



**В.Н. ЛУКЕРЧЕНКО, Л.О. НИКИФОРОВА**

## **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

Тенденция использования исключительно поверхностных вод для водообеспечения Москвы и многих городов, расположенных вдоль крупных рек и озер, устойчиво существовала до середины 80 г.г. После аварии на Чернобыльской АЭС с особой остротой возникла проблема повышения надежности системы водоснабжения. Поэтому в настоящее время возникла необходимость организации водоснабжения с использованием подземных вод.

Качество воды в водохранилищах формируется под влиянием естественных и антропогенных факторов. Об увеличении загрязненности по микробиологическим показателям свидетельствуют данные по коли-индексу:

-в 1940 г. он составлял 1700

-в 1980 г. – 50000 [1].

Химические показатели воды существенно изменяются в процессе водоподготовки по этапам очистки. В основном они улучшаются, но при обеззараживании воды хлором возможно образование побочных токсичных продуктов хлорирования, концентрация которых в некоторых случаях достигает значительных величин. После хлорирования дозой хлора 1,5 мг/л и транспортирования значения индекса токсичности с 3 увеличиваются до 13-21 в зависимости от концентрации остаточного хлора в воде от 0 до 0,5 мг/л [2]. Двухслойная загрузка свежим углем марки ТЛ- 830 снижает токсичность очищенной воды до 15-18,9. Токсичность воды изменяется в зависимости от концентрации в ней летучих хлорорганических загрязнений. При обработке исходной воды озоном токсичность ее также возрастает, однако она ниже, чем токсичность при хлорировании. Хлорирование неочищенной воды значительно повышает ее токсичность за счет образования хлорорганических побочных продуктов.

Таким образом, токсичность очищенной воды зависит от глубины очистки от органических загрязнений как при хлорировании, так и при озонировании.

Поэтому для очистки воды в Москве выбрана новая технологическая схема: коагуляция – первичное озонирование – отстаивание – скорая фильтрация – вторичное озонирование – сорбция на угольных фильтрах.

Результаты исследований по такой схеме на реке Кама показали [2], что общая токсичность воды уменьшается по этапам очистки. При этом после вторичного озонирования в ряде случаев отмечается повышение токсичности, что объясняется более глубоким процессом деструкции и образованием побочных продуктов окисления:

-токсичность исходной воды – 5,2;

-озонированной воды – 27,8;

-коагулирование и контактное окисление снижает токсичность до 19;

-угольные фильтры – до 0,3.

Использование коагулирования позволяет практически всегда удалять до 50% различных органических загрязнений, фиксирующихся как токсичные. Изменения токсичности водной среды по данной схеме, представленные в таблице 1, соответ-



ступают декадным изменениям [2]

Таблица 1. Токсичность воды по новой технологической схеме (начальный период)

Токсичность воды				
Исходной пробы	После первичного озонирования	После песчаного фильтра	После вторичного озонирования	После сорбционного фильтра
0,78	0,28	0,19	0,13	0
0,74	0,51	0,34	0,4	0,1
0,62	0,32	0,21	0,2	0
0,46	0,46	0,15	0,2	0,1

Новый метод обеззараживания воды в магнитных полях (МП) лишен данного недостатка, так как кроме процесса обеззараживания происходит глубокая доочистка воды.

Для оценки изменения значений химических показателей и токсичности питьевой воды, прошедшей магнитную обработку, в течение 30 дней проводилось моделирование процесса заражения поверхностного источника, имеющего высокий уровень загрязнения органическими веществами антропогенного происхождения. Полученные результаты представлены в таблице 2. Величину тест-реакции измеряли по изменению подвижности клеток инфузорий с помощью индикаторного прибора. При проведении исследований основной трубопровод был выполнен из полиэтилена высокого давления. Кожух в первом варианте представлял собой трубу того же материала, что основной трубопровод, а во втором варианте полиэтилен содержал вкрапления из металлической стружки для увеличения прочности.

Таблица 2. Обеззараживание в магнитном поле

№ п/п	Проба воды	ОМЧ, в 1 мл / эффект обеззараживания, %	Токсичность	БПК <sub>полн</sub> мг/л	N(-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мг/л	N(-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	N(-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	P(-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ), мг/л
1	Исходная	880	9,34	82,6	4,0	0,0182	0,89	3,5
2	После магнитной обработки	30 / 96,6	0,17	24,8	0,8	0,0172	0,67	3,38
3	После магнитной обработки с металлизированным кожухом	70 / 88,6	0,48	47,2	0,5	0,018	0,45	3,4

Полученные результаты показывают, что металлические вкрапления в полиэтиленовые трубы, частично экранируя магнитное поле, снижают величину вектора магнитной индукции и тем самым уменьшают эффект обеззараживания.

Если основываться на механизме обеззараживания в магнитных полях, пред-



ставленном в работах [3, 4], то использование пластмассовых труб с металлическими вкраплениями приводит к уменьшению величины силы Лоренца и, как следствие, к уменьшению эффекта обеззараживания.

В результате проведенных исследований можно предположить, что на эффект обеззараживания воды питьевого назначения в магнитных полях должна оказывать влияние и концентрация ионов железа, растворенных в воде.

В резервуар искусственно вносилась культура *E.coli* из расчета 140-150 БОЕ в 100мл, что соответствует значениям поверхностных источников водоснабжения.

Полученные в нейтральной среде (рН 6,4÷6,9) значения величины *E.coli* после магнитного обеззараживания представлены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние концентрации ионов  $Fe_{\text{общ}}$  на эффект обеззараживания

Концентрация $Fe_{\text{общ}}$ , мг / л	<i>E. coli</i> , (БОЕ в 100 мл)	Эффект обеззараживания, %	рН	Состояние водной фазы
Исходная вода	140	-	6,9	Прозрачный раствор
Исходная вода после магнитного обеззараживания	10	92,86	6,9	Прозрачный раствор
1,5	10	92,86	6,87	Прозрачный раствор
2,0	10	92,86	6,80	Прозрачный раствор
2,6	10	92,86	6,75	Прозрачный раствор
3,0	12	91,4	6,71	Прозрачный раствор
6,0	20	85,7	6,58	Коллоидная взвесь
10,0	50	64,3	6,50	Коллоидная взвесь + осадок
20,0	110	21,4	6,43	осадок

Таким образом получаем, что концентрация растворенных соединений железа до величины 2,6 мг/л не оказывает влияния на эффект обеззараживания питьевой воды. Дальнейшее увеличение содержания ионов железа до 6 мг/л снижает эффект обеззараживания практически до 15%. Но, учитывая, что магнитное обеззараживание в питьевом водоснабжении как правило осуществляется в трубопроводах после очистки, когда концентрация ионов железа не превышает 0,3 мг/л, в соответствии с результатами экспериментов можно ожидать, что эффект обеззараживания будет стабильным и достигать 98,7-99,8 % в зависимости от скорости потока в трубе.

Влияние совместного воздействия рН среды и магнитного поля изучалось благодаря подкислению воды серной кислотой. Эти исследования проводились с целью проведения процесса обеззараживания в прозрачных растворах, интервал значений поддерживался на уровне рН 5,7÷6,5. Все остальные параметры процесса оставались без изменения (таблица 4).

Следовательно, обеззараживание питьевой воды в магнитных полях повышается при снижении рН воды за счет совместного воздействия химических и физических факторов.

Таблица 4.



Концентрация Fe <sub>общ.</sub> мг/л	E.coli (БОЕ в 100 мл)
Исходная проба	147
Исходная проба после очистки на Na-катионитовых фильтрах и магнитного обеззараживания (C(Fe <sub>общ.</sub> )=0)	0
0,1	0
0,3	0
1,0	0
1,5	0
2,0	0
2,8	0
5,0	0

### Влияние концентрации взвешенных веществ на эффект обеззараживания в магнитном поле.

Так как железо является комплексообразующим ионом, то повышение концентрации более 4,2 мг/л приводило к образованию коллоидной системы. При концентрации общего железа 6,0 мг/л кроме коллоидных агломератов начинал выпадать осадок бурого цвета.

Поэтому возникла необходимость в определении влияния концентрации взвешенных веществ на эффект обеззараживания в магнитном поле.

Значение величины магнитной индукции было ограничено условием, при котором эффект процесса обеззараживания составлял бы 85-95%, что позволит определить разброс степени обеззараживания.

Концентрация минеральной взвеси изменялась в интервале значений величин, близких к концентрациям поверхностных источников. Размеры частиц минеральной взвеси колебались в интервале значений 0,1-0,3 мм, pH водного раствора - 6,8-7,2. Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5. Влияние концентрации минеральной взвеси на эффект обеззараживания

Наименование пробы	Концентрация взвеси, мг/л	Колифаги, БОЕ в 100 мл	Эффект обеззараживания, %	Общие термотолерантные, КОЕ в 100 мл	Эффект обеззараживания, %
Исходная вода	3	900	-	4500	-
Исходная вода	3	80	91,1	280	93,8
Исходная вода после обеззараживания в МП	5,1	80	91,1	214	95,2
	6,5	67	92,6	130	97,1
	7,6	50	94,4	30	99,3
	10	50	94,4	25	99,4
	14,6	50	94,4	22	99,5
	27	40	95,6	20	99,6

Таким образом, с увеличением концентрации взвешенных веществ до 27 мг/л наблюдается повышение эффекта обеззараживания до 6,0 %, что обусловлено увеличением значения величины вектора магнитной индукции .

Полученные экспериментальные данные показывают, что одной из составля-



ющих процесса обеззараживания водной среды в магнитном поле (МП) является кавитация, так как на поверхности минеральных частиц концентрируется значительно больше микропузырьков, чем в объеме водной среды. Размеры микропузырьков газа, обычно присутствующих в природных водах, порядка 1-30 мкм. Поэтому поверхностные воды следует рассматривать как газовоздушные растворы, в которых существует равновесие вода  $\leftrightarrow$  газ, причем количество и состав газа определены для каждого вида вод суммарным давлением в жидкости

$$p = p_a + p_{г.с} + p_r,$$

где  $p_a$  - атмосферное давление;

$$p_{г.с} = gh - \text{гидростатическое давление, определяемое плотностью жидкости глубиной } h;$$

$g$  – ускорение свободного падения;

$p_r$  – гидродинамическое давление, пониженное в центрах вихревых структур в жидкости.

Эта энергия и является причиной увеличения эффекта обеззараживания общих термотолерантных микроорганизмов до 99,6%. Известно, что на поверхности жидкости могут идти локально физические процессы, характеризующиеся высокими энергетическими характеристиками. Имеют место огромные импульсные давления, электрические разряды, ионизация, деструкция органических молекул [5].

В кавитационном режиме количество газа может резко увеличиваться и  $p_r$  становится порядка  $10^{-2}$  -  $10^{-3}$  и более. Размеры пузырьков доходят до нескольких миллиметров. Подобную систему следует рассматривать как систему, обладающую физико-химическими свойствами, резко отличными от свойств чистой воды, то есть газовыми суспензиями.

Учет многофазной структуры воды во всей сложности позволяет объяснить гидрофизические и гидрохимические эффекты при малых энергетических воздействиях на водные среды.

На границе раздела фаз и концентрация микроорганизмов выше, чем в объеме. Такое сочетание приводит к увеличению эффекта обеззараживания воды в магнитных полях.

При прохождении такого потока воды через магнитное поле происходит «схлопывание» этой воздушной фазы, что приводит к выделению значительного количества энергии. В источниках питьевого водоснабжения кроме минеральной взвеси как правило присутствуют и коллоидные частицы, обладающие развитой удельной поверхностью и содержащие огромные количества микропор.

Поэтому при проведении исследований отдельно рассматривались процессы влияния минеральных и коллоидных примесей на эффект обеззараживания.

Для изучения влияния концентрации взвеси с пористой структурой на эффект обеззараживания в воду добавлялся сорбент с удельной поверхностью от  $10 \text{ м}^2/\text{г}$  до  $200 \text{ м}^2/\text{г}$ . Полученные результаты представлены на рис. 1.

Полученный сектор характеризует адсорбционный процесс проникновения



микроорганизмов в микропоры взвеси, где они экранируются и не подвергаются уничтожению.

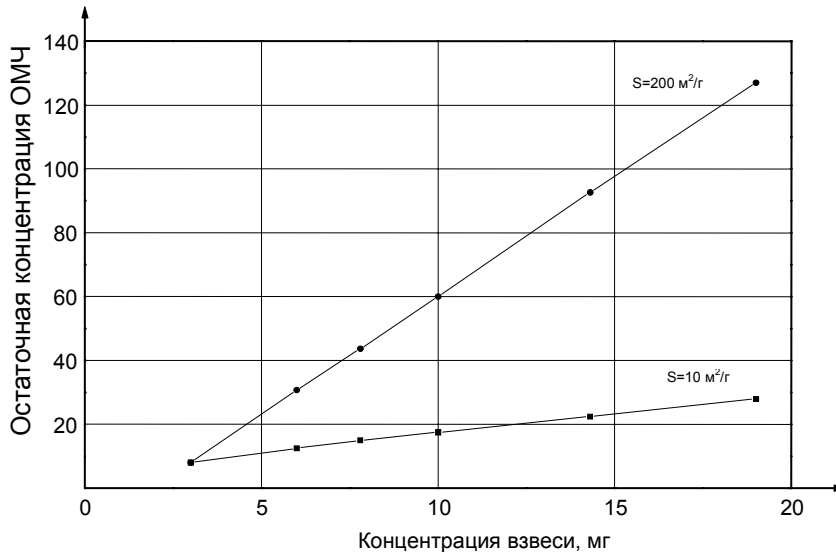


Рис. 1. Влияние взвеси с пористой структурой на эффект обеззараживания в МП.

### Влияние солесодержания на эффект обеззараживания.

Общее солесодержание поверхностных и артезианских вод как правило составляет  $C \approx 0,01-0,023$  н раствора в пересчете на NaCl. Внутри живой клетки общая концентрация солей 0,1 н в пересчете на NaCl. Следовательно, можно предположить, что изменение солесодержания водной среды приведет к изменению величины осмотического давления, которое окажет определенное влияние на эффект обеззараживания. Поэтому необходимо было определить границы этого влияния.

При проведении данных исследований использовались растворы-имитаты и чистые культуры микроорганизмов кишечной группы.

Скорость движения воды по трубопроводу находилась в интервале значений 0,7-0,9 м/с. Напряженность магнитного поля заведомо имела параметры значительно меньшие, чем необходимы для полного обеззараживания. Средой служила дистиллированная вода, в которой растворялись соли в пропорциях, соответствующих водам поверхностных источников. Растворяемые реактивы имели марки ч.д.а.

Результаты, представленные в таблице 6, позволяют сделать вывод о влиянии осмотического давления на эффект обеззараживания.

При увеличении солесодержания происходит уменьшение концентрации свободных молекул растворителя – воды. Полупроницаемые мембраны клеток разделяют два раствора разной концентрации, что приводит к их прогибу в водную среду вследствие осмотического перехода растворителя из окружающей водной среды внутрь клетки. Получаем, что при общем солесодержании около 0,035 н раствора



Таблица 6. Влияние солесодержания на эффект обеззараживания

Солесодержание, г / л	Колифаги, БОЕ в 100 мл	Эффект обеззараживания по колифагам, %	ОМЧ, в 1 мл	Эффект обеззараживания по ОМЧ, %
Исходная вода	900	-	830	-
Обеззараженная исходная вода	250	72	155	81,3
0,9	160	82	110	86,7
1,0	150	83	100	88,0
1,7	100	89	80	90,4
2,0	50	94	65	92,2
2,1	0	100	25	97,0

водной среды мембрана клетки имеет максимальную изогнутость. Дальнейшее увеличение солесодержания будет приводить к выравниванию концентраций солевых растворов внутри клетки и водной среды, что приведет к прекращению осмотического процесса. Уменьшение величины осмотической составляющей приводит к снижению эффекта обеззараживания.

Для выяснения влияния остаточного воздействия магнитного поля на микроорганизмы, не погибшие по такой технологии обеззараживания, были проведены исследования на измерение скорости роста этих штаммов. Наблюдения проводились в течение 28 дней после магнитной обработки питьевой воды из скважины глубиной 28 м. В проводимом эксперименте имитировались условия трубопровода:

- температура 18-20°C, ©
- отсутствие проникновения света.

За этот период:

- в контрольной пробе без обеззараживания (исходной воды) концентрация выросшей биомассы составила 3 мг/л с размерами частиц 400-800 мкм ;

- в воде, прошедшей магнитное обеззараживание при скорости потока в трубе  $V = 0,95$  м/с, концентрация выросшей биомассы составила 2,66 мг/л с размерами частиц 300-500 мкм ;

- в воде, прошедшей магнитное обеззараживание при скорости потока в трубе  $V = 0,55$  м/с, концентрация выросшей биомассы составила 1,8 мг/л с размерами частиц 100-300 мкм .

Отсюда можно сделать вывод, что вода, прошедшая магнитную обработку по параметрам, соответствующим технологии обеззараживания, в течение практически 1 месяца сохраняет свойства, тормозящие жизнеспособность микроорганизмов, либо штаммы микроорганизмов, которые сохранили жизнеспособность, продолжают испытывать ингибирующее действие магнитных полей. Не исключено, что это связано с нарушениями, прошедшими на уровне биохимических процессов клеток.

#### Литература

- 1 - Храменков С.В. Реализация задач по обеспечению надежности системы водоснабжения Москвы. / ВСТ, 1999, №4, с.2-6.
- 2 - Драгинский В.А., Алексеева Л.П., Алексеев С.Е. Оценка эффективности и глубины очистки воды методами биотестирования / ВСТ. 1998, №5, с.19-22.



- 3 - Недува А.Ш., Гавриков В.Ф., Никифорова Л.О., Белопольский Л.М. / Мелиорация и водное хозяйство. 1999., № 4.
- 4 - Лукерченко В.Н., Никифорова Л.О. Новая технология обеззараживания воды / 4-ый Международный конгресс «Вода: экология и технология. Экватэк –2000», М., 28 мая - 2 июня 2000г.
- 5 - Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Р. Кавитация. М.:Мир., 1974, 680 с.

**От редакции журнала**

*По мнению редакционной коллегии журнала не все в статье удачно изложено и далеко не все бесспорно. Однако, ввиду актуальности затронутой проблемы решено статью опубликовать и открыть с нее дискуссионную рубрику журнала.*

*Редколлегия приглашает принять участие в ней всех специалистов, связанных с проблемами обеззараживания воды и воздействия на воду магнитных полей.*