

КАК ПРИГОТОВИТЬ ХОРОШУЮ ВОДУ: ПАГи ВМЕСТО ХЛОРА

■ Всемирная организация здравоохранения и Организация Объединенных Наций отмечают, что за прошедшие 10–15 лет качество воды в наземных и подземных источниках питьевого водоснабжения существенно ухудшилось, резко возрос уровень ее загрязнения. Огромное число людей в мире не может получать безопасную питьевую воду и умирает от потребления некачественной воды. Особенно остро проблема безопасности питьевой воды стоит в странах СНГ, где большинство водопроводных станций пользуется водой с высоким уровнем химического и биологического загрязнения, а водоочистные сооружения работают по традиционной технологии — с применением в качестве коагулянта солей алюминия и обеззараживанием воды хлором. При этом оборудование сооружений зачастую по возрасту своему могло бы видеть живого Ленина.



Фото ИТАР-ТАСС

□ Высокий обеззараживающий потенциал и широкий спектр биоцидного действия позволяет надежно обеззараживать различные типы вод даже при высоких уровнях их биологического и химического загрязнения.

При подготовке водопроводной воды специализированные предприятия используют в основном наземные источники воды, а также подземные воды из поверхностных водоносных горизонтов. Однако в реках и озерах содержатся твердые взвешенные частицы, растворенные вещества, а также размножается огромное количество микроорганизмов, способных вызывать такие опасные заболевания, как холера, брюшной тиф, дизентерия, не говоря уже о сравнительно безобидных кожных болезнях и болезнях органов дыхания. Ранее считалось, что вода из подземных горизонтов является абсолютно безопасной и не требует специальной очистки. На самом

деле в водоносные горизонты из почвы проникает много примесей и даже фекальные воды. Такая вода также может служить источником распространения многих бактериальных и вирусных инфекций, среди которых чаще всего выступают заболевания кишечной группы; особую опасность и сложность при водоподготовке вызывают энтеровирусы, главным образом гепатит.

С начала XX века во всем мире хлорирование является основным способом обеззараживания питьевой воды, поскольку снижает концентрацию большинства микроорганизмов до безопасного уровня. Широкому распространению хлора в технологиях водоподготовки способствовала его эффектив-

ность и способность длительное время консервировать уже очищенную воду. Хлорирование позволяет снизить цветность воды, устранить запах и привкус, уменьшить расход коагулянтов. Доступность и умеренная стоимость хлора, а также большой опыт работы с этим реагентом обеспечили ему исключительную роль среди реагентов водоподготовки: свыше 90 % водопроводных станций в мире обеззараживают и обесцвечивают воду хлором, расходуя при этом до двух миллионов тонн этого реагента ежегодно.

Однако этот реагент номер один имеет существенные недостатки, главный из которых — высокая токсичность хлора и хлорсодержащих соединений, образующихся при

взаимодействии с содержащимися в воде органическими веществами. Например, при соединении продуктов разложения водорослей и древесины с хлором образуются канцерогенные вещества, а также вещества, вызывающие генные и хромосомные мутации. В середине 70-х годов XX века американские ученые выделили более 300 химических соединений, которые появляются в воде в результате хлорирования, в том числе такие токсичные, как хлороформ, четыреххлористый углерод, бромдихлорметан, дибромхлорметан и даже производные диоксиана, относящиеся к категории особо опасных ядов.

Разнообразие образующихся соединений связано с различием физико-химических характеристик воды, источников и условий водоподготовки на водопроводных станциях. Добавим к этому, что хлорирование природных вод часто сопровождается ухудшением их органолептических свойств, что связывают с образованием хлорированных индольных соединений и хлорфинолов.

Доказано, что загрязненная хлорорганикой вода провоцирует до 75% болезней человека, среди них пневмония, гастрит, болезни печени, мочевого пузыря, прямой кишки, онкологические заболевания, а также разного рода аллергические реакции; из-за постоянного употребления хлорированной воды многие женщины страдают бесплодием. Употребление загрязненной хлорорганикой водопроводной воды опасно не только для питья: эти вещества способны проникать сквозь неповрежденную кожу в то время, когда человек принимает ванну или душ. Более того, за счет того, что в этом случае площадь взаимодействия поверхности воды с кожей очень велика, количество канцерогенных веществ, попадающих в организм человека, может быть очень существенным.

Следует иметь в виду, что хлор не всемогущ и уничтожает далеко не все находящиеся в воде микроорганизмы: он воздействует в основном на вегетативные формы бактерий, не причиняя вреда спорам; грамположительные бактерии более устойчивы к воздействию хлора, чем грамотрицательные. Хлор не очень активен по отношению к вирусам, не действует на цисты простейших.

Активный хлор легко улетучивается из воды, и на пути к потребителю при условии разветвленности сети городских водопроводов концентрация хлора в воде снижается, а вода подвергается вторичному загрязнению за счет размножения микрофлоры и коррозии водопроводных труб. При превышении установленных норм хлора

□ Введение в структуру полимерного флокулянта группировок с биоцидными свойствами открывает перспективу создания реагентов нового поколения, в которых соединяются очень важные для технологии водоподготовки функции биоцида и флокулянта.

рирования (особенно вблизи станций водоподготовки) в воде образуются тригалоидметаны, которые понижают иммунитет, могут вызывать нарушение обмена веществ и деятельности эндокринной системы, инициировать развитие раковых заболеваний, наследственные изменения, вплоть до врожденных уродств. На расстоянии же нескольких километров от станции водоподготовки количество бактерий в водопроводной воде может превышать допустимый уровень в сто и даже тысячу раз.

Необходимость транспортировки и хранения в черте города больших запасов жидкого хлора создает большую опасность для города, особенно в современных условиях роста катастроф техногенного характера и повышенной угрозы терроризма. Если бы при разрушении перекрытия в «Трансваальпарке» в Москве (14.02.2004) произошло разрушение емкостей с хлором, хранившихся в подвальных помещениях аквапарка, то последствия этой трагедии были бы гораздо тяжелее, причем не только для людей, находившихся в тот трагический момент в злополучном помещении. Сбросы этого вещества и его соединений в окружающую среду представляют экологическую опасность; вокруг водопроводных станций наблюдается сильная загазованность хлором. Кроме того, хлор оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки глаз, верхних дыхательных путей и кожу, повреждает и обесцвечивает материалы, вызывает коррозию металлов: приборы и техника

на водопроводных станциях буквально сторают в его парах.

Попытки видоизменить технологию хлорирования воды существенно не исправили ситуацию. В свое время прямой хлорирующий агент был заменен такими соединениями, как диоксид хлора и хлорамин, однако обеззараживающий потенциал хлорамина

на порядок ниже, чем у активного хлора, препарат абсолютно неактивен против вирусов и простейших, к тому же его активность резко падает при понижении температуры. Попытки вводить хлор в систему небольшими дозами в 2–3 приема также не увенчались успехом: вместо летучей хлорорганики были получены нелетучие соединения, с которыми труднее бороться и которые представляют еще большую опасность для человека. Недостаточно эффективными и экономически целесообразными были признаны и способы удаления хлорорганических соединений из воды (продувание воды большими объемами воздуха, использование угольных фильтров и др.).

В последнее время широко обсуждается возможность замены хлора в процессах подготовки питьевой воды на озон. Высокая биоцидная активность озона, особенно к хлоррезистентным бактериям, спорам, вирусам и цистам простейших, гарантирует высокий уровень обеззараживания воды. Высокий окислительный потенциал озона позволяет одновременно с обеззараживанием воды снизить ее цветность, содержание железа, марганца, а также устранить запахи и привкусы. Привлекает также компактность озонаторных установок и возможность автоматизировать процесс обработки воды. Однако и этот метод имеет существенные недостатки: сам по себе озон более токсичен, чем хлор, а озонирование природных вод с высоким содержанием органических примесей приводит к образованию более

токсичных продуктов окисления, чем изначальные загрязнители природных вод.

При озонировании на станциях водоподготовки получают биологически нестабильную воду, что интенсифицирует рост микроорганизмов в сетях распределения. Из-за того, что озон быстро разлагается в воде и не имеет эффекта длительного действия, в резервуары с очищенной водой приходится опять вводить хлор, хлорирование же предварительно озонированной воды сопровождается образованием еще большего количества токсичных хлорорганических соединений. В результате указанных недостатков, а также из-за высокой энергоемкости процесса, высокой стоимости оборудования, коррозионной активности озона озонирование до сих пор не нашло широкого применения в технологиях водоподготовки даже в экономически развитых странах.

Таким образом, применение реагентов-окислителей в технологиях очистки природных вод приводит к значительному загрязнению питьевой воды токсичными химическими веществами — продуктами окисления и хлорирования органических примесей. Поиск реагентов неокислительного действия для обеззараживания и очистки питьевой воды в локальных и централизованных системах водоснабжения является чрезвычайно актуальной задачей, особенно сейчас, когда качество природных вод резко ухудшилось. На первом месте здесь должны стоять эффективность реагента в отношении разнообразной микрофлоры и низкая токсичность для человека. Однако выбор подходящих для этой цели дезинфектантов невелик.

В качестве одного из альтернативных методов очистки и обеззараживания воды можно предло-

□ Полигуанидиновые реагенты способствуют снижению интенсивности биокоррозии оборудования и гидротехнических сооружений станций водоподготовки.

жить использование разработанных в Институте эколого-технологических проблем водорастворимых препаратов на основе полиалкиленгуанидинов (ПАГов) — Биопаг и Фосфопаг, которые обладают одновременно дезинфицирующи-



Фото ИТАР-ТАСС

ми и флокулирующими свойствами. Для того чтобы понять роль ПАГов в водоподготовке, рассмотрим процесс очистки воды.

Этот процесс включает три основные стадии: коагуляция, флокуляция и обеззараживание. В качестве коагулянтов чаще всего используют соли алюминия (сульфат, оксисульфат, оксихлорид), соли железа или их смеси. При добавлении солей в воду происходит их гидролиз и образуется нерастворимый гидроксид в виде коллоидных частиц с высоко развитой поверхностью. На поверхности коллоидных частиц адсорбируются имеющиеся в воде взвешенные примеси и значительная часть растворимых веществ. Под их действием коллоидные частицы укрупняются, утяжеляются и оседают в виде хлопьев на дно, увлекая за собой адсорбированные примеси, осветляя и очищая воду. Желаемый результат может быть достигнут только в том случае, если формируются коллоидные частицы с высоко развитой поверхностью, которые хорошо адсорбируют при-

и содержит остаточное небезопасное количество коагулянта (алюминия), крайне вредного для человеческого организма.

Для улучшения процесса коагуляции в воду добавляют вспомогательные вещества — флокулянты, которые дополнительно «салятся» на коллоидные частицы, уплотняют и утяжеляют их, способствуют агрегации частиц, седиментации хлопьев и отделению их на стадии фильтрации воды. В качестве флокулянтов используют неорганические вещества (кремневую кислоту) или водорастворимые полимеры, которыми чаще всего служат катионные поверхностно активные вещества, например полиакриламид, поли-N'-N-диметил-N'-N'-диаллиламмоний хлорид (ВПК-402) и др. Однако в очищенной и осветленной коагулянтом и флокулянтом воде остаются и размножаются разнообразные микроорганизмы, поэтому воду обрабатывают биоцидными веществами, в основном окислителями, о которых говорилось выше.

ПАГи — это водорастворимые полимеры, которые, так же как полиакриламид и ВПК-402, являются катионными поверхностно-активными веществами, благодаря чему выполняют роль флокулянтов. Но одновременно они являются и высоко эффективными дезинфектантами с широким спектром биоцидного действия, поскольку содержат в своем составе гуанидиновую группировку, являющуюся активным началом многих природных и синтетических антисептиков и лекарственных веществ. В воде ПАГи эффективно подавляют различные виды микроорганизмов:

грамположительные и грамотрицательные бактерии (включая микробактерии туберкулеза), вирусы, разного рода грибы, дрожжи, плесени, водоросли, причем сохраняют высокую эффективность в диапазоне температур 0—30°С и при рН 6—9. В отличие от хлора и озона ПАГи не являются окислителями, механизм их биоцидного действия на микроорганизмы иной.

По своим физическим свойствам ПАГи очень удобны в применении: это твердые, хорошо растворимые в воде вещества, они стабильны и безопасны при хранении (срок испытания 15 лет), не имеют цвета и запаха. В дозах, необходимых для технологии очистки воды, ПАГи не имеют привкуса, не токсичны для человека, животных и гидробионтов, безопасны в экологическом отношении: попадая на дно водоема, они разлагаются на простые, нетоксичные вещества под влиянием активного ила.

ПАГи совместимы с другими реагентами, которые используются в технологии обработки воды, и могут применяться в существующих технологических схемах водоподготовки без существенной реконструкции очистных сооружений, при этом они не вызывают коррозию металлов, не требуют сложного специального оборудования.

Широкомасштабные испытания ПАГов в процессе водоподготовки уже много лет проводятся на Украине в научно-исследовательских лабораториях и лабораториях водопроводных станций Киева, Житомира, Винницы. Эти испытания показали, что ПАГи успешно очищают и обез-

зачивают воду как в присутствии коагулянта, так и без него. Успех зависит от качества природной воды, которое меняется в течение года, правильного выбора дозы реагента, а также экспозиции, которая меняется обратно пропорционально дозе.

□ Низкая токсичность, устойчивость ПАГов и их рабочих растворов обеспечивает экологическую безопасность для окружающей среды и в рабочей зоне станций водоподготовки, а также при хранении и транспортировке.

зараживают воду как в присутствии коагулянта, так и без него. Успех зависит от качества природной воды, которое меняется в течение года, правильного выбора дозы реагента, а также экспозиции, которая меняется обратно пропорционально дозе.

Опыт работы Деснянской станции очистки воды показал, что при правильном выборе режима обработки получается очень качественная вода, поскольку ПАГи позволя-

ют удалить гумусовые соединения, продукты жизнедеятельности микроорганизмов, обитающих в водоемах, а также связывают в нерастворимые комплексы соли тяжелых металлов.

Полученная после такой очистки вода по вкусу полностью похожа на родниковую воду и отвечает всем стандартам: общее микробное число 2—4 КОЕ (норма до 100 КОЕ), остаточное содержание железа — 0,16 мг/л (норма 0,48 мг/л). В процессе работы опытной установки по очистке речной воды непрерывно более года на ее оборудовании не обнаружено следов слизи или биообрастания, а также химической коррозии.

Остаточное количество ПАГа в очищенной воде не превышает установленное для этого препарата значения предельно допустимой концентрации (ПДК), хотя исходное количество препарата, используемое для обеззараживания воды, должно быть значительно выше ПДК. Дело в том, что ПАГи являются мощными комплексообразователями и вступают в реакции межмолекулярного взаимодействия с органическими и неорганическими компонентами природных вод; в результате этих реакций значительная часть реагента связывается с флокулирующими

препаратами надежно обеззараживают не только питьевую воду, но также воду плавательных и лечебных бассейнов, где эффективно подавляют синегнойную инфекцию, устойчивую к действию хлора, при этом, в отличие от хлора, они не вызывают у людей аллергических реакций, не оказывают раздражающего действия на кожные покровы — напротив, вызывают заживление ран и царапин.

Разработанные в Институте эколого-технологических проблем препараты (Биопаг, Фосфопаг) запатентованы в качестве биоцидных субстанций, зарегистрированы Минздравом РФ, разрешены для обеззараживания воды технического и питьевого назначения. Эти

препараты надежно обеззараживают не только питьевую воду, но также воду плавательных и лечебных бассейнов, где эффективно подавляют

□ Выявленная флокулирующая способность ПАГов дает возможность решать проблемы снижения мутности, содержания остаточного алюминия в очищенной воде и сокращения расхода коагулянтов в процессах водоочистки.

препараты надежно обеззараживают не только питьевую воду, но также воду плавательных и лечебных бассейнов, где эффективно подавляют синегнойную инфекцию, устойчивую к действию хлора, при этом, в отличие от хлора, они не вызывают у людей аллергических реакций, не оказывают раздражающего действия на кожные покровы — напротив, вызывают заживление ран и царапин.

На базе водорастворимых биоцидных препаратов в Институте разработаны водостойкие формы препаратов — органорастворимый лак Септопаг и органоминеральный сорбент Цеопаг. Лак Септопаг содержит Биопаг, химически связанный с пленкообразующей основой; наносится на поверхность в виде водостойкого полимерного покрытия, сохраняющего биоцидные свойства ПАГов и при этом не выделяющего в воду биоцида. Такое покрытие предотвращает биообрастание поверхностей, длительное время эксплуатирующихся в контакте с водой, а также антисептирует воду в объеме сосуда; срок его действия по предварительным данным составляет 10—12 месяцев. Лак предназначен для длительной защиты оборудования, емкостей для хранения и транспортировки питьевой воды, а также для консервации воды, в том числе питьевой. Органоминеральный сорбент Цеопаг представляет собой насыпной материал (цеолит), обладающий одновременно биоцидными, катионообменными и анионообменными свойствами. При прохождении через слой Цеопага вода одновременно обеззараживается и обессоливается. В настоящее время специалисты Института продолжают создавать и испытывать новые биоцидные препараты с ценными свойствами и разнообразными характеристиками.

*Константин ЕФИМОВ,
директор Института
эколого-технологических проблем*

*Ирина ВОИНЦЕВА,
доктор химических наук*