

О. Р. Каратаев, В. Ф. Новиков

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОЗ ХЛОРА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОД КУЛЬТУРНО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ключевые слова: плавательные бассейны, хлорорганические соединения, паровфазный анализ, экологическая безопасность, сорбенты, газовая хроматография, статистические методы.

В данной статье рассматривается проблема загрязнения воды плавательного бассейна хлорпроизводными. Основная опасность заключается в том, что хлорирующий агент, реагируя с различными соединениями в воде, создает еще более токсичные, трудно выявляемые соединения. Для прогнозирования оптимальных доз хлора авторы предлагают использовать статистические методы многомерного планирования.

Keywords: swimming pools, chlor-organic compounds, headspace analysis, environmental safety, sorbents, gas chromatography, statistical methods.

The given article discusses the problem of the water of the swimming pools polluted by chlorinated derivatives. The main danger is that the chlorinating agent, having reaction with some different compounds in the water, creates even more toxic, hardly educible compounds. In order to predict an optimal dose of chlor the authors suggest using the statistical methods of multidimensional planning.

Одной из задач обеспечения экологической безопасности плавательных бассейнов и аквапарков является достаточно полная очистка вод от сопутствующих примесей загрязняющих веществ, которые в настоящее время, в большинстве случаев, осуществляется путем ее обработки различными химическими и физическими методами [1]. Загрязнение водной среды плавательных бассейнов повышает опасность негативного влияния на организм человека, так как многие поллютанты относятся к токсичным веществам [2-3].

Наибольшую опасность представляют галогенорганические соединения, которые образуются при хлорировании природных вод в результате взаимодействия элементарного хлора с присутствующими в воде в качестве примесей гуминовых кислот, сульфокислотами и нефтепродуктами. Наиболее многочисленную группу галогенорганических соединений составляют тригалогенаты, хлороформ, бромформ, дибромхлорметан, дихлорбромметан, которые образуются при обработке питьевой воды дезинфицирующими реагентами. Кроме того в водах, обработанными хлорирующими реагентами были обнаружены хлорированные кетоны, хлорацетонитрилы, хлоруксусные кислоты, хлораль, хлоракрин, хлорфенолы и другие загрязнители [4-5].

Было установлено, что на процесс образования хлорорганических соединений в водной среде оказывает влияние много факторов, к числу которых относится природа органических веществ в исходной воде, доза хлорирующего агента, продолжительность процесса хлорирования, pH среды, температура, время года. При этом возможна дальнейшая деструкция галогенорганических соединений в системе водоснабжения в более токсичные соединения [6].

Таким образом, экологическая безопасность объектов культурно-бытового назначения определяется как составом воды источников водоснабжения, так и наличием химических веществ, образующихся в результате проведения процесса водоподготовки, т.е. вторичное загрязнение. Обычно при стандартной реакции хлорирования в воде образуются тригалогенме-

таны, отличающиеся повышенной токсичностью для организма человека [7-8].

Среди этих тригалогенметанов наиболее вероятно образование хлороформа, содержание которого является на несколько порядков более высоким, чем других галогенорганических соединений. Кроме того, возможно образования низкомолекулярных фенолов в процессе их гидролитической или микробиологической деструкции, с последующей трансформацией на стадии обеззараживания воды в хлоропроизводные фенолов [9].

Для разработки и совершенствования технологии водоподготовки объектов культурно-бытового назначения необходимо регулярно проводить анализ воды на содержание токсичных примесей, что позволит выявлять источники загрязнения, пути миграции загрязняющих веществ с целью устранения и предупреждения негативного влияния на организм человека [10].

Определение концентрации примесных соединений в водной среде является достаточно сложной задачей, решение которой невозможно без наличия современной аппаратуры. Как правило, при нормировании качество водной среды, концентрация анализируемого поллютанта связывается с ПДК этого компонента, или с содержанием его в воде до сброса в очистные сооружения. При этом нижние границы определяемых концентраций объектов культурно бытового назначения не должны превышать $0,1 \text{ мг/дм}^3$, что предъявляет высокие требования к чувствительности методов анализа. Поэтому физико-химический анализ водной среды объектов культурно бытового назначения позволяет выявить загрязняющие вещества, определить их концентрацию в водных объектах, оценить уровень загрязнения токсичными примесями и предоставить информацию об источниках миграции химических веществ и путях их попадания в водную среду [11].

Для определения хлорорганических соединений в воде плавательных бассейнов в настоящей работе был использован, статистический паровфазный анализ, так как в системе «водная-газовая фаза» рас-

считается равновесное распределение. При этом концентрация компонентов в водной фазе равна их содержанию в газовой фазе [12]:

$$C_g = KC_o, \quad (1)$$

где C_g – концентрация веществ в жидкой фазе, C_o – концентрация веществ в газовой фазе, K – коэффициент фазного распределения.

В этом случае коэффициент фазного распределения хлорорганических соединений можно определить как:

$$K = n_r / n_b, \quad (2)$$

где n_r и n_b – молярные доли компонента при его равновесии в газовой и водной фазы соответственно.

Для выполнения условий равновесности, необходимо наличие линейной зависимости концентраций компонента, между жидкой и газовой фазами, что и наблюдалось в наших условиях.

Условием фазового равновесия является равенство химических потенциалов из i -компонента из j -равновесных фаз

$$\mu_i' = \mu_i^2 = \mu_i^3 = \dots = \mu_i^j. \quad (3)$$

При этом между концентрациями компонентов первой и второй фазами существует зависимость:

$$C_i = F_i^{III}(C''). \quad (4)$$

Эта зависимость говорит о том, что количественный состав одной фазы можно определить, зная концентрации компонентов в другой.

Для определения состава хлорорганических соединений использовали анализ паровой фазы, находящейся в равновесном состоянии с водной средой.

Газохроматографический анализ проводили на хроматографе «Кристаллюкс-400» с электронно захватным детектором, обладающий хорошей селективностью к хлорорганическим соединениям. Равновесное состояние достигалось при температуре 40 °C в течение 30 минут.

В качестве сорбента использовали оксид диэтила -2-цианэтил-фосфина структурной формулы $(C_2H_5)_2P(O)-CH_2CH_2CN$, который в количестве 15% от массы был нанесен на твердый носитель Хроматон N.

В таблице 1 приведены физико-химические свойства легкокипящих хлорорганических соединений, наличие которых было определено в воде плавательных бассейнов.

Количественное содержание хлорорганических соединений рассчитывали по методу внутреннего стандарта:

$$C_i = \frac{Q_i''}{((Q_2'/Q_2'')(Q_1' - Q_1''))} 100, \quad (5)$$

где Q_1' и Q_1'' – площади пиков хлороформа до и после добавления фиксированного количества его к исходной смеси; Q_2' и Q_2'' – соответствующие площади

пиков другого компонента Q_i'' – отношение массы добавляемого вещества к массе исходной смеси.

Таблица 1 - Легкокипящие хлорорганические соединения, загрязняющих водную среду плавательных бассейнов

Название	Структура	$t_{кип.}^{\circ}C$	M	$C_{мг/л}$
Хлорэтан	H_3CCH_2Cl	12,0	64	0,012
Дихлорэтан	H_2CCl_2	40,0	85	0,024
1,1-дихлорэтан	H_3CCHCl_2	57,3	99	0,014
Хлороформ	$CHCl_3$	61,0	119	0,084
Четыреххлористый углерод	CCl_4	76,0	154	0,026
1,2-дихлорэтан	$ClCH_2CH_2Cl$	83,5	99	0,008

Как видно из табл. 1 из всех исследуемых соединений, наиболее высокая концентрация наблюдается у хлороформа. Скорость перехода хлороформа из воды плавательного бассейна в воздушную среду увеличивается с повышением температуры, а его период полураспада в воздухе составляет от 0,5 до 1 года.

Концентрирование мигрирующих в воздушную среду хлорорганических соединений зависит от многих факторов, к числу которых относится природа применяемого при хлорировании реагента и его концентрация, температура процесса, скорость воздухообмена и др. Для описания многофакторного процесса водоподготовки плавательных бассейнов с использованием хлора применяют статистические методы многомерного планирования с целью прогнозирования оптимальных доз хлора. В качестве исходного параметра взят результат обработки воды различными хлорирующими реагентами в зависимости от объема бассейна.

Литература

1. Гончарук, В.В. Современное состояние, проблемы обеззараживания воды /В.В. Гончарук, Н.Г. Потапенко //Химия и технология воды – 1998. – № 2 – С. 11-14.
2. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Энциклопедия. Серия «Экометрия». – СПб: «Крисмас +», 1998. – 851 с.
3. Каратаев, О.Р. Летучие галогенорганические загрязнения воды спортивно-оздоровительных плавательных бассейнов /О.Р. Каратаев, В.Ф. Новиков //Вестн. Казан. техн. ун-та. – 2012. – № 19. С. 113-115.
4. Гюнтер, Л.И. Летучие галогенорганические загрязнения питьевых вод, образующиеся при водоподготовке /Л.И. Гюнтер, В.Л. Драгинский, М.П. Алексеева и др. // Химия и технология воды. – 1985. – № 5 – С. 50-64.
5. Fuchs, A. Decomposition of brain signal into physiological events underlying phase transition in the human brain / Fuchs A, J. Mayvill, D. Cheyng, H. L. Weinberg, Deecke //Society for Neuroscience. – 1999. – V. 25. – P.1137-1142.
6. Ytalia, M.P. Comparison of volatile halogenated compounds formed in the chloramination and chlorination of humic acid gas chromatography capture detection /M.P. Ytalia, P.C. Uden //Y.Cromatogr. – 1988. – V. 449. – № 1. – P. 326-330.
7. Lebel, G.L., A one-year survey of halogenated DBPs in the distribution system of treatment plants using three different

disinfection processes /G.L. Lebel, F.M. Benoit, D.T. Williams //Chemosphere. – 1997. – V. 34. – № 11. – P. 2301-2317.

8. Occurrence and determination of organic pollutants in tap and surface waters of Gdańsk district /M. Biziuk, J. Namiesnik, J. Czerwinski //E.A.J. Chromatogr. – 1996. – V.733. – P. 171-183.

9. Гимранов, Ф.М. Оценка возможности использования комплексных методов обеззараживания воды в пищевой промышленности. /Ф.М. К. Анализ Гимранов, А.Н. Беяев, И.В. Флегентов, А.С. Сулов //Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2012. – № 8. – С. 289-291.

10. Сониясси, Р., Сандра П., Шлет К. Анализ воды: органические микропримеси /Р.Сониясси, П. Сандра, К. Шлетт. – СПб.: Изд-во «Теза», 1995. – 248 с.

11. Другов, Ю. С., Родин А. А. - Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды и почвы. Практическое руководство /Ю.С. Другов, А.А. Родин. – СПб – 1999. – 622 с.

12. Москвин, Л.Н. Сравнительный анализ эффективности методов концентрирования летучих органических веществ из водных растворов /Л.Н. Москвин, О.В. Родинков, Г.Л. Григорьев //Журнал аналитической химии. – 1999. – Т.54. – № 5. – С.1318-1323.

© **О. Р. Каратаев** – канд. техн. наук, доц. каф. машиноведения КНИТУ, lashkov_dm@kstu.ru; **В. Ф. Новиков** – д-р. техн. наук, проф. каф. химии КГЭУ.