульяновым*