

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ НА КРУПНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СТАНЦИЯХ

Королёва Е.А., Ерхов А.А.

bonsay_2y@mail.ru, a-erhov@yandex.ru, Московский государственный строительный университет; Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), Москва, Россия

Рост заболеваемости кишечными вирусными инфекциями, передающимися преимущественно через воду (гепатит А, Non-A, non-B, гастроэнтериты вирусной природы), наблюдается во всём мире, – регистрируются спорадические случаи полиомиелита, заражения вирусами групп Коксаки и ЭКХО, что, в значительной степени, обуславливается ростом водопотребления и качеством водоисточников, находящихся под антропогенным стрессом, но главное здесь – несовершенство способов водоподготовки в отношении устойчивых форм вирусной микрофлоры; в природную воду вирусы попадают при загрязнении водоисточников сточными водами, не продезинфицированными, и содержащими патогенные микроорганизмы. Энтеновирусы в окружающей среде выживают в течение от нескольких дней до нескольких месяцев, их количество в одном литре неочищенных сточных вод колеблется от 10^3 до 10^6 вирионов, а поверхностных источников – от 10 до 100 вирусных частиц (в период сезонного подъёма кишечных заболеваний) и даже до 10^4 УЕ/л, – их дозы, вызывающие заболевания, минимальны и колеблются в зависимости от штаммовой принадлежности от 1 до 100 БОЕ, поэтому патогенные вирусы должны отсутствовать в питьевой воде полностью: по мнению экспертов ВОЗ энтеро-вирусы не должны обнаруживаться в объемах от 10 до 1000 л питьевой воды, – то есть в процессе водоподготовки необходимо осуществлять мероприятия по обеззараживанию. Обеззараживание обеспечивает уничтожение в воде жизнеспособных вирусов, и направлено на предотвращение распространения инфекций с целью защиты населения, – в качестве реагентов на станциях водоподготовки применяют сильные окислители: хлор, озон и перманганат калия; при этом качество воды должно удовлетворять требованиям ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества».

1. Хлорирование. Условия выбирают с учётом устойчивости вирусов, а также природных свойств и антропогенной загрязнённости; дозы С1 определяют пробным хлорированием с учётом качества воды, необходимой длительности контакта, величины и формы остаточного хлора; обеззараживание эффективно при рН 6,0–9,0 (оптимально <7,0). При использовании подземного водоисточника проводят однократное хлорирование дозой по остаточному С1 $\geq 2,7$ мг/л при контакте ≥ 30 мин и $\geq 1,2$ свободного или $\geq 2,9$ связанного при ≥ 60 мин. При использовании поверхностного водоисточника показатели те же, но длительность фильтроцикла не ограничивается вирусологическими показателями, а определяется также защитным действием загрузки фильтра или потерей напора на нём, – промывка и обеззараживание фильтров, сброс осадка, очистка и обеззараживание отстойников происходит по заданной технологии. Первичное и вторичное хлорирование осуществляют в двух режимах:

1) Первичное: при контакте ≥ 30 мин – остаточный С1 свободный 0,3–0,5 мг/л или одновременно 0,2 мг/л свободного и 0,4 мг/л связанного; при ≥ 60 мин – связанный 0,8–1,2 мг/л или одновременно 0,1 мг/л свободного и 0,4 мг/л связанного, – продолжительность фильтроцикла ≤ 24 ч.

2) Если выполнение первого режима невозможно, доза С1 подбирается так: при контакте ≥ 30 мин – остаточный свободный С1 $\geq 0,05$ мг/л; при ≥ 60 мин – остаточный связанный $\geq 0,2$ мг/л, – продолжительность фильтроцикла ≤ 12 ч.

При хлорировании возникает опасность образования хлорорганических соединений, особенно при наличии в воде органических загрязнителей – гумусовых, нефтепродуктов, планктона, но для полного обеззараживания именно в такой воде требуются очень высокие дозы С1, и тогда образование хлорорганических соединений неминуемо, причём в концентрациях, превышающих ориентировочно-безопасные уровни воздействия (ОБУВ). Задача эта

решается введением связанного Cl – одновременно с Cl вводят NH_3 дозой, определяемой пробной аммонизацией при заданной дозе Cl, – при обеззараживании промывной воды фильтра и осадка следует обеспечить остаточный Cl ≥ 5 мг/л при контакте ≥ 5 ч.

2. Озонирование. Используют первичное и вторичное озонирование, и, как правило, применяют совместно с хлорированием, – дозы определяют пробным озонированием; озono-воздушную смесь вводят в камеры смешения так, чтоб остаточный озон равномерно в течение всего контакта держался на требуемом уровне, а обрабатывают одним из способов, учитывающих исходное заражение:

1. Исходное заражение неизвестно или составляет 10^3 – 10^4 УЕ/л; при первичном озонировании в течение 12 мин поддерживают остаточный озон в концентрации 0,8–1,3 мг/л, вторичное хлорирование проводят для предотвращения повторного заражения при транспортировании.

2. Исходное заражение то же; первичное озонирование в течение 12 мин обеспечивает остаточный озон в концентрации 0,5–0,6 мг/л; после очистки осуществляют вторичное хлорирование.

3. Заражение $< 10^2$ УЕ/л; проводят первичное озонирование в течение 12 мин с остаточным озоном 0,5–0,6 мг/л и вторичное хлорирование.

Эти способы исключают образование хлорорганических соединений в концентрациях, превышающих ОБУВ, поэтому их используют для воды с потенциально опасной органикой.

Длительность фильтроцикла контролируют по защитному действию загрузки фильтра или по потере напора в фильтре; промывка и обеззараживание фильтров, сброс осадка, чистка и обеззараживание отстойников происходит по принятым правилам.

Поскольку после озонирования на сооружениях велик риск развития микроорганизмов, необходим контроль санитарного состояния сооружений. При первичном хлорировании и вторичном озонировании применяют два способа обработки:

1. Первичное хлорирование проводят в соответствии с рекомендациями, данными выше, вторичное озонирование – в течение 12 мин с остаточным озоном 0,2–0,4 мг/л, – продолжительность фильтроцикла ≤ 24 ч; промывка, очистка, обеззараживание сооружений – в соответствии с принятыми нормами.

2. Первичное хлорирование проводят в соответствии с рекомендациями, данными выше, вторичное озонирование – в течение 12 мин с остаточным озоном 0,5–0,6 мг/л, – длительность фильтроцикла ≤ 12 ч; промывка, очистка, обеззараживание сооружений – в соответствии с нормами.

Заключительное хлорирование проводится при необходимости увеличения остаточного хлора перед подачей в распределительную сеть.

3. Окисление перманганатом калия. KMnO_4 является сильным окислителем, и его вводят в воду перед водоочистными сооружениями в дозе 2–10 мг/л в зависимости от качества исходной воды. Окисляемость воды при контакте 60 мин приводит к снижению концентрации вируса ≤ 35 %, поэтому KMnO_4 применяют в дозах в 2–3 раза выше, чем требуется, то есть в указанных выше концентрациях, и время контакта устанавливают $\geq 2,5$ ч; и тогда эффект обеззараживания достигает 99,9%. К сожалению, длительный контакт KMnO_4 для выраженного вирулицидного действия – 2,5 ч – не может быть соблюден на большинстве станций, не имеющих ковш или длинного трубопровода для транспорта от водоисточника.

Давая лишь вспомогательный вирулицидный эффект, KMnO_4 , тем не менее, снижает вероятность образования хлорорганики, уменьшает хлорпоглощаемость, улучшает органолептические и бактериологические показатели воды, то есть его применение не исключает последующего хлорирования с соблюдением описанных режимов.

Огромное число других способов обеззараживания – нанофильтрами, электролизом, ультрафиолетом, ультразвуком, олигодинамией, нагревом, биологическими приёмами – изучается в научной литературе, но об использовании их на крупных станциях речи пока не идёт...

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ХЛОРОМ В ПРОЦЕССЕ ВОДОПОДГОТОВКИ

Ерхов А.А., Королёва Е.А.

a-erhov@yandex.ru, bonsay_2y@mail.ru, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ); Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Хлор – высокотоксичный газ с ПДК в воде в свободном виде 0,3 мг/л¹, – впрочем, его избыточная концентрация в окружающей среде, также как и недостаток в организме, не вызывает и не провоцирует у человека никаких заболеваний никакого патогенеза, кроме (если Cl в аварийно-химически² опасных дозах попал в воздух) острого респираторного отравления различной степени выраженности и даже с печальным оборотом, поскольку массовое содержание его в теле – 0,15 %, естественно, связанного, – и в этом виде его биологическая роль отлична от простого вещества. Такое действие Cl – токсичное проявление в отношении клеток вообще, бактерий (и вирусов) – используют для дезинфекции больших объёмов воды на стадии водоподготовки: при введении Cl в воду образуются хлорноватистая и соляная кислоты³: $Cl_2 + H_2O = HOCl + HCl$, и затем, неустойчивая хлорноватистая диссоциирует на ион водорода и гипохлорит-ион: $HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^-$, – HOCl является более эффективной в отношении микроорганизмов, чем гипохлорит-ион OCl⁻, так как обладает большей окислительной силой, малым размером молекулы и электрической нейтральностью, что позволяет быстро проходить через мембраны клеток и, воздействуя на органеллы, нарушать идущие в них жизненные процессы. Повышение температуры воды, также, как и снижение pH до 7-7,5 и ниже, ускоряет химические реакции и усиливает это биологическое действие Cl; если в воде присутствует NH₃, Cl связывается с ним с образованием хлораминов: $HOCl + NH_3 = H_2Cl + H_2O$ (моноклорамин) и $HOCl + H_2Cl = NHCl_2 + H_2O$ (дихлорамин), бактерицидное действие которых меньше действия свободного Cl, поэтому, например, при хлорировании оборотной воды с целью предотвращения биологического обрастания не следует допускать как попадания NH₃ через неплотности в теплообменных аппаратах, так и производить аммонизацию воды, – необходимо также предотвращать утечку в охлаждающую воду жидкостей, содержащих вещества, связывающих Cl; например, при попадании H₂S происходит реакция: $H_2S + Cl_2 \rightarrow 2HCl + S$, где элементная S выпадает в осадок, – при этом на окисление 1 мг H₂S расходуется Cl ≈ 2,08 мг с образованием 2,14 мг HCl, образовавшаяся кислота реагирует с бикарбонатом кальция $2HCl + Ca(HCO_3)_2 = CaCl_2 + 2CO_2 + 2H_2O$, и снижает карбонатную жёсткость воды на 0,059 мг-эк/л. Аналогичные процессы будут и при повторном использовании сточных вод, содержащих связывающие Cl вещества. Возвращаясь к началу, необходимо дополнить: Cl опасен не только для сотрудников станций водоподготовки: распространяясь в виде тумана, он подвластен воли ветра, поэтому первые признаки отравления следует помнить каждому: горечь, резкий кашель и першение, слезотечение и слюноотделение, тошнота и рвотные позывы, головокружение и судороги, задержка дыхания и удушье, кожные кровоизлияния и зуд, – и знать: первое средство – промывание большим количеством воды (но пить – недопустимо)... И вновь возвращаясь к технологическому процессу хлорирования, следует продолжить с описания оценок вещественных величин метода. Для обеззараживания воды, как для питьевых нужд⁴, так и с целью борьбы с биообрастаниями сооружений, самая важная характе-

¹ Опасней лишь газы Ne – 0,04, а F сопоставим – 0,15.

² Поскольку Cl в виде газа неудобен в использовании, на станциях водоподготовки применяют жидкий Cl₂ и хлорреагенты (ClO₂, NaOCl, Ca(ClO)₂, CaOCl₂) как в товарном виде, так и получаемые на станции.

³ Также как и в лёгких человека, если туда попадает.

⁴ Наиболее опасны для человека следующие водные патогены: бактерии (*Escherichia Coli*, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomonas deruginosa*, *Aeromonas* spp, *Zegionella neunophilca*), вирусы (*Adenovirus*, *Enterovirus*, энтеровирусы гепатита А, Б, Е, *Pomavirus*, мелкие круглые вирусы, поливирусы,

ристка – расход Cl_2 ; его количество в мг/л для реакции с органическими (микроорганизмы, детрит и коллоид) и неорганическими (железо и др.) веществами устанавливается лабораторным путём на основании опытов (технологических изысканий) по хлоропоглощаемости воды – дозой Cl_2 , вводимого в пробу, при которой через определённый период времени T в воде остаётся ≈ 1 мг/л свободного активного (не связанного в хлорамины) Cl_2 , представляющего сумму растворённых Cl_2 , HOCl , OCl^- , – продолжительность T равна времени прохождения воды от места введения Cl_2 (обычно насосная станция) до выхода из сооружений водоподготовки. Для проектирования установок хлорирования⁵ оборотной воды при отсутствии данных о воде доза может быть принята ориентировочно: при пополнении системы водой водоисточника, предварительно осветлённой речной водой или водой умягчённой – 4 мг/л; при пополнении системы водой из водотока или водоёма с небольшой окисляемостью (до 5 мг/л) – 5 мг/л, со средней (до 7-10 мг/л) – 7 мг/л, при высокой (выше 10 мг/л) – 10 мг/л. Если хлорирование ведётся на действующей системе уже значительно загрязнённой биообрастанием, физический расход Cl_2 может оказаться выше расчётного, – при профилактических работах по мере очищения системы, расход Cl_2 будет уменьшаться до расчётного. Хлоропоглощаемость оборотной воды зависит от различных факторов: дозы вводимого Cl_2 , времени контакта, температуры и др., – чем больше доза, тем за одинаковое время выше хлоропоглощаемость: $\alpha = 7 \cdot 10^{-5} D^4 - 0,01 D^3 + 0,4 D^2 - 9 D + 99,8$, где α – поглощаемость в % от введённого за время $T = 30$ мин, D – доза. Взаимодействие Cl_2 с веществами происходит в течении 10-15 мин.; но, если продлить время контакта, происходит более глубокая дезинфекция. Скорость гибели микроорганизмов возрастает при увеличении дозы Cl_2 по формуле $n = 0,6 D^2 - 17 D + 101$, где n – число бактерий в 1 мг воды в % (в контроле с нехлорированной водой в 5 раз), и пропорциональна температуре, хотя в холодной воде активный Cl_2 остаётся на более длительный период. Как было сказано, в воде со слабощелочной реакцией (рН менее 7,2) Cl_2 действует на микроорганизмы более активно, чем в воде с рН более 7,6. Также на хлоропоглощаемость влияют: взвешенные органические вещества, аммиак, нитриты, железо и марганец, – и в силу этого, хлоропоглощаемость одного и того же источника не бывает постоянной: в оборотной воде она выше: $\alpha = -0,0006 t^4 + 0,04 t^3 - 1,3 t^2 + 16,3 t + 1,3$, чем в воде, добавляемой систему: $\alpha = -0,0002 t^4 + 0,02 t^3 - 0,6 t^2 + 9,2 t + 0,2$, где t – время контакта; наиболее высокой хлоропоглощаемость оборотной воды будет при повторном использовании сточных вод, содержащих органические и другие легкоокисляемые вещества. Для определения хлоропоглощаемости необходима, кроме исследуемой, хлорная вода, приготавливаемая на дистилляте растворением в нём газообразного Cl_2 или хлорной извести. По завершении процесса обеззараживания, с целью приведения концентрации остаточного Cl_2 к нормативным показателям⁶, воду необходимо дехлорировать, для чего применяют физические и химические методы, – при физических – избыток активного хлора удаляется из сорбентами или аэрированием: в качестве сорбента используют, например, угольные фильтры толщиной 2,5 м, и задаётся скорость фильтрования от 20 до 25 м/ч; аэрирование успешно при рН < 5, – поскольку многие соединения хлора не улетучиваются, аэрирование имеет ограниченное применение. При химическом методе избыточный активный Cl_2 связывается Na_2SO_3 или SO_2 .

Influenza, Echoviruses, Coxiackie) и простейшие (Giardia Zambiana, Giardia Muris, Gryptosporidium parvum, Entamoeba histolytica, Dracunculus madinesis spp).

⁵ На станциях дозирование газообразного хлора в воду происходит в автоматическом режиме вакуумными хлораторами.

⁶ Остаточное дезинфицирующее действие в распределительных сетях гарантирует бактериологическое качество до потребителя путём недопущения оживления бактерий и локального бактерицидного заражения в трубопроводных системах.