

где E – символ математического ожидания, и учитывая то, что Π – квадратная матрица, а k – натуральное число, то при Пуассоновом законе распределения числа переходов системы $R_k = \frac{v^k e^{-v}}{k!}$, где v – среднее число переходов, имеем

$$E[\Pi(k)] = \Pi(0) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{v^k e^{-v}}{k!} \Pi^k. \quad (8)$$

При этом вместо переходных вероятностей P_{ij} матрицы можно использовать плотность вероятности перехода $\lambda_v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}$, где $P_{ij}(\Delta t)$ – вероятность того, что экосистема, находящаяся в момент t в состоянии S_i , за время (Δt) перейдет из него в состояние S_j .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивченко, Б.П. Информационная экология / Б.П.Ивченко, Л.А.Мартыщенко. – Санкт-Петербург: Норд-Метиздат, 1998. – 199 с.
2. Бурлибаев, М.Ж. Чрезвычайные интуиции в природной среде / М.Ж.Бурлибаев, А.А.Волчек, П.В.Шведовский [и др.] // Алматы: Каганат, 2011. – 353с.

УДК 628.337

Яловая Н.П., Строкач П.П.

УО «Брестский государственный технический университет», г.Брест

ЭФФЕКТ УДАЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ В ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СМЕШАННОГО ЖЕЛЕЗО-АЛЮМИНИЕВОГО КОАГУЛЯНТА

Основные критерии качества питьевой воды состоят в том, что питьевая вода должна быть безопасна в эпидемиологическом отношении, безвредна по химическому составу и обладать благоприятными органолептическими свойствами [1]. Данные критерии положены в основу Руководства по контролю качества питьевой воды Всемирной организацией здравоохранения [2].

При оценке степени риска здоровью населения среди многих видов загрязнений наиболее важную роль играют микробиологические загрязнения. Известно, что опасность заболеваний от микробиологических загрязнений воды во много тысяч раз выше (до 100 000 раз), чем при загрязнении ее химическими соединениями различной природы. согласно требованиям санпина 10-124 рб 99 [1] безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям.

Вода, загрязненная кишечными вирусами, является причиной распространения таких заболеваний, как полиомиелит, серозный менингит, гепатиты, гастроэнтериты, кератоконъюнктивитная лихорадка и др.

Поэтому заключительным этапом улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых нужд является ее обеззараживание. Постоянно обеззараживают воду из поверхностных водных объектов, подземные воды в большинстве случаев подают без обеззараживания.

Обеззараживание воды на одном или двух технологических этапах водоподготовки проводится на всех водопроводных станциях с начала XX века. В настоящее время обеззараживание воды на коммунальных и промышленных водопроводах достигается применением ряда окислителей: хлора, гипохлорита натрия, хлораминов, хлорной извести, озона, перманганата калия, йода и др., действию ультрафиолетового и ионизирующего излучения, ультразвуковых колебаний, кипячения, фильтрации и т. д. [3]. При выборе метода обеззараживания воды следует учитывать расход и качество воды, эффективность ее очистки, надежность обеззараживания, технико-экономические соображения, возможность автоматизации процесса, механизация трудоемких работ, условий поставки и хранения реагентов.

Наиболее распространенным и недорогим методом обеззараживания воды является ее хлорирование. Существующая практика дезинфекции питьевой воды в большинстве развитых стран, например, в США, распределяется следующим образом: 98,6 % питьевой воды подвергается хлорированию, озонирование составляет только 0,37 %, остальные методы – 0,75% [4]. Особенность такого распределения в том, что хлорирование – наиболее экономичный и эффективный метод обеззараживания питьевой воды в сравнении с любыми другими известными методами. Хлорирование обеспечивает микробиологическую безопасность воды в любой точке распределительной сети в любой момент времени благодаря эффекту последствия. Все остальные методы обеззараживания воды, не исключая озонирование и ультрафиолетовую обработку, не обеспечивают такого обеззараживающего последствия и, следовательно, требуют дополнительного хлорирования на одной из стадий водоподготовки. Это правило не является исключением и для Республики Беларусь, где все имеющиеся системы озонирования питьевой воды городских водораспределительных сетей работают совместно с оборудованием для хлорирования.

Однако одним из недостатков хлорирования питьевой воды является образование побочных продуктов – галогенсодержащих соединений (ГСС), большую часть которых составляют тригалометаны: хлороформ, дихлорбромметан, дибромхлорметан и бромформ. С гигиенической точки зрения среди общей массы ГСС в последнем издании Руководства по контролю качества питьевой воды ВОЗ приведены сведения о 19 химических веществах – продуктах хлорирования, потенциально опасных для здоровья населения. Это – тригалометаны, хлорфенолы, соединения из групп галоуксусных кислот, галоацетонитрилов, галогенированных альдегидов, кетонов, фуранонов [3]. Хлороформ, поскольку его содержание после хлорирования воды во многих случаях превышает содержание всех остальных ГСС до 30 раз, обладающий и канцерогенным действием, был принят как ведущее приоритетное ГСС. ГСС образуются под действием хлора из предшественников, которыми являются многие вещества природного происхождения, всегда в естественных условиях присутствующие в воде и обуславливающие цветность воды. Это – гуминовые и фульвокислоты, танины, хиноны, дубильная, карбоксильная, лимонная и аминокислоты, Д-глюкоза, экстрацеллюлярные продукты жизнедеятельности различных видов водорослей, в том числе синезеленых и др. Дополнительными источниками предшественников ГСС могут служить производственные сточные воды, содержащие лигнины, смоляные и жирные кислоты, фенолы, анилин [5,6].

Некоторые ГСС обладают канцерогенными свойствами – вызывают развитие злокачественных опухолей. Так, вероятными канцерогенами для человека являются: хлороформ, четыреххлористый углерод, 2,4,6-трихлорфенол, бромдихлорметан. Все они отнесены к группе 2Б по классификации МАИР. Возможно, канцерогенным действием обладают и галоуксусные кислоты. В настоящее время встречается информация, указывающая на связь между хлорированием питьевой воды и увеличением заболеваемости населения раком. Так, в эпидемиологических исследованиях, проведенных в Айове (США), установлено, что у людей, употреблявших хлорированную питьевую воду в течение более 40 лет, риск развития рака мочевого пузыря увеличился в 2 раза [7].

Вместе с тем, хлорирование остается наиболее доступным и простым способом обеззараживания воды. Даже несмотря на то, что ужесточение уже существующих нормативных требований и введение новых нормативных показателей для ГСС приводит к значительным технологическим и экономическим трудностям при доведении качества хлорированной воды до соответствия гигиеническим требованиям, еще долго придется ожидать быстрого переоборудования всех водопроводных станций и канализационных сооружений для перехода на другие способы обеззараживания. Поэтому на первом этапе совершенствования стратегии выбора оптимальных методов обеззараживания необходимо реализовывать все доступные приемы защиты населения от воздействия ГСС питьевой воды. В частности, к ним относятся и разработка новых технологий очистки хлорированной питьевой воды.

Учитывая многокомпонентность химического загрязнения природной воды и возможность образования веществ неизвестного состава на разных стадиях технологического процесса водоподготовки, целесообразно использование так называемого обзорного анализа, ориентированного на идентификацию максимально полного спектра присутствующих в воде загрязняющих веществ [8].

Для этих целей могут быть применены аттестованные многокомпонентные методы контроля вместо целевых анализов, направленных на определение конкретного вещества. Многокомпонентные методы позволяют, с одной стороны, проводить обзорный анализ с идентификацией широкого спектра веществ, и с другой – осуществлять контроль одновременно ряда конкретных веществ [8]. Эти методы обеспечивают возможность идентификации с количественной оценкой органических углеводородов C_8H_{18} , их кислород-, азот-, серо- и галогенсодержащих производных ниже уровня большинства гигиенических нормативов с определением до 100 и более веществ в одной пробе. К таким веществам относятся: предельные, непредельные, циклические, ароматические, терпеновые, полициклические ароматические углеводороды, альдегиды, кетоны, эфиры, спирты, органические кислоты и др. [9]. Таким образом, может быть проведено аналитическое исследование природной воды на наличие широкого спектра органических веществ.

Для исследования используются газохроматографический и хромато-масс-спектрометрические методы анализа, ориентированные на определение галогенорганических соединений и спектров летучих и низколетучих веществ. Газохроматографическое определение галогенсодержащих соединений основано на извлечении веществ из воды газовой экстракцией в статическом режиме, их разделении на капиллярной кварцевой колонке, детектировании электронно-захватным детектором и идентификации по временам удерживания. Метод определения спектра летучих органических

соединений основан на извлечении веществ из воды газовой экстракцией инертным газом (гелием) и концентрировании на полимерном сорбенте (тенаксе), последующей термической десорбции адсорбированных веществ, их криогенном фокусировании в капилляре, газохроматографическом разделении на стеклянной капиллярной колонке и идентификации по масс-спектрам. Метод определения спектра низколетучих соединений основан на их извлечении из воды жидкостной экстракцией диэтиловым эфиром, упаривании растворителя при мягких температурных условиях до органического масла, реэкстракции этанолом, газохроматографическом разделении на стеклянной капиллярной колонке, идентификации по масс-спектрам и количественному определению по извлеченным молекулярным ионам.

В исследованиях в качестве исходной воды использована вода реки Мухавец. Обработка воды проведена на лабораторной электролизной установке, позволяющей моделировать все этапы водоподготовки. В исследовании изучен спектр соединений, содержащихся в пробах исходной воды и воды на различных этапах технологического процесса ее обработки: после хлорирования, электрокоагуляции и адсорбции углем.

Всего в исходной и обработанной воде нами было выявлено около 100 соединений. Основная трудность гигиенической оценки заключалась в том, что из более 50 выделенных с учетом массового содержания веществ для 64% соединений отсутствовали гигиенические нормативы. Следовательно, присутствие более 60% идентифицированных в воде в процессе ее подготовки остается бесконтрольным, и их влияние на здоровье населения не учитывается. Это свидетельствует о несовершенстве системы аналитического контроля качества питьевой воды.

Аналитическое исследование хлорированной воды ярко продемонстрировало существующую проблему обеззараживания воды хлорированием в отношении опасности образования токсичных и опасных продуктов. Исследования показали, что в процессе водоподготовки в хлорированной воде по сравнению с исходной водой образовался спектр из множества галогенсодержащих соединений. Среди идентифицированных веществ в значительных концентрациях выявлены: хлороформ, бромдихлорметан, трихлорацетальдегид, хлорбутанол, дихлорбутан, четыреххлористый углерод, хлоргептан, хлороктан и др.

Наряду с ГСС, в обработанной воде были идентифицированы и другие вещества, относящиеся к группам нитрилов, ароматических соединений, предельных углеводородов, альдегидов и других кислородсодержащих соединений. В природных водах обычно содержится огромное количество разнообразных веществ как биогенных, так и техногенного происхождения, концентрация каждого из которых может быть значительно ниже порога обнаружения самых современных аналитических методов. При хлорировании воды большая часть их неизбежно расходуется на окисление этих веществ. В результате последовательных актов окисления они все более упрощаются и трансформируются с образованием более узкого круга сходных соединений, которые начинают обнаруживаться в концентрациях, соответствующих пределу обнаружения современных физико-химических методов анализа.

Всего в исходной воде нами было обнаружено 11 веществ в обработанной воде: после этапа хлорирования – 50, после электрокоагуляции – 11, после адсорбции углем – 15 соединений. Применение электрокоагуляционного метода обеспечило высокий эффект удаления из воды практически всех ГСС, при этом концентрация хлороформа снизилась в 6 раз при содержании в исходной воде 5,0 ПДК, хлорпикрина – в 7 раз

даже при низком уровне загрязнения (5 мкг/дм^3), а другие ГСС были полностью удалены из воды. Дополнительное применение адсорбции активированным углем позволило снизить уровень загрязнения хлороформом в 35 раз и полностью удалить хлорпикрин. В целом, применение электрокоагуляции в сочетании с адсорбцией активированным углем обеспечило эффект очистки от всех ГСС почти в 150 раз при их суммарном загрязнении на уровне 2 мг/дм^3 в хлорированной воде.

Выводы

1. Применение смешанного железо-алюминиевого коагулянта обеспечило высокий уровень очистки и в отношении альдегидов. Эти соединения были практически полностью удалены из воды даже при достаточно низком (до 8 мкг/дм^3) содержании в хлорированной воде. Высокий эффект очистки был достигнут также в отношении группы нитрилов.

2. Таким образом, использование электрохимически приготовленного смешанного железо-алюминиевого коагулянта оказалось эффективным в отношении всех (более 60) идентифицированных при хлорировании воды веществ: эффект очистки по хлороформу составил 97% при его содержании в исходной воде до 5 ПДК, практически полностью удалены из воды другие 25 галогенсодержащих соединений даже при низком уровне (ниже ПДК) загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению: СанПиН 10-124 РБ 99, СанПиН 10-113 РБ 99, СанПиН 8-83-98 РБ 99. – Минск, 2000. – 152 с.
2. Кульский, Л.А. Очистка воды коагуляцией под током / Л.А. Кульский, И.Т. Горонковский, М.И. Рыбчинский // В сб. «Улучшение технологии питьевой воды». – Киев: Изд-во АН УССР, 1955. – С. 55-60.
3. Руководство по контролю качества питьевой воды. – ВОЗ. – Женева, 1994. – Т.1: Рекомендации. – 255 с.
4. Water Works Association Journal. September 1992. Survey of Water Utility Disinfection Practices. Water Quality Disinfection Committee Report. – P. 121-128.
5. Красовский, Г.Н. Методические основы выбора для гигиенических исследований приоритетных галогенсодержащих соединений, обладающих отдаленными биологическими эффектами / Г.Н. Красовский, Н.Я. Михайловский, Ю.Г. Марченко [и др.] // Гигиена и санитария, 1985. – № 10. – С. 33-35.
6. Жолдакова, З.И. Экспериментальная оценка и прогноз образования хлорорганических соединений при хлорировании веществ в воде / З.И. Жолдакова, Н.В. Харчевникова, Е.Е. Полякова [и др.] // Гигиеническая наука и практика на рубеже XXI века. IX Всероссийский съезд гигиенистов и санитарных врачей – М., 2001. – Т. 1. – С. 428-431.
7. Определение концентраций химических веществ в воде централизованных систем питьевого водоснабжения: Сборник методических указаний. – Вып. 2. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 175 с.
8. Методические указания по определению концентраций химических веществ в воде централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения: Сборник методических указаний. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 112 с.
9. Мальшева, А.Г. Применение хромато-масс-спектрометрии для выявления летучих органических соединений / А.Г. Мальшева // Гигиена и санитария. – 1997. – №4. – С. 33-37.