

УДК 628.1 /368.6 (575.2)(04)

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

И.А. Абдурасулов, К.А. Маликова, М.С. Келдибекова

Рассмотрен способ обеззараживания воды – хлорирование, которое отрицательно влияет на здоровье людей.

Ключевые слова: питьевая вода; здоровье людей; обеззараживание воды; хлорирование.

Обеззараживание или дезинфекция воды применяется для устранения болезнетворных и иных микроорганизмов и вирусов, из-за наличия которых вода становится непригодной для питья, хозяйственных нужд или промышленных целей [1].

Контроль за процессом обеззараживания воды осуществляют путем определения общего числа бактерий, оставшихся в объеме воды, выраженном в *мл* воды (коли-титр), или количества бактерий *Escherichia coli* в 1 л воды (коли-индекс) после ее обеззараживания.

Бактерия *Escherichia coli*, так называемая кишечная палочка, всегда присутствует в кишечнике человека и теплокровных животных; ее наличие в воде свидетельствует о загрязнении воды фекальными стоками.

Сама по себе кишечная палочка безвредна, она является лишь индикаторным организмом, характеризующим бактериальную загрязненность воды. Хлор, озон и другие обеззараживающие реагенты (средства) убивают кишечную палочку труднее, чем ряд других патогенных микроорганизмов, вызывающих желудочно-кишечные заболевания. Поэтому она является хорошим контрольным организмом (индикатором) при оценке эффективности процесса обеззараживания воды. Кроме того, присутствие кишечной палочки в воде может быть определено значительно проще, чем присутствие других микроорганизмов кишечной группы.

В то же время следует иметь в виду, что целый ряд микроорганизмов и вирусов значительно более резистентен в отношении хлора и других обеззараживающих средств, чем кишечная палочка. Поэтому в случае подозрения на возможность заражения воды такими бактериями,

как бактерии сибирской язвы, туляремии, вирусами инфекционного гепатита, полиомиелита следует проверить достаточность применяемых средств для обеззараживания воды в отношении этих бактерий и вирусов по специальной методике.

Методы обеззараживания воды. Обеззараживание воды для коммунальных и промышленных водопроводов может быть достигнуто несколькими способами [2, 3].

Термический способ. Кипячение воды в течение 12–20 *мин* убивает все неспорообразующие микроорганизмы. Для уничтожения спор применяют нагрев воды до 120°C под давлением или дробную стерилизацию воды – ее кипятят в течение 15 *мин*, охлаждают до 35°C, выдерживают при этой температуре в течение 2 ч для прорастания спор и снова нагревают до кипения.

Действие ультрафиолетового излучения. Вода, длительное время находящаяся на солнечном свете, освобождается от патогенных микроорганизмов. Облучение воды ультрафиолетовыми лучами хорошо обеззараживает воду, кроме того ускоряет освобождение воды от взвешенных и коллоидных примесей.

Действие ионизирующего излучения. По литературным данным, облучение воды рентгеновскими лучами, γ - и β -излучателями обеззараживает воду. Однако эти методы обеззараживания воды пока не нашли практического применения.

Обеззараживание воды окислителями. Сильные окислители, окисляя ферменты бактериальных клеток, убивают бактерии. Для обеззараживания воды можно применять газообразный хлор, хлорпроизводные, бром, йод, двуокись хлора, соли хлорноватой и хлорноватистой кис-

лот, озон, перманганат калия, перекись водорода и др.

Действие ультразвуковых колебаний убивает большинство микроорганизмов. Интенсивность ультразвукового излучения должна быть не менее 2 Вт/см^2 при продолжительности озвучивания не менее 5 мин.

Обеззараживание воды фильтрованием. Большинство патогенных микроорганизмов (за исключением вирусов) имеют размер более 1–2 мк. Поэтому фильтрованием воды через фильтры с размерами пор менее 1 мк можно освободить ее от микроорганизмов. Метод этот пригоден только для обеззараживания подземных или хорошо осветленных поверхностных вод с содержанием взвешенных веществ менее 2 мг/л , так как при большем содержании взвеси, последняя быстро закупоривает поры фильтра, что приводит к резкому снижению его пропускной способности.

В качестве обеззараживающих устройств можно использовать так называемые ультрафильтры из микропористой керамики или фарфора, фильтры с асбестцеллюлозными фильтрующими пластинами, мембранные ультрафильтры и др.

Ниже рассматриваются свойства, химизм и технология хлорирования как метод обеззараживания воды, получившие наибольшее распространение в практике очистки воды [4].

Хлор и его свойства. Хлор – желтоватый газ с неприятным резким запахом, в свободном состоянии образует молекулы Cl_2 с молекулярным весом 70,914.

Хлор получают электролизом насыщенного раствора поваренной соли. С понижением температуры и повышением давления хлор переходит из газообразного состояния в жидкое, а при дальнейшем понижении температуры – в твердое. Точка плавления твердого хлора – $101,5^\circ\text{C}$. При температуре 15°C и давлении $5,75 \text{ ат}$ газообразный хлор сжижается.

Жидкий хлор – подвижная маслянистая жидкость желто-зеленого цвета, имеет точку кипения при нормальном давлении – $34,6^\circ\text{C}$, удельный вес $1,43 \text{ кг/л}$, теплоемкость $0,2262 \text{ ккал/кг град}$, коэффициент динамической вязкости при температуре – 38°C $0,005$.

Согласно требованиям ГОСТ 6718–68, в хлоре, выпускаемом промышленностью стран СНГ, должно содержаться не менее 99,5 % Cl_2 (по объему), влаги – не более 0,06 % по весу.

Хлор ядовит, вдыхание его вызывает отравление, признаками которого являются кашель, удушье, головная боль, боли в груди и животе.

В воздухе помещений, где хранится или дозируется хлор и находится обслуживающий персонал, допускается содержание не более $0,001 \text{ мг}$ хлора в 1 л воздуха. В таблице 1 представлена растворимость хлора в воде при различных значениях температуры и давления.

Из данных таблицы видно, что растворимость хлора в воде зависит от температуры и давления. При нормальном атмосферном давлении и температуре 10°C в 1 л воды растворяется около 3 л газообразного хлора (9,65 г). При снижении температуры насыщенной хлором воды из нее выпадают кристаллы гидратов хлора $\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

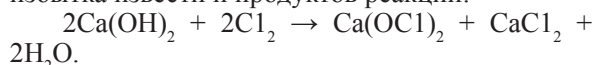
Таблица 1 – Растворимость хлора в воде

Давление в мм рт. ст.	Содержание хлора в г/л при температуре, $^\circ\text{C}$						
	0	10	20	30	40	50	90
200	4,8	3,3	2,7	2,3	2,1	1,8	1,4
500		6,9					
750	$\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	9,65	5,3	4,3	3,6	3,1	2,2
1000		$\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	7,3	5,8	4,8	4	2,8
2000			9	7,3	5,9	5	3,3
			17	13	10,2	8,4	5,2

Растворение хлора в воде идет с выделением тепла – при растворении 1 моля хлора выделяется $7,6 \text{ ккал}$ тепла при температуре 6°C . Перед введением в воду жидкий хлор превращают в газ путем его испарения. Удельная скрытая теплота парообразования хлора составляет около 62 ккал/кг . Теплоемкость жидкого хлора при постоянном давлении равна $0,1241 \text{ ккал/кг-град}$.

Кроме жидкого и газообразного хлора для обеззараживания воды применяют соли хлорноватистой кислоты – гипохлориты, двуокись хлора и другие соединения Cl_2 .

Гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ получают насыщением известкового молока газообразным хлором и последующим отделением $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ от избытка извести и продуктов реакции:



Теоретически 1 кг чистого гипохлорита кальция содержит 49,6 % Cl_2 , в товарном гипохлорите кальция содержится от 30 до 45 % Cl_2 . Гипохлорит кальция не гигроскопичен и может, не теряя активности, долго храниться в сухом темном прохладном помещении.

Хлорную известь на заводах получают в результате реакции хлора с гашеной известью.

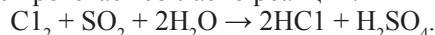
В ней содержится 40–45 % гипохлорита кальция. При хранении, особенно в сыром помещении, хлорная известь распадается, выделяя газообразный хлор.

Для обеззараживания небольших количеств воды можно применять таблетки хлораминов. В практике обеззараживания воды плавательных бассейнов находят применение различные хлорпроизводные органических веществ, например: хлорпроизводные циануровой кислоты, амидосульфоновой кислоты и т.п. Эти соединения в воде медленно гидролизуются, образуя хлорноватистую кислоту и органический радикал.

На практике с целью обеспечения в воде безопасной концентрации активного хлора применяют и так называемый технологический процесс – дехлорирование воды.

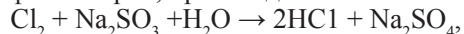
Дехлорирование воды – удаление из воды избытка свободного хлора. Оно может быть осуществлено: а) химическим способом – восстановлением хлора в хлориды каким-нибудь восстановителем; б) физическим способом – сорбцией хлора активным углем или удалением хлора аэрацией.

Обычно дехлорирование воды химическими методами достигается введением в воду сернистого газа SO_2 , а также сульфита, бисульфита или тиосульфата натрия. Сам химический процесс протекает согласно реакции:



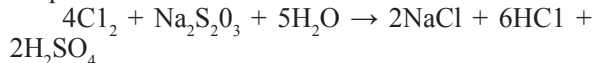
Образующиеся в результате реакции серная и соляная кислоты нейтрализуются естественной щелочностью воды. Теоретически на восстановление 1 мг Cl_2 расходуется 0,9 мг SO_2 .

При введении в воду вместо сернистого газа сульфита натрия, происходит



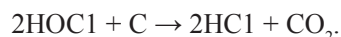
образуются сульфат натрия и соляная кислота. На восстановление 1 мг хлора расходуется 3,05 мг кристаллического сульфита натрия.

При дехлорировании воды тиосульфатом натрия



образуются поваренная соль, серная и соляная кислоты. На восстановление 1 мг хлора расходуется 0,9 мг товарного кристаллического пятиводного тиосульфата натрия.

При фильтровании воды, содержащей свободный хлор или хлорамины, через слой гранулированного активного угля последний сорбирует HOCl , NHCl_2 и NH_2Cl . Сорбированные соединения хлора, окисляя уголь до CO_2 , восстанавливаются до хлоридов:



Как показали производственные опыты [5], хлор из воды хорошо поглощается березовым, торфяным, косточковым и антрацитовыми углями, выпускаемыми отечественной промышленностью. Сорбционная способность этих углей по хлору при скорости фильтрования хлорированной воды около 50 м/ч достигает 70 % по весу угля. Для снижения концентрации хлора с 3,5 до 0,1 мг/л требовалась высота слоя гранулированного угля около 2 м при размере его зерен около 2 мм. При дехлорировании воды фильтрованием через слой активного угля он вместе с хлором сорбирует из воды и органические вещества. Продукты неполного окисления хлором этих органических веществ блокируют поверхность активного угля, снижая его способность сорбировать и восстанавливать хлор.

Для восстановления сорбционной способности активного угля его приходится периодически регенерировать промывкой горячим раствором щелочи и гипохлорита кальция.

Частота регенерации угля определяется степенью предварительной очистки дехлорируемой воды от взвешенных, коллоидных и растворенных органических веществ. Поэтому с целью снижения расходов на регенерацию активного угля вода до подачи на угольные фильтры должна быть хорошо очищена от органических загрязнений и взвешенных веществ.

С помощью аэрации воды удаётся удалить из нее лишь небольшую часть хлора, так как гипохлориты не летучи. Хлор и хлорамины хорошо удаляются аэрацией только при величине рН воды менее 5.

Практика централизованного водоснабжения свидетельствует о том, что хлорированная вода, долгое время считающаяся безопасной для здоровья человека, обладает мутагенными свойствами, которые проявляются не сразу, а через некоторое время. Тем страшнее бывают последствия: патологические изменения органов дыхания, желудочно-кишечного тракта и щитовидной железы, повышение аллергической восприимчивости на основные аллергены, общее ослабление иммунной системы, различные стоматологические проблемы. Более того, планомерное употребление хлорированной воды способно вызвать изменения на генетическом уровне, включая и ускорение такого геронтологического процесса, как старение организма.

Употребление воды с большим содержанием хлора может спровоцировать развитие онкологических заболеваний.

По мнению Т.М. Макаровой, сам по себе хлор не оказывает существенного влияния здоровью человека, однако при его сочетании с органическими примесями (микробами, плесенью и проч.) образуются хлорорганические соединения, обладающие высокой токсичностью. При этом влияние хлорорганики проявляется через значительный промежуток времени.

Хлорорганические соединения относят к суперэкоксикантам – чужеродным веществам, которые отличаются уникальной биологической активностью и уже на уровне микропримесей оказывают негативное воздействие на живые организмы. Все они существенно изменяют внутриклеточный метаболизм и обладают мутагенной активностью, что в свою очередь однозначно приводит к образованию и росту различных опухолей в организме.

По мнению доктора Р.У. Прайс: “Хлор – самый опасный убийца нашего времени. Предотвращая одну болезнь, он вызывает другую. После того, как в 1904 г. началось хлорирование воды, началась и современная эпидемия сердечных болезней, рака и слабоумия”.

Риск заболевания раком среди тех, кто пьет хлорированную воду, на 93 % выше, чем среди тех, кто пьет воду, в которой хлор отсутствует, это отмечают специалисты по изучению качества окружающей среды США.

По данным Всемирной организации здравоохранения вода содержит 13 тыс. потенциально токсичных элементов, 80 % заболеваний передаётся водой. От них на планете ежегодно умирают 25 млн человек.

На практике, в зависимости от размеров примеси в воде можно разделить на три вида:

Первая группа – это полностью растворимые вещества, которые находятся в воде в виде отдельных молекул или ионов, чьи размеры меньше размера атома. По внешнему виду эту воду обычно нельзя отличить от чистой, лишённой примесей. Присутствие таких веществ можно установить только с помощью химического анализа. В растворенном виде в воде присутствуют многие газы, соли натрия, калия, кальция,

железа, марганца и т.д. С производственными выбросами в воду попадают соли тяжелых металлов (свинца, ртути, хрома и др.) и различные органические вещества. Талые и дождевые воды приносят с полей различные гербициды, пестициды, остатки минеральных удобрений. Удалить эти вещества при существующей схеме очистки на водопроводных станциях не удаётся.

Вторая группа – это примеси, образующие с водой так называемые коллоидные системы. Частицы этих примесей состоят из конгломератов молекул. Например, мыло в воде даёт частицу, состоящую примерно из 50 молекул. Эти конгломераты настолько малы, что их можно увидеть только под электронным микроскопом. В таком состоянии в воде могут находиться вещества органического или минерального происхождения, а также вирусы.

Третья группа примесей образует с водой взвеси. Это частички песка, глины, продукты жизнедеятельности живых организмов, бактерии. При отстаивании они оседают на дно сосуда. Примеси второй и третьей группы в основном удаётся удалить при очистке воды на водопроводных станциях.

Таким образом, по мнению экспертов Всемирной организации здравоохранения очень многих болезней и смертей можно было бы избежать благодаря единственному недорогому средству – обеспечению населения чистой питьевой водой.

Литература

1. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. М.: Стройиздат, 1971.
2. Кульский Л.А. Теоритические основы и технология кондиционирования воды. Киев: Наукова думка, 1983.
3. Реагенты, применяемые для очистки и обеззараживания природных и сточных вод: справ. пособие. М.: ЦПИИЭП инженерного оборудования, 1997.
4. Драгинский В.Л., Алексеев Л.П., Гентманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М.: Наука, 2005.