

УДК 628.16, 628.19

UDC 628.16, 628.19

ОБРАЗОВАНИЕ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТРИГАЛОГЕНМЕТАНОВ В ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЕ БАГДАДА

FORMATION AND CONTROL OF TRIHALOMETHANES IN THE DRINKING WATER OF BAGHDAD

Амин Абдулфаттах Ахмад Амин
аспирант
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84
abdulfattah.amin@yandex.ru

Amin Abdulfattah Ahmad Amin
postgraduate student
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, 394006, Voronezh
abdulfattah.amin@yandex.ru

Андрианов Алексей Петрович
к.т.н., доцент
Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., 26
2water@yandex.ru

Andrianov Alexey Pertovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Moscow State University of Civil Engineering, Russia, Moscow
2water@yandex.ru

Статья посвящена проблеме образования и трансформации тригалогенметанов (ТГМ) в системе водоснабжения г. Багдада (Ирак). Приведены результаты исследований, показывающих зависимость концентрации ТГМ в водопроводной воде от удаления от водоочистных станций, содержания остаточного хлора и температуры воды. Показано, что для снижения содержания ТГМ в водопроводной сети Багдада необходимо использовать диоксид хлора для хлорирования, а также сорбционную обработку в случае применения первичного хлорирования

The article is devoted to the formation and transformation of trihalomethanes (THMs) in water supply system of Baghdad (Iraq). The results of research work show the dependences of THMs concentration in the tap water on the distance from water treatment plants, chlorine residual and water temperature. It is shown that the way to reduce THMs in Baghdad water supply network is to use the chlorine dioxide for chlorination as well as sorption treatment in case of preliminary chlorination

Ключевые слова: ДИОКСИД ХЛОРА, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ, ПИТЬЕВАЯ ВОДА, СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, СОРБЦИЯ, ТРИГАЛОГЕНМЕТАНЫ, ХЛОРИРОВАНИЕ

Keywords: CHLORINATION, CHLORINE DIOXIDE, DRINKING WATER, SORPTION, TRIHALOMETHANES (THM), WATER SUPPLY SYSTEM

Введение

Обеззараживание – важнейший этап подготовки питьевой воды. Современные гигиенические нормативные документы в развитых странах мира регламентируют чрезвычайно высокие требования к качеству питьевой воды, как по физико-химическим, так и микробиологическим показателям.

Наиболее широкое распространение в мире получили методы обеззараживания воды, основанные на ее хлорировании, которое осуществляется жидким хлором, гипохлоритами натрия и кальция, диоксидом хлора, а также прямым электролизом обрабатываемой воды. Метод хлорирования

остаётся основным надёжным и многофункциональным способом стерилизации питьевой воды, что объясняется не только доступностью и быстрым действием его соединений на органические вещества микробной клетки, но и его пролонгированным действием [1, 2]. В результате хлорирования на всём протяжении распределительной сети в воде присутствует концентрация хлора, обеспечивающая сохранение требуемого уровня обеззараживания воды.

Но, несмотря на высокую эффективность, хлорирование природной воды связано с образованием многочисленных вторичных загрязнителей – галогенорганических соединений, источниками которых являются природные и антропогенные органические вещества [3]. Разнообразие образующихся галогенорганических соединений связано с различием физико-химических характеристик воды и параметров процесса водоподготовки на водопроводных сооружениях. Определяющую роль в этом процессе играют природа и концентрация органических примесей в природной воде [4].

Основными побочными продуктами хлорирования являются тригалогенметаны – хлороформ или трихлорметан (CHCl_3), бромдихлорметан (CHBrCl_2), дибромхлорметан (CHBr_2Cl) и трибромметан (CHBr_3), в совокупности называемые ОТГМ или ТГМ4. Известны также около сотни других хлорорганических побочных продуктов дезинфекции, в том числе галогензамещённые уксусные кислоты, галонитрилы, галокетоны, альдегиды и хлоралгидрат [5, 6].

На процессы образования ТГМ в конкретной системе водоснабжения влияет целый ряд различных факторов: сезонное изменение качества воды в источнике, время нахождения воды в резервуарах и водопроводной распределительной сети («возраст» воды), температура воды, дозы химических реагентов на очистных сооружениях.

Образование ТГМ продолжается в водопроводной сети, где свободный хлор вступает в реакцию с органическими веществами в воде, а также

с биоуплотнением на стенках труб. Во многих случаях при наличии значительного количества остаточного хлора в воде концентрация ТГМ возрастает линейно с увеличением времени [7, 8]. Сложный режим движения воды в кольцевых водопроводных сетях, в особенности при питании из нескольких источников значительно осложняет картину и вносит пространственный фактор в распределении концентраций остаточного хлора и ТГМ.

В Ираке содержание ТГМ регулируется Правилами Управления по охране окружающей среды США, согласно I Этапу Правил максимальная концентрация ТГМ4 не должна превышать 80 мкг/л, а II Этапу – 40 мкг/л [9, 10]. В то же время в странах Европы установлена величина норматива от 30 до 200 мкг/л, а в России – 60 мкг/л. Поскольку стандарты, как США, так и Европы опираются на усредненные величины концентрации ТГМ, а не на конкретные значения в отдельно взятых точках водопроводной системы, особо актуальны исследования пространственных и временных факторов, влияющих на образование побочных продуктов дезинфекции.

1. Исследование образования и трансформации ТГМ в водопроводной сети

Одним из основных источников водоснабжения столицы Ирака – Багдада является открытый водоем – река Тигр и инфильтрационные водозаборы, находящиеся под сильным влиянием реки. Большое количество органических веществ в речной воде способствует образованию хлорированных углеводородов в питьевой воде [11, 12]. Вместе с этим, формирование побочных продуктов дезинфекции, в частности ТГМ, в водопроводных сетях Багдада еще недостаточно хорошо изучено.

Багдад – один из крупнейших городов Ближнего Востока, его население составляет около 6 млн. человек. Город снабжают водой восемь основных водоочистных станций (ВОС) и ряд малых станций общей произ-

водительностью 2 млн. м³/сут. При этом суммарный объем регулирующих и запасных емкостей составляет 1,4 млн. м³. Самая крупная станция – Аль-Карх производительностью 1045 тыс. м³/сут – находится в 30 км к северу от города. Вода со станции поступает в город по двум водоводам диаметром 2,1 и 2,3 м. Другие водоочистные станции расположены в черте города, по обоим берегам реки. На всех ВОС применяется традиционная схема очистки, включающая коагуляцию, флокуляцию, отстаивание, фильтрацию и хлорирование. В качестве коагулянта используется сульфат алюминия, а при повышенной мутности воды в качестве вспомогательного средства – полиэлектролиты. Для фильтрации воды применяются обычные песчаные фильтры. Дезинфекция воды производится хлорированием (доза хлора – 2,5 мг/л) в течение 30 мин в контактном резервуаре. В качестве обеззараживающего реагента используются гипохлориты кальция и натрия.

Для проведения исследований были выбраны две главных ВОС Багдада: Аль-Карх и Шарк-Дижла, обеспечивающие водой примерно 4 млн. человек или 70 % населения Багдада. Станции Аль-Карх и Шарк-Дижла подают воду соответственно в районы аль-Карх (расположен на западном берегу реки Тигр) и ар-Расафа (восточная или левобережная часть Багдада). Выбор этих объектов был обусловлен также тем, что водопроводные сети данных станций не связаны с другими станциями и вода не смешивается с водой других станций.

Пробы воды отбирались в 29 точках распределительной сети, расположенных на разном удалении от водоочистных станций (начальной точки распределительной сети), на выходе со станций и из реки Тигр. При взятии проб учитывалось расстояние от станции до места взятия пробы, время взятия пробы, материал водопроводных труб. Непосредственно при отборе проб измерялась температура воды, величина рН и количество остаточного хлора. Анализ на тригалогенметаны проводился в лаборатории исследовательского центра Иорданского университета (Амман).

Для анализа хлорорганических соединений (ТГМ4, CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 и CHBr_3) использовался газовый хроматограф Varian 3800, оснащенный детектором электронного захвата, а также набор компьютерных программ. Пробоподготовка осуществлялась методом жидкостной экстракции гексаном.

В целях выявления пространственных различий в концентрации ТГМ были взяты пробы в начальных точках распределения воды станций Аль-Карх и Шарк-Дижла, а также в различных точках водопроводной сети. В качестве зависимой переменной в настоящем исследовании было выбрано расстояние от начальной точки распределительной сети до места взятия пробы.

В таблицах 1 – 3 и на рисунке 1 приведены данные о концентрации ТГМ в различных точках двух исследуемых водопроводных систем. Из приведенных данных видно, что в зимний период значения концентраций ТГМ4 не превышают норматив 40 мкг/л, указанный во II этапе Правил Управления по охране окружающей среды, исключение составляют самые удаленные точки системы Расафы, а в летний период наблюдается превышение во всех точках обеих распределительных систем. Норматив 80 мкг/л, указанный во I этапе Правил, соблюдался во все сезоны года.

Таблица 1 – Концентрация ТГМ4 в различных точках распределительной системы Расафы (ВОС Шарк-Дижла)

Расстояние от ВОС, км (кол-во проб, шт.)	Концентрация ТГМ4, мкг/л			
	лето (август 2006 г.)		зима (февраль 2007 г.)	
	сред. значение ± станд. откл.	мин. / макс. значение	сред. значение ± станд. откл.	мин. / макс. значение
начальная точка	41,61	–	29,72	–
4 (5)	42,32 ± 0,49	41,83 / 43,06	32,32 ± 0,77	31,33 / 33,21
8 (7)	47,23 ± 2,48	44,32 / 50,34	35,62 ± 2,99	30,17 / 39,00
12 (5)	51,82 ± 0,91	50,36 / 52,83	38,12 ± 0,75	37,36 / 39,05
16 (7)	54,27 ± 1,94	53,05 / 58,33	38,83 ± 1,92	37,06 / 43,01
20-23 (5)	54,87 ± 0,45	54,26 / 55,32	41,94 ± 2,21	38,95 / 44,47

Таблица 2 – Концентрация ТГМ4 в различных точках распределительной системы Карха (ВОС Аль-Карх)

Расстояние от ВОС, км (кол-во проб, шт.)	Концентрация ТГМ4, мкг/л			
	лето (август 2006 г.)		зима (февраль 2007 г.)	
	сред. значение ± станд. откл.	мин. / макс. значение	сред. значение ± станд. откл.	мин. / макс. значение
начальная точка	40,06	–	29,57	–
4 (5)	43,85 ± 0,91	42,65 / 44,89	32,09 ± 0,23	31,79 / 32,34
8 (7)	46,26 ± 0,50	45,41 / 46,93	33,52 ± 0,44	32,97 / 34,14
12 (5)	46,02 ± 0,90	44,98 / 46,96	35,37 ± 0,61	34,63 / 36,15
15-17,8 (8)	49,44 ± 2,37	46,53 / 52,49	35,80 ± 0,75	35,14 / 37,41
18-21 (4)	55,38 ± 0,98	54,34 / 56,97	39,31 ± 1,39	37,26 / 40,85

Таблица 3 – Статистический анализ данных о концентрации ТГМ4 в водопроводной воде в системе водоснабжения Багдада

Показатель	Концентрация ТГМ4, мкг/л			
	лето		зима	
	Карх	Расафа	Карх	Расафа
Среднее значение	47,87	50,17	35,51	37,15
Минимальное значение	40,06	41,61	29,57	29,80
Первый квартиль	45,15	44,73	33,91	35,67
Медиана	46,62	51,90	35,19	37,89
Третий квартиль	50,61	54,94	36,14	38,88
Максимальное значение	56,97	58,33	42,52	44,31

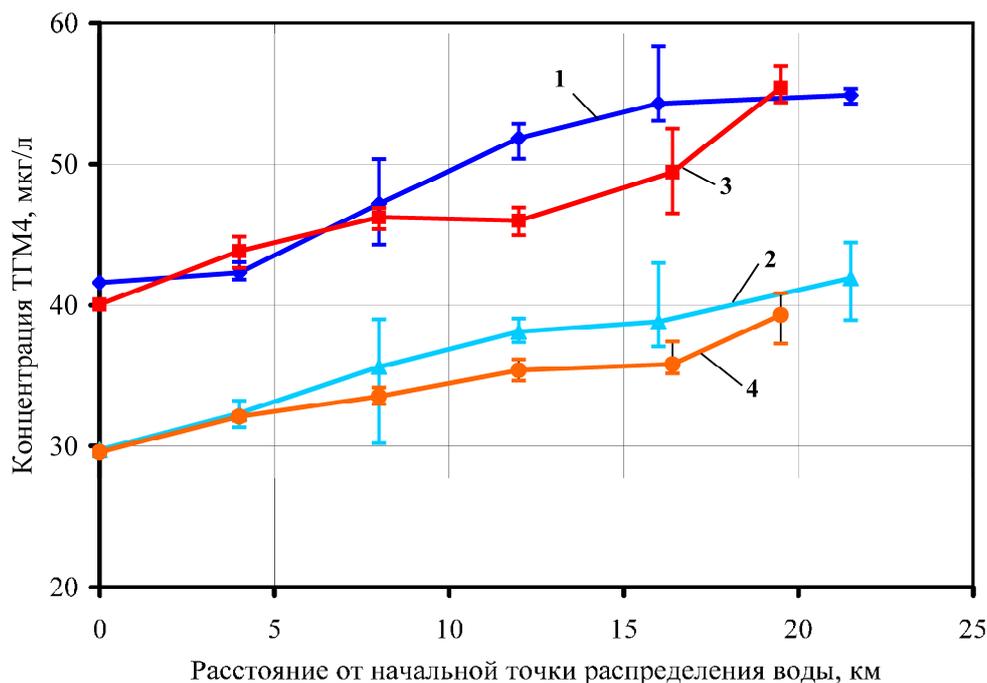
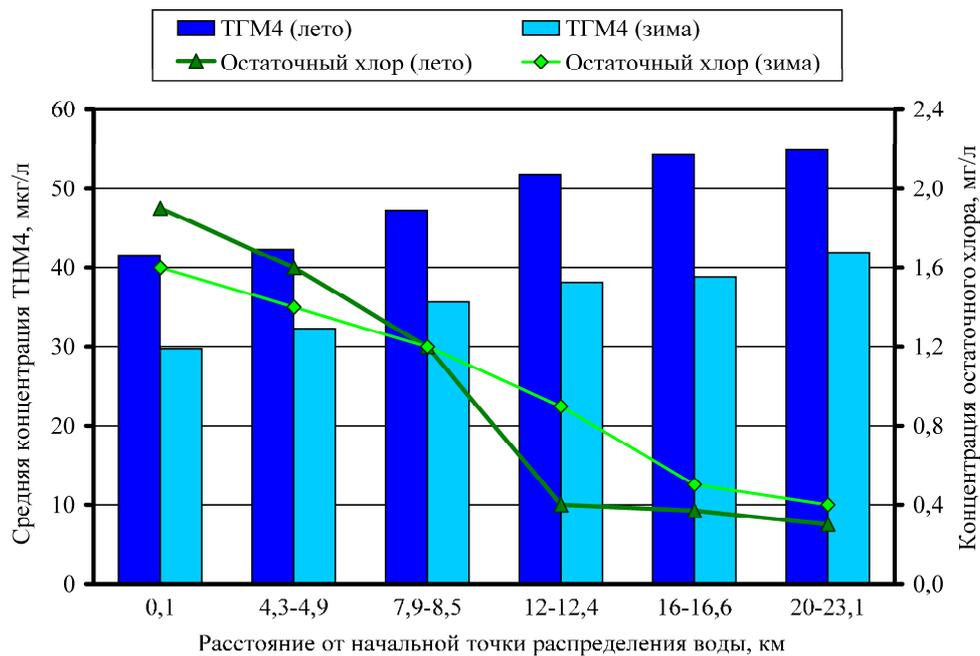


Рисунок 1. – Диапазон изменения концентраций ТГМ4 и их средние значения в различных точках распределительной системы Расафы (1, 2) и Карха (3, 4) в летний (1, 3) и зимний периоды (2, 4)

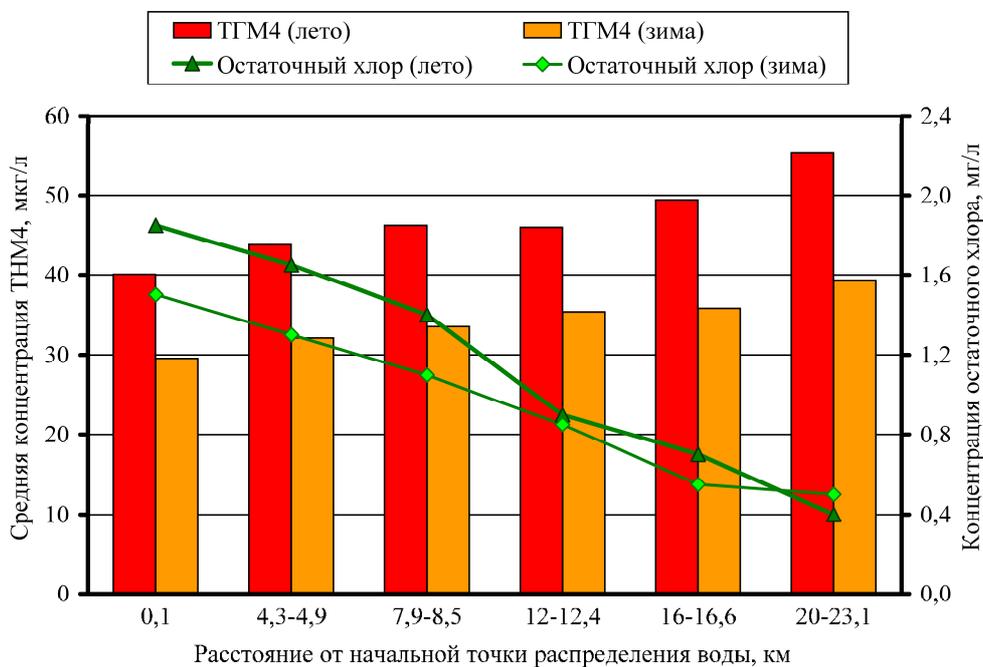
На рисунке 2 представлены зависимости концентрации ТГМ4 и остаточного хлора от расстояния между местом взятия пробы и водоочистой станцией для водопроводных систем Расафы и Карха. Температура воды варьировалась от 18,5 °С в начальной точке до 22 °С в конечных пунктах зимой и от 30 до 32,5 °С летом. Расстояние от водоочистой станции не связано напрямую со временем пребывания воды в сети и, соответственно, со временем контакта хлора с органическим веществом, поэтому для определения «возраста» воды была выбрана величина остаточного хлора в водопроводной воде [13].

Во все сезоны года наблюдается увеличение концентрации ТГМ4 с уменьшением концентрации остаточного хлора по мере удаления от начальной точки распределения воды и увеличением времени контакта свободного хлора с органическим веществом, что подкрепляется и теоретическими исследованиями [14]. В среднем около 30 – 38 % от общего

уровня ТГМ4 образуется в процессе движения воды по водопроводной сети.



а)



б)

Рисунок 2. – Зависимость концентрации ТГМ4 и остаточного хлора от расстояния между начальной точкой распределения воды и точкой отбора проб (летом и зимой): а – Расафа; б – Карх

В холодное время наблюдается снижение уровня ТГМ и скорости их образования (рис. 1). Летом концентрация ТГМ4 возрастала в 1,3-1,4 раза быстрее, чем зимой. В период исследований температура воды варьировалась в пределах от 18 °С зимой до 33 °С летом. При более высокой температуре скорость взаимодействия свободного хлора с органическим веществом возрастает, что приводит к увеличению концентрации ТГМ. Однако более существенное значение для формирования ТГМ имеет доза хлора: исследования показывают, что количество образующихся хлорорганических соединений прямо пропорционально дозе введенного хлора [15]. Эта тенденция наблюдается и для рассматриваемых водоочистных станций Багдада.

На рисунке 3 приведены данные о концентрации четырех основных хлорорганических соединений (CHCl_3 , CHCl_2Br , CHClBr_2 , CHBr_3) в водопроводных системах Расафы и Карха, а на рисунке 4 – средние значения концентрации основных хлорорганических соединений для всех исследованных ВОС. Из графиков видно, что процент соединений брома (CHBrCl_2 , CHBr_2Cl и CHBr_3) составляет около трех четвертых от общего количества хлорорганических соединений.

Недавние исследования в области токсикологии показали, что соединениям брома в питьевой воде, особенно бромдихлорметану (CHBrCl_2), должно быть уделено наибольшее внимание [16]. Особенно это касается прибрежных зон, где вода может содержать примеси солей брома [17]. Интересным оказалось то, что в системе водоснабжения Багдада присутствует большое количество соединений брома, хотя город не находится в прибрежной зоне. Скорее всего, это обусловлено наличием бромидов в источниках воды, что способствует повышению концентрации бромированных соединений ТГМ на всех очистных станциях Багдада, и наиболее высокая она в Кархе.

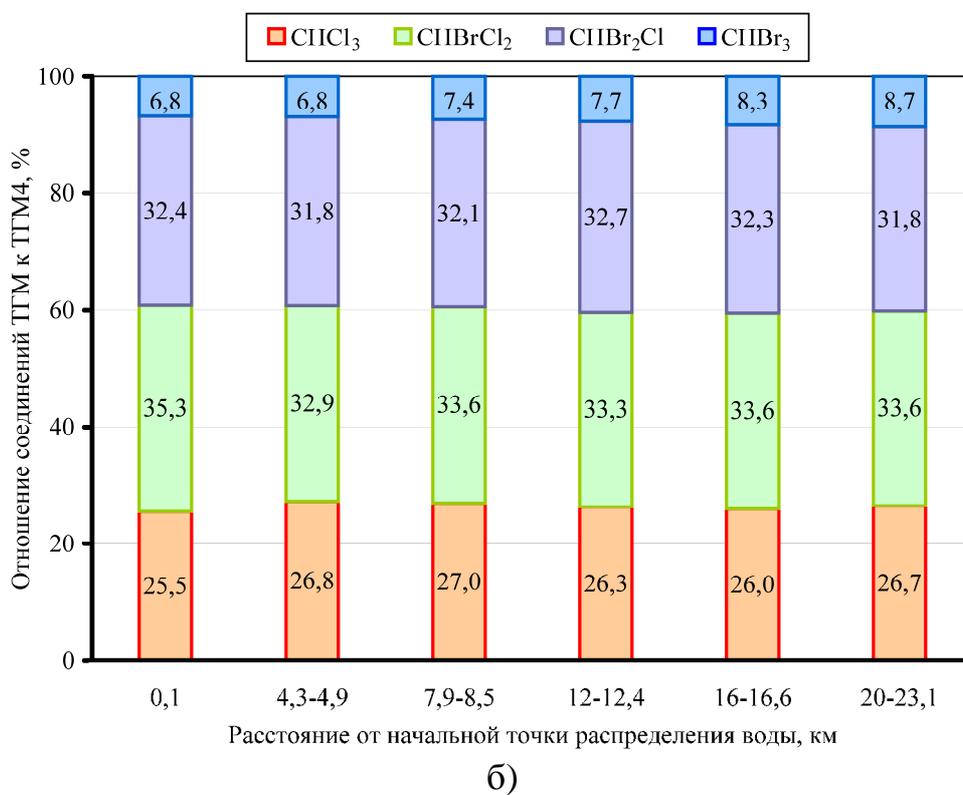
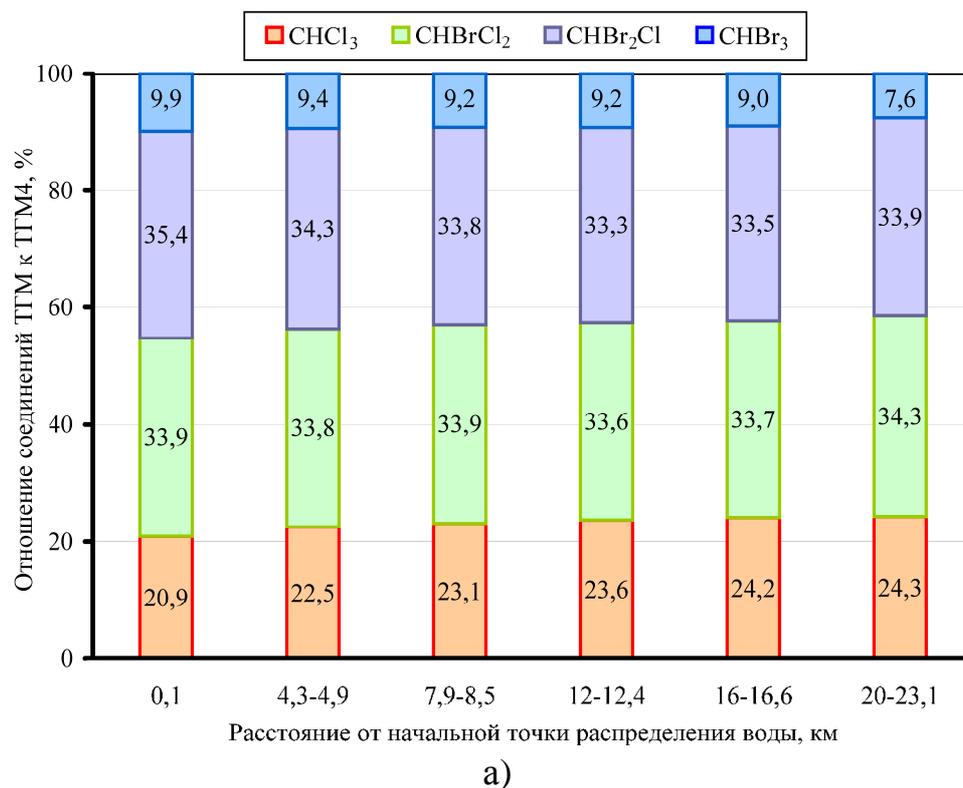
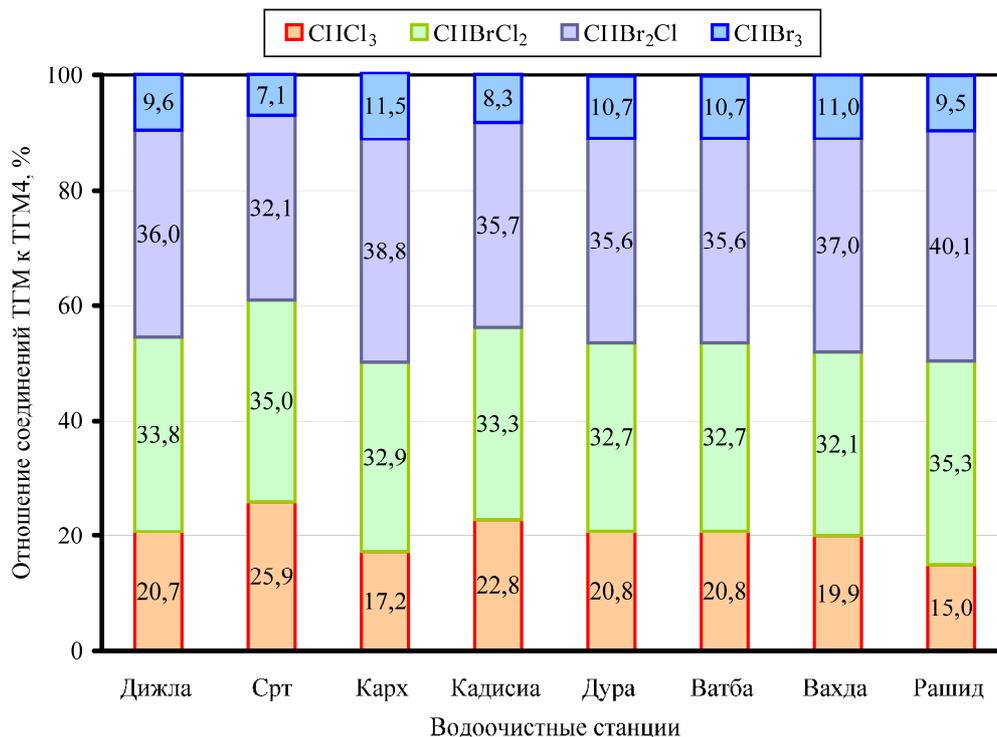
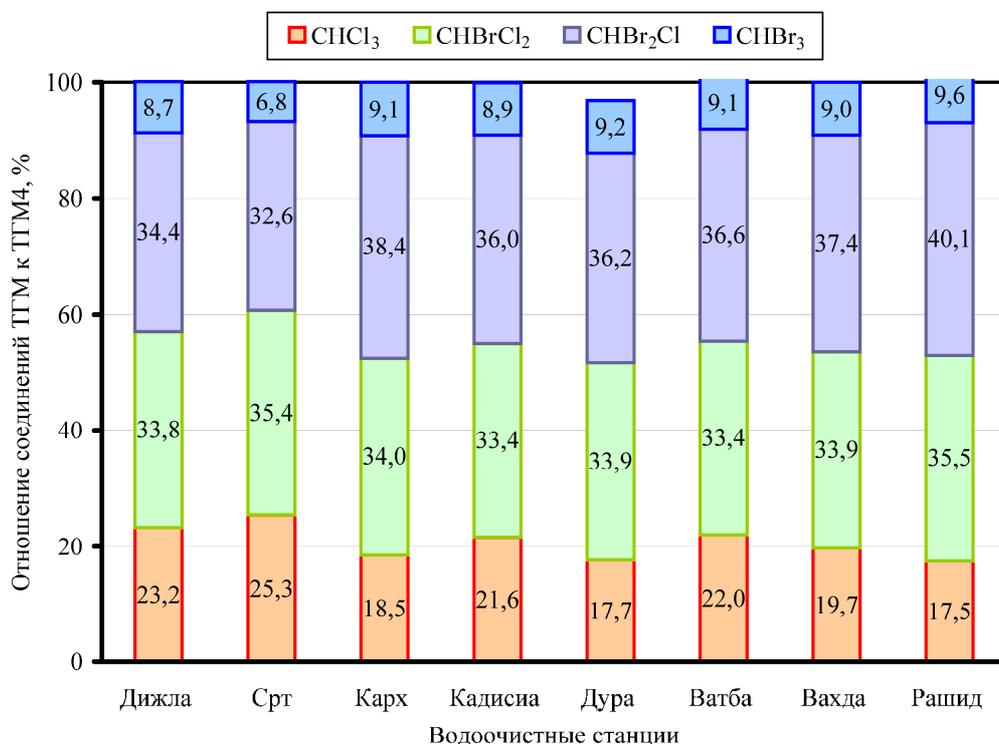


Рисунок 3. – Изменение содержания основных хлорорганических соединений в летний период в зависимости от расстояния между

**начальной точкой распределения воды и конечным пунктом
распределения: а – Расафа; б – Карх**



а)



б)

Рисунок 4. – Изменение содержания основных хлорорганических соединений на всех исследованных ВОС: а – лето; б – зима

2. Мероприятия по снижению содержания тригалогенметанов в водопроводной воде Багдада

Основным источником образования галогенорганических соединений в хлорированной питьевой воде являются содержащиеся в ней органические вещества. Одним из эффективных методов снижения образования тригалогенметанов в процессе хлорирования является удаление органических компонентов из воды на начальной стадии водоочистки. Однако наибольшее количество хлорорганических соединений образуется в воде при первичном хлорировании, до удаления из воды загрязнений. Поэтому традиционные методы решения проблемы повышенного содержания ТГМ в питьевой воде заключаются в замене хлорирования на озонирование или в применении сорбционной обработки воды.

Исследования сорбционной емкости ГАУ по ТГМ проводили по стандартной методике (ASTM (американская международная добровольная организация), метод D 5919), полученные изотермы адсорбции приведены на рисунке 5. Сорбционные свойства активного угля различны для каждого из видов ТГМ: сорбционная емкость тем выше, чем больше количество атомов брома в соединении ТГМ. Быстрее всего ГАУ адсорбирует бромформ, а медленнее всего – хлороформ.

Изотермы, представленные на рисунке 5, получены для активированного угля на каменноугольной основе. На рисунке 6 приведены изотермы, позволяющие сравнить сорбционные свойства данного вида активированного угля и угля на основе кокосовой скорлупы применительно к хлороформу. При концентрации хлороформа 0,1 мг/л сорбционная емкость кокосового угля составляет 2,8 мг адсорбируемого вещества на грамм адсорбента, для угля на каменноугольной основе – 2,0 мг, т.е. на 30 % ниже.

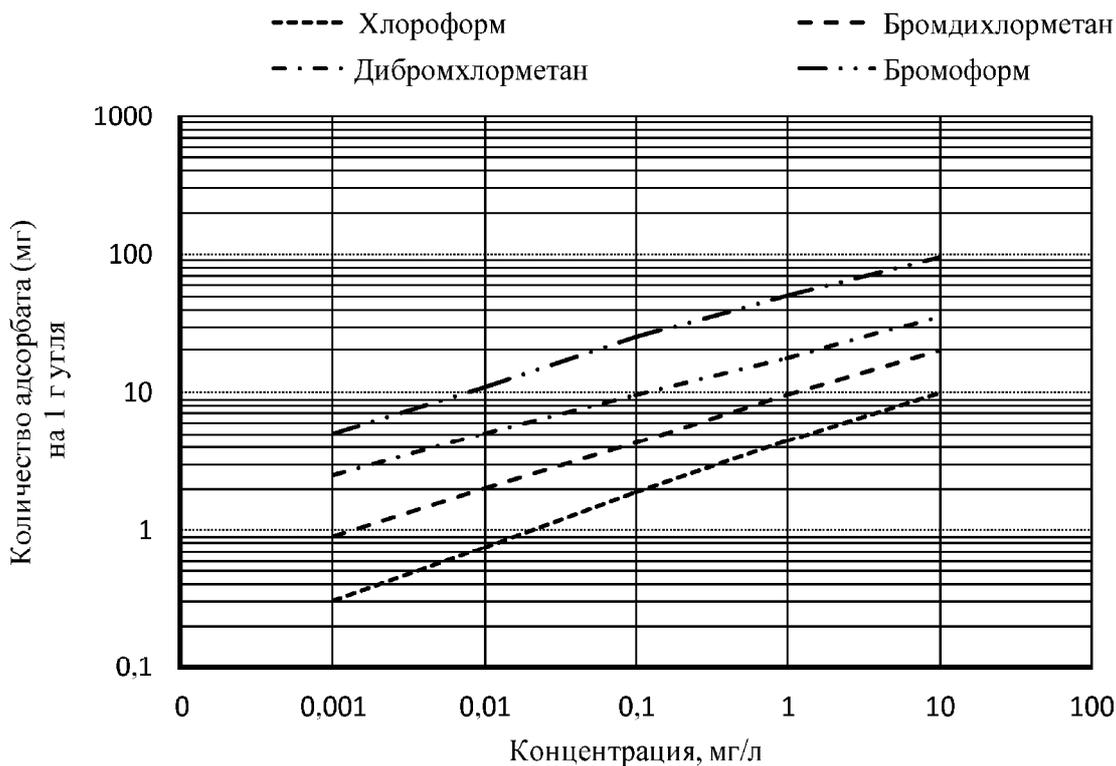


Рисунок 5. – Изотермы адсорбции хлороформа, бромдихлорметана, дибромхлорметана и бромоформа на активированном угле

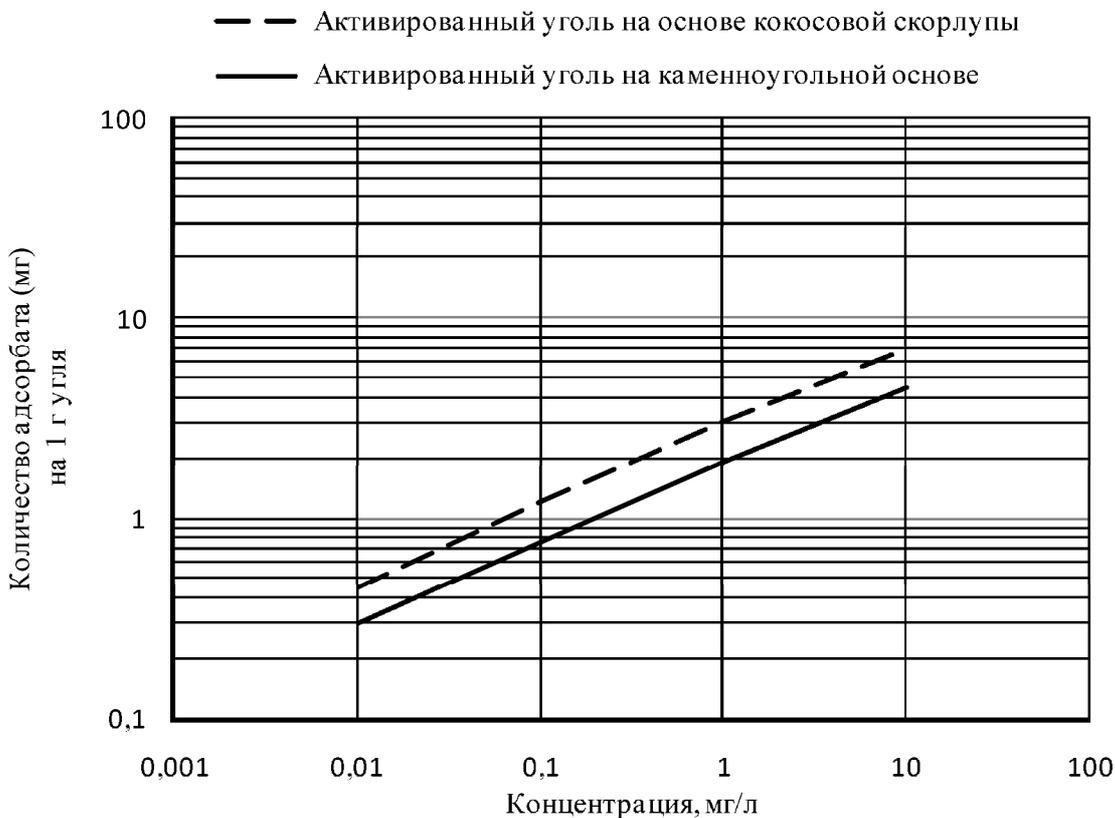


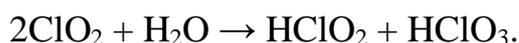
Рисунок 6. – Изотермы адсорбции хлороформа на активированном угле

Для очистки воды, содержащей большое количество органических веществ природного происхождения, желательнее последовательно использовать два фильтровальных модуля: первый – с углем на каменноугольной основе для снижения концентрации природных органических примесей и адсорбции более крупных молекул ТГМ, второй – с активированным углем на основе скорлупы кокосов для адсорбции ТГМ с малым молекулярным весом.

Большим недостатком сорбционной технологии являются высокие затраты на ее реализацию: это и капитальные затраты на дополнительные фильтровальные сооружения, и эксплуатационные затраты на замену сорбционной загрузки, промывку и обслуживание сорбционных фильтров.

На станциях очистки воды в Багдаде в качестве хлорсодержащих дезинфектантов применяются гипохлориты кальция и натрия. Ввиду довольно большого времени пребывания воды в системе водоснабжения (резервуарах и сети) и высокой температуры воды хлорирование на ближайшую перспективу остается для Багдада безальтернативным методом обеспечения санитарной надежности системы водоснабжения. Тем не менее, одним из эффективных решений проблемы образования ТГМ может стать применение диоксида хлора.

Диоксид хлора (ClO_2) используется в области подготовки воды для ее дезинфекции при одновременном осуществлении окислительных процессов. При растворении в воде диоксида хлора образуются хлористая и хлорноватая кислоты:



Образующаяся хлористая кислота очень неустойчива и разлагается:



Хлораты (ClO_3^-) обладают сильной окислительной способностью, в несколько раз превышающей окислительную способность хлорноватистой

кислоты и гипохлорит-ионов, образующихся в воде введении хлора и гипохлоритов натрия или кальция.

Диоксид хлора характеризуется важными преимуществами перед жидким хлором и гипохлоритами натрия и кальция. Применение диоксида хлора практически полностью исключает образование тригалогенметанов. Это обусловлено тем, что при наличии диоксида хлора в питьевой воде не протекают реакции хлорирования. Конечными продуктами диоксида хлора являются хлорид, хлорат и хлорит. В зависимости от качества воды от 40 % до 80 % используемого диоксида хлора преобразуются в хлорит. Вещества, вызывающие неприятный запах и вкус воды, например, фенолы и продукты их распада, окисляются диоксидом хлора и преобразуются в нейтральные по вкусу и запаху вещества, что существенно повышает качество питьевой воды.

Скорость уничтожения микроорганизмов диоксидом хлора возрастает с увеличением показателя рН. Диоксид хлора не вступает в реакцию с аммонием и его соединениями. Это существенное отличие от гипохлоритов, которые образуют с аммонием хлорамины, оказывающие отрицательное влияние на дезинфекцию и вкус обрабатываемой воды.

Диоксид хлора очень устойчив в воде. После окончания поглощения избыток сохраняется длительное время, что важно в условиях обширной сети трубопроводов и резервуаров для эффективного предотвращения повторного загрязнения воды.

В таблице 4 приведены результаты сравнения обработки воды реки Тигр гипохлоритом кальция и диоксидом хлора. Исследования проводились при максимальной возможной дозировке ClO_2 – 0,4 мг/л, при которой диоксид хлора образует побочные продукты окисления в безопасных количествах.

Таблица 4 – Образование тригалогенметанов при обеззараживании воды гипохлоритом кальция и диоксидом хлора

Тригалогенметаны	Концентрация тригалогенметанов, мг/л	
	гипохлорит кальция	диоксид хлора
Хлороформ	0,384	0,0176
Бромоформ	0,516	0,0286
Бромдихлорметан	0,284	0,0105
Дихлорбромметан	0,312	0,0178

Поскольку диоксид хлор взрывоопасен при повышенных концентрациях и не может сжигаться, храниться и перевозиться, он готовится только в форме водных растворов на месте использования с применением специального аппаратного оформления. Диоксид хлора производится из хлорита (NaClO_2) и хлора (Cl_2) или из хлорита натрия и кислоты, преимущественно соляной.

Максимальный показатель остаточного количества дезинфектанта в обработанной воде составляет для хлорита 0,2 мг/л ClO_2 [18]. Его можно соблюсти, ограничив дозу вводимого в воду диоксида хлора, если показатель ТОС (общий органический углерод) в обработанной воде, поступающей на дезинфекцию, находится на уровне не выше 1,5 мг/л.

3. Выводы

Основываясь на результатах проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Концентрация ТГМ4 в водопроводной воде Багдада не превышала 80 мкг/л – предела, указанный в части I Правил, установленных Управлением по охране окружающей среды США. Однако летом общая концентрация ТГМ в трубах превышала указанный в этапе II данного правил предел в 40 мкг/л. Полученные данные сравнивались с нормами, принятыми в США, поскольку в Ираке отсутствуют собственные нормативы, касающиеся-

ся содержания ТГМ4 в воде. Общая концентрация ТГМ летом была выше, чем зимой.

2. До 38 % от общего содержания ТГМ образуется в водопроводной воде в процессе её транспортировки по водопроводным трубам.

3. Для двух водоочистных станций наблюдалась приблизительно одинаковая картина образования ТГМ4, причем летом скорость роста ТГМ4 в водопроводной сети была выше в 1,3 – 1,4 раза чем зимой. Концентрация ТГМ4 увеличивается по мере удаления от начальной точки распределения воды одновременно с уменьшением количества остаточного свободного хлора. На количество образующихся в водопроводной воде тригалогенметанов в первую очередь влияет температура и доза хлора.

4. Наибольший процент от общего содержания ТГМ составили соединения брома, что может быть связано с содержанием бромидов в источнике. Концентрация бромированных соединений ТГМ составляет в среднем 73 – 80 %, в то время как концентрация хлороформа составляет 21 – 27 %.

5. Для уменьшения содержания ТГМ в питьевой воде, образующихся при первичном хлорировании, желательно последовательно использовать два фильтровальных модуля: первый – с углем на каменноугольной основе, второй – с активированным углем на основе скорлупы кокосов. Недостатком сорбционной технологии является ее высокая стоимость.

6. Одним из эффективных путей решения проблемы образования ТГМ является замена дезинфицирующего агента на диоксид хлора. При небольших дозах диоксида хлора (до 0,4 мг/л) концентрация образующихся хлорорганических соединений снижается более чем на порядок. Дополнительной мерой контроля ТГМ в питьевой воде может служить показатель общего органического углерода, который должен быть на уровне не более 1,5 мг/л.

Литература

1. Гончарук В.В. Современное состояние проблемы обеззараживания воды / В.В. Гончарук, Н.Г. Потапченко // Химия и технология воды. – 1998. – Т. 20, № 2. – С. 119-217.
2. Известкова Т.В. Хлорорганические поллютанты в природном источнике водоснабжения и питьевой воды г. Иванова / Т.В. Известкова, В.И. Гриневич, В.В. Костров // Инженерная геология. – 2003. – № 3. – С. 49-54.
3. Symons J.M. Factors affecting disinfection by-product formation during chloramination. / J.M. Symons, R. Xia, G.E.Jr. Speitel et al. Report No. 90728, American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, 1998.
4. Васильева А.И. Влияние хлорирования на качество воды в присутствии природных техногенных примесей: Дисс. ... канд. хим. наук. Уфа, 2008. – 190 с.
5. Richardson S.D. Drinking water disinfection by-products. / S.D. Richardson // The Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation (R.A. Meyers, ed.), Vol. 3. New York, John Wiley & Sons, 1998. – P. 1398-1421.
6. Singer P.C. Control of disinfection by-products in drinking water. / P.C. Singer // Journal of Environmental Engineering. – 1994. – V. 120, No. 4. – P. 727-744.
7. Chen W.J. Halogenated DBP concentrations in a distribution system / W.J. Chen, C.P. Weisel // J. AWWA. – 1998. – Vol. 90, No. 4. – P. 151-163.
8. Garcia-Villanova J. Formation, evaluation and modeling of trihalomethanes in the drinking water of a town: II. In the distribution system. / J. Garcia-Villanova, C. Garcia, J.A. Gomea et al. // J. Water Research. – 1997. – Vol. 31, No. 6. – P. 1405-1413.
9. National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection By-products (Stage 1 Disinfectant and Disinfection Byproduct Rule). Environmental protection agency // Federal Register. – 1998. – Vol. 63, No. 241. – P. 69389-69476.
10. National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule. Environmental protection agency // Federal Register. – 2006. – Vol. 71, No. 2. – P. 388-493.
11. Abbas H.S. Natural organic matter removal from Tigris River water in Baghdad, Iraq / H.S. Abbas, M.A. Abdul-Fattah, K.Al-N. Saadi // Desalination. – 2009. – Vol. 245. – P. 155-168.
12. Barbooti M.M. Evaluation of quality of drinking water from Baghdad, Iraq / M.M. Barbooti, G. Bolzoni, I.A. Mirza et al. // Science World J. – 2010. – Vol. 5, No. 2. – P. 35-46.
13. Brett R.W. A one-year survey of trihalomethane concentration changes within a distribution system. / R.W. Brett, R.A. Calverley // J. AWWA. – 1979. – Vol. 71, No. 9. – P. 515-520.
14. Tokmak B. Trihalomethanes and associated potential cancer risks in the water supply in Ankara, Turkey / B. Tokmak, G. Cpar, F.B. Dilek, U. Yetis // J. Environmental Research. – 2004. – Vol. 96, No. 11. – P. 345-352.
15. Коверга А.В. Снижение содержания хлорорганических соединений на московских станциях водоподготовки / А.В. Коверга, О.Е. Благова, Ю.В. Стрихар // Водоснабжение и сан. техника. – 2009. – № 10, Часть 1. – С. 39-42.
16. Krasner S.W. The impact of chlorine dose, residual, chlorine, bromide, and organic carbon on trihalomethane speciation / S.W. Krasner, M.J. Scrimanti, E.G. Means et al. // Proceedings, 1992 Water Quality Technology Conference, American Water Works Association, Denver, Colorado, Toronto, Canada (November 15-19, 1992) – P. 1745-1759.
17. Symons J.M. The influence of bromide ion on organic bromine formation during free chlorination / J.M. Symons, P.L.K. Fu, R.C. Dressman, A.A. Stevens // J. AWWA. – 1987. – Vol. 79, No. 9. – P. 114-118.

18. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы. – М.: Технорматив, 2010. – 75 с.

References

1. Goncharuk V.V. *Sovremennoe sostojanie problemy obezrazhivaniya vody* / V.V. Goncharuk, N.G. Potapchenko // *Himija i tehnologija vody*. – 1998. – Т. 20, № 2. – С. 119-217.
2. Izvestkova T.V. *Hlororganicheskie polljutanty v prirodnom istochnike vodosnabzhenija i pit'evoj vody g. Ivanova* / T.V. Izvestkova, V.I. Grinevich, V.V. Kostrov // *Inzhenernaja geologija*. – 2003. – № 3. – С. 49-54.
3. Symons J.M. *Factors affecting disinfection by-product formation during chloramination*. / J.M. Symons, R. Xia, G.E.Jr. Speitel et al. Report No. 90728, American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, 1998.
4. Vasil'eva A.I. *Vlijanie hlorirovanie na kachestvo vody v prisutstvii prirodnyh tehnogennyh primesej*: Diss. ... kand. him. nauk. Ufa, 2008. – 190 s.
5. Richardson S.D. *Drinking water disinfection by-products*. / S.D. Richardson // *The Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation* (R.A. Meyers, ed.), Vol. 3. New York, John Wiley & Sons, 1998. – P. 1398-1421.
6. Singer P.C. *Control of disinfection by-products in drinking water*. / P.C. Singer // *Journal of Environmental Engineering*. – 1994. – V. 120, No. 4. – P. 727-744.
7. Chen W.J. *Halogenated DBP concentrations in a distribution system* / W.J. Chen, C.P. Weisel // *J. AWWA*. – 1998. – Vol. 90, No. 4. – P. 151-163.
8. Garcia-Villanova J. *Formation, evaluation and modeling of trihalomethanes in the drinking water of a town: II. In the distribution system*. / J. Garcia-Villanova, C. Garcia, J.A. Gomea et al. // *J. Water Research*. – 1997. – Vol. 31, No. 6. – P. 1405-1413.
9. *National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection By-products (Stage 1 Disinfectant and Disinfection Byproduct Rule)*. Environmental protection agency // *Federal Register*. – 1998. – Vol. 63, No. 241. – P. 69389-69476.
10. *National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule*. Environmental protection agency // *Federal Register*. – 2006. – Vol. 71, No. 2. – P. 388-493.
11. Abbas H.S. *Natural organic matter removal from Tigris River water in Baghdad, Iraq* / H.S. Abbas, M.A. Abdul-Fattah, K.Al-N. Saadi // *Desalination*. – 2009. – Vol. 245. – P. 155-168.
12. Barbooti M.M. *Evaluation of quality of drinking water from Baghdad, Iraq* / M.M. Barbooti, G. Bolzoni, I.A. Mirza et al. // *Science World J*. – 2010. – Vol. 5, No. 2. – P. 35-46.
13. Brett R.W. *A One-Year Survey of Trihalomethane concentration changes within a distribution system*. / R.W. Brett, R.A. Calverley // *J. AWWA*. – 1979. – Vol. 71, No. 9. – P. 515-520.
14. Tokmak B. *Trihalomethanes and associated potential cancer risks in the water supply in Ankara, Turkey* / B. Tokmak, G. Cpar, F.B. Dilek, U. Yetis // *J. Environmental Research*. – 2004. – Vol. 96, No. 11. – P. 345-352.
15. Koverga A.V. *Snizhenie soderzhaniya hlororganicheskikh soedinenij na moskovskih stancijah vodopodgotovki* / A.V. Koverga, O.E. Blagova, Ju.V. Strihar // *Vodosnabzhenie i san. tehnika*. – 2009. – № 10, Chast' 1. – С. 39-42.
16. Krasner S.W. *The impact of chlorine dose, residual, chlorine, bromide, and organic carbon on trihalomethane speciation* / S.W. Krasner, M.J. Scilimenti, E.G. Means et al. //

Proceedings, 1992 Water Quality Technology Conference, American Water Works Association, Denver, Colorado, Toronto, Canada (November 15-19, 1992) – P. 1745-1759.

17. Symons J.M. The influence of bromide ion on organic bromine formation during free chlorination / J.M. Symons, P.L.K. Fu, R.C. Dressman, A.A. Stevens // J. AWWA. – 1987. – Vol. 79, No. 9. – P. 114-118.

18. SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'evaja voda. Gigienicheskie trebovanija k kachestvu vody centralizovannyh sistem pit'evogo vodosnabzhenija. Kontrol' kachestva. Sanitarnye pravila i normy. – M.: Tehnormativ, 2010. – 75 s.