

Исследование влияния типа хлорсодержащего дезинфектанта на качество питьевой воды и эффективность технологии водоподготовки

Т.А. Краснова¹, Ю.Л. Сколубович², Е.С. Гогина³, Д.Д. Волков⁴

¹ Кемеровский государственный университет (КемГУ); г. Кемерово, Россия;

² Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин);
г. Новосибирск-8, Россия;

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

⁴ Северо-Кузбасская энергетическая компания (СКЭК); г. Березовский, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучены эффективность и применимость хлорсодержащих дезинфектантов, используемых в практике водоподготовки для решения острой экологической проблемы, связанной с образованием вторичных загрязнений, образующихся при хлорировании природной воды. Данные загрязнения в основном представлены галогенорганическими соединениями, оказывающими негативное влияние на физиологическое состояние живых организмов, в том числе человека. Для решения этой проблемы предлагается при выборе реагентов для дезинфекции природной воды перейти на технический гипохлорит натрия взамен традиционного жидкого хлора. Технический гипохлорит натрия получают путем насыщения растворов диафрагменного едкого натра абгазным хлором на стадии сжижения производства хлора и каустической соды. Раствор гипохлорита натрия менее токсичен, не горюч и не взрывоопасен.

Материалы и методы. Проведено сравнительное исследование изменения содержания галогенорганических соединений и тяжелых металлов в воде, обработанной гипохлоритом натрия и жидким хлором в течение года. При анализе в пробах воды, обработанной жидким хлором и гипохлоритом натрия, измерялись концентрации тяжелых металлов, галогенорганических соединений и прочих показателей качества питьевой воды, регламентируемых действующими нормативными актами.

Результаты. Полученные данные показали, что использование для обеззараживания гипохлорита натрия обеспечивает более высокое качество питьевой воды, в связи с чем замена жидкого хлора техническим гипохлоритом натрия в технологии подготовки питьевой воды является целесообразной.

Выводы. Результаты проведенного исследования легли в основу многочисленных промышленных испытаний и последующего внедрения на действующих станциях водоподготовки многих крупных городов России.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоподготовка, дезинфектант, гипохлорит натрия, жидкий хлор, галогенорганические соединения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Краснова Т.А., Сколубович Ю.Л., Гогина Е.С., Волков Д.Д. Исследование влияния типа хлорсодержащего дезинфектанта на качество питьевой воды и эффективность технологии водоподготовки // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 3. Ст. 9. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.9

Investigation of the influence of chlorine-containing disinfectant type on the quality of drinking water and the effectiveness of water treatment technology

Tamara A. Krasnova¹, Yuri L. Skolubovich², Elena S. Gogina³, Dmitry D. Volkov⁴

¹ Kemerovo State University; Kemerovo, Russian Federation;

² Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin);
Novosibirsk-8, Russian Federation;

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

⁴ North Kuzbass energy company; Berezovskii, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Effectiveness and applicability of chlorine-containing disinfectants used in the practice of water treatment were studied for the purpose of solving urgent environmental problems associated with the formation of secondary pollutants gen-

erated during the chlorination of natural water. Such contaminations are mostly represented by organohalogen compounds producing strong negative effect on the physiological state of living organisms, including human beings. To solve this problem, it is proposed to use technical grade sodium hypochlorite instead of traditional liquid chlorine when selecting disinfectants for natural water. Technical grade sodium hypochlorite is obtained by saturating solutions of diaphragmatic sodium hydroxide with chlorine gas at the stage of liquefaction of chlorine and caustic soda production. Sodium hypochlorite solution is significantly less toxic, non-flammable and not explosive.

Materials and methods. A comparative study was conducted as to changes in the content of organohalogen compounds and heavy metals in water treated with sodium hypochlorite and liquid chlorine of one year duration. Analyses of water samples of water treated with liquid chlorine and sodium hypochlorite were made to measure concentrations of heavy metals, organohalogen compounds and other drinking water quality indicators, as specified by current regulations.

Results. The obtained data demonstrate that the use of sodium hypochlorite for disinfection provides a higher quality of drinking water, therefore, it is advisable to replace liquid chlorine with technical grade sodium hypochlorite in the process of water treatment as potable water.

Conclusions. The results of the study formed the basis for numerous industrial tests and subsequent implementation in existing water treatment plants in many large cities of Russia.

KEY WORDS: water treatment, disinfectant, sodium hypochlorite, liquid chlorine, organohalogen compounds

FOR CITATION: Krasnova T.A., Skolubovich Y.L., Gogina E.S., Volkov D.D. Investigation of the influence of chlorine-containing disinfectant type on the quality of drinking water and the effectiveness of water treatment technology. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2019; 9(3):9. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.3.9 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире качество жизни человека напрямую связано с питьевой водой. Во многих странах проблема получения питьевой воды стоит очень остро, в некоторых — ощущается нехватка воды питьевого качества, что оказывает значительное влияние на состояние здоровья человека. В нашей стране количество запасов пресной воды достаточное. Однако современный уровень развития производства, частое нарушение нормативов сброса сточных вод в водоемы вызвал ряд острых экологических проблем, связанных с загрязнением водного бассейна [1–3]. Особенно остро данная проблема стоит для тех областей РФ, где активно развивались и развиваются промышленные предприятия.

Кемеровская область является крупным территориально-производственным комплексом РФ. Производственные процессы многих промышленных предприятий водоемки, что создает особую нагрузку на водоемы области. В течение многих лет загрязнения попадали как с неочищенными сточными водами, так и с дождевыми и тальными водами селитебных территорий в грунтовые воды. Поэтому помимо природных органических веществ в водоисточниках содержатся также и техногенные органические примеси, поступающие со сточными водами промышленных предприятий. Природные органические вещества — гумусовые и фульвокислоты попадают в грунтовые воды в результате естественных процессов жизнедеятельности высшей водной растительности планктона, живых организмов и экстракции

из почв [4–8]. Данные вещества содержатся в водах практически всех источников. В воде водоемов в результате микробиологической, гидролитической деструкции гумусовых соединений образуются галогенсодержащие органические соединения (ГСС).

Кроме того, в процессе водоподготовки на стадии первичного хлорирования образуются галогенорганические соединения на 80–90 %. Данные соединения в основном представлены хлороформом. Хлороформ относится к группе 2Б, оказывает токсичное и канцерогенное действие на организм человека [9–14].

Во многих исследованиях, проведенных в том числе с привлечением сотрудников медицинских учреждений, отмечается возможность развития у людей онкологических заболеваний, чаще всего рака почек, печени, поджелудочной железы, мочевого пузыря, тонкой и прямой кишки, связанных с употреблением хлорированной воды. Выявлено влияние галогенсодержащих углеродов на репродуктивную функцию у женщин. Употребление беременными женщинами воды, обеззараживание которой проводилось с применением активного хлора, может привести к рождению детей с тяжелейшими врожденными дефектами, в частности, с пороками сердца и мозга.

К тому же нельзя не учитывать и влияние активного хлора, используемого для обеззараживания, на состояние трубопроводов системы водоснабжения [15–17].

Таким образом, вопрос замены хлора дезинфектантом, который обеспечит более высокое

качество питьевой воды по содержанию галогенорганических соединений представляет особую актуальность. В качестве альтернативы жидкому хлору при обеззараживании природной воды нами предложен технический гипохлорит натрия.

Технический гипохлорит натрия получают путем насыщения растворов диафрагменного едкого натра абгазным хлором на стадии сжижения производства хлора и каустической соды, содержание активного хлора в нем составляет 120–160 г/м³, а щелочи — 40–90 г/дм³. Раствор гипохлорита натрия значительно менее токсичен, не горюч и не взрывоопасен¹ [18].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования был проведен сравнительный анализ изменения содержания галогенорганических соединений и тяжелых металлов в воде, обработанной гипохлоритом натрия и жидким хлором в течение года. При анализе в пробах воды, обработанной жидким хлором и гипохлоритом натрия, измерялись концентрации следующих веществ: цинк, свинец, медь, кадмий, марганец, серебро, никель, ртуть; определялись температура, запах, привкус, мутность, цветность, рН среды, хлориды, аммонийный азот, нитриты, нитраты, щелочность, остаточный хлор, фенолы, сульфаты, общая жесткость, фтор, сухой остаток, остаточный алюминий, коли-титр, общее железо, БПКн, сумма ГСС. Отдельно отслеживались концентрации хлорсодержащих веществ: хлороформа, тетрахлорметана, бромдихлорметана, дибромхлорметана, сумма летучих галогенорганических соединений (ЛГС), 1,2-дихлорметана. Исследования проводились в течение года для оценки сезонных колебаний концентраций загрязняющих веществ и продуктов их взаимодействия с дезинфектантами.

¹ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. // American Public Health Association. 1998.

С целью выбора аппаратурного оформления разработанной технологии проведены исследования по подбору материалов, эффективно работающих в растворах с рекомендуемыми концентрациями гипохлорита натрия. Была испытана стойкость материалов, применяемых для изготовления насосов, емкостей, прокладок, фланцев, поплавков стали марки 12 × 18 Н9Т, дюралюминия, сплава титана ВТ1-0 (сплав титана с алюминием, содержание последнего — менее 1 %), фторопласта, эбонита, полиэтилена, полистирола, поливинилхлорида и оргстекла в растворах гипохлорита натрия с массовой долей активного хлора 20–122 г/дм³ в течение 3–100 суток.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления влияния типа дезинфектанта на качество питьевой воды осуществлено сравнительное исследование изменения содержания галогенорганических соединений и тяжелых металлов в воде, обработанной гипохлоритом натрия и жидким хлором в течение года. Результаты определения галогенорганических соединений в воде, обработанной хлором и гипохлоритом натрия, а также результаты определения токсичности при использовании биотестирования на эритроцитах приведены в табл. 1 и 2.

Для анализа и оценки перспективы внедрения технического гипохлорита натрия в технологические процессы водоподготовки было проведено комплексное исследование влияния данного дезинфектанта на качество очистки питьевой воды.

Полученные результаты (рис. 1) показывают, что в зимний период содержание галогенорганических соединений невысокое, отличается стабильностью, причем в пробах, обработанных гипохлоритом натрия, концентрация ГСС в среднем на 7,5 % ниже. В период март–август изменение содержания ГСС носит скачкообразный характер и периодически имеет значение выше ПДК. Периодически высокая концентрация ГСС отмечена и в р. Томи. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, при тая-

Табл. 1. Результаты определения галогенорганических соединений в воде, обработанной хлором и гипохлоритом натрия

Доза активного хлора, мг/дм ³	Содержание галогенорганических соединений, мг/дм ³					
	Хлороформ		Четыреххлористый углерод		Бромдихлорметан	
	Cl ₂	NaClO	Cl ₂	NaClO	Cl ₂	NaClO
0,2	0,0140	0,0135	0,00056	0,00046	0,00140	0,00130
0,3	0,0159	0,0140	0,00059	0,00051	0,00155	0,00151
0,4	0,0167	0,0146	0,00065	0,00063	0,00160	0,00138
0,5	0,0178	0,0148	0,00073	0,00065	0,00167	0,00149
0,6	0,0178	0,0154	0,00077	0,00064	0,00172	0,00152
0,7	0,0182	0,0163	0,00081	0,00070	0,00175	0,00157

Табл. 2. Биотестирование на эритроцитах, усредненные данные двенадцати опытов

Доза активного хлора, мг/дм ³	Токсичность (S)	
	Хлор	Гипохлорит натрия
0,2	0,51	0,46
0,3	0,63	0,54
0,4	0,71	0,61
0,5	0,87	0,79
0,6	0,89	0,82
0,7	1,00	0,93

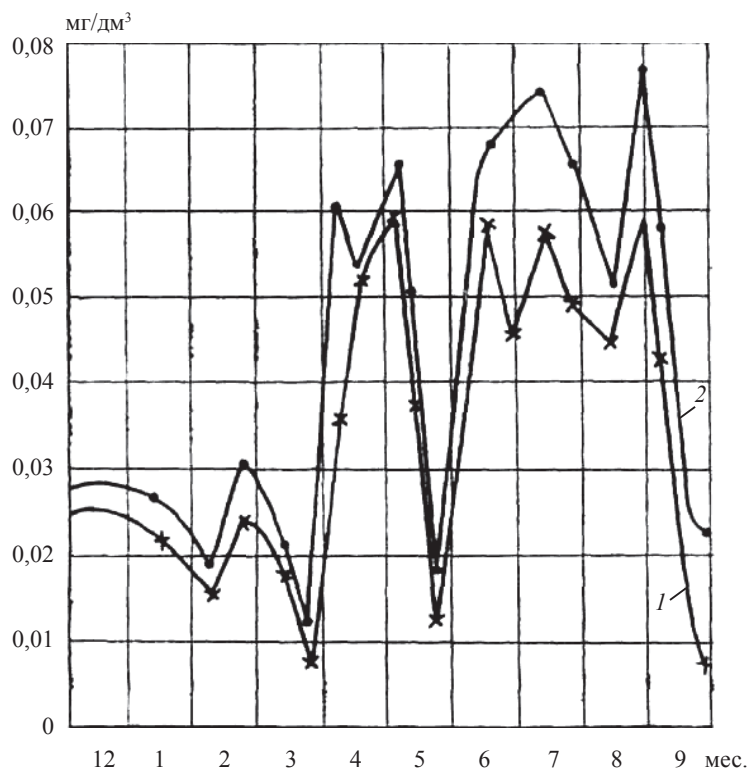


Рис. 1. Изменение суммы ГСС в пробах по месяцам: 1 — речная вода, обработанная гипохлоритом натрия; 2 — речная вода, обработанная жидким хлором

нии снега, дождях, т.е. при смыве с городских улиц, промплощадок и т.д. накопившихся загрязнений, в реку попадает значительное количество органических веществ природного и антропогенного происхождения.

Во-вторых, в весенне-летний период увеличивается температура воды в водоемах. Известно, что при увеличении концентрации и температуры скорость химических процессов растет, в результате в водоемах образуется больше галогенсодержащих веществ, что повышает их концентрацию в питьевой воде. При первичном хлорировании количество ГСС увеличивается. Существует обоснованное мнение, что предшественниками хлорсодержащих органических соединений являются гумусовые кислоты (ГК) и фульвокислоты (ФК). Эти соединения имеют

сложный состав в виде сетки полимеризованного углерода с боковыми цепями (рис. 2, 3) [4].

В боковых цепях располагаются карбоксильные, карбонильные, метиленовые, гидроксильные и амидные группы, которые могут вступать в реакции с хлором через стадии хлорирования с промежуточной молекулярной массой. Именно наличием в молекулах гумусовых и фульвокислот различных функциональных групп объясняется появление при хлорировании целого набора галогенорганических веществ (табл. 3).

Следует отметить, что независимо от времени года, содержания органических и минеральных компонентов в р. Томи концентрация ГСС в питьевой воде на 15,7–33,6 % (в зависимости от сезона) ниже при использовании в качестве дезинфектанта

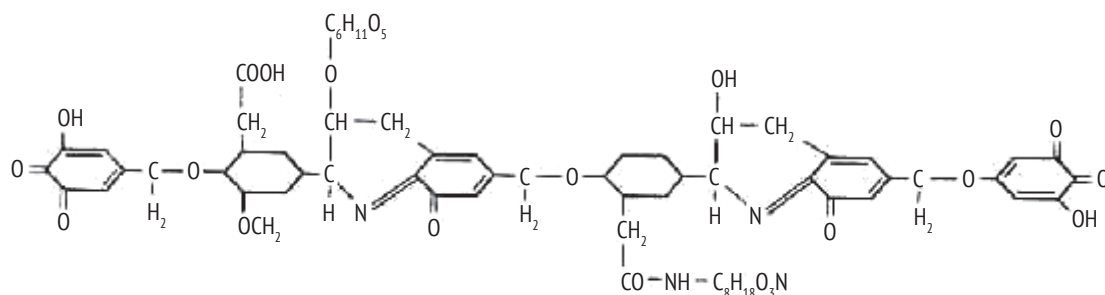


Рис. 2. Структурная формула гуминовой кислоты

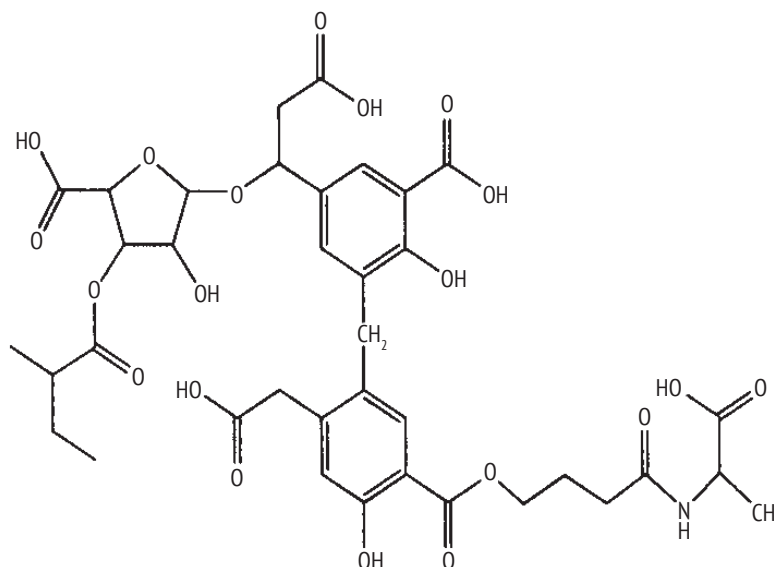


Рис. 3. Структурная формула фульвокислот

Табл. 3. Результаты определения качества воды, обработанной хлорсодержащими окислителями

Ингредиенты, мг/дм ³	Объекты исследования									
	Вода, обработанная жидким хлором					Вода, обработанная техническим гипохлоритом натрия				
	14.10	23.10	16.11	03.12	16.12	14.10	23.10	16.11	03.12	16.12
Хлороформ	0,0202	0,0248	0,0293	0,0021	0,0014	0,0181	0,022	0,0268	0,0014	0,0015
Тетрахлорметан (четырёххлористый углерод)	0,0014	0,00012	0,0001	0,00018	0,00005	0,0008	0,00006	0,00003	Следы	0,00005
Бромдихлор-метан	0,005	0,006	0,0018	0,0003	0,0002	0,003	Следы	0,0080	0,0003	0,0002
Дибромхлор-метан	Следы	0,0004	0,0008	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,0008	Не обн.	Не обн.
Сумма ЛГС	0,0266	0,0313	0,038	0,00258	0,00165	0,0211	0,0211	0,0356	0,0017	0,00175
1,2-дихлорэтан	Не обнаружен					Не обнаружен				

гипохлорита натрия, чем при применении активного хлора. Натрий-ион, вероятно, обладает ингибирующим действием и подавляет реакции образования ГСС [4].

Содержание тяжелых металлов в воде после хлорирования невелико и имеет тенденцию к уменьшению в период с марта по сентябрь, при этом концентрация всех обнаруженных металлов несколько

ниже в воде, которая была обработана гипохлоритом натрия. В сентябре практически во всех пробах все тяжелые металлы не обнаружены. В октябре–декабре в небольших количествах появились свинец, медь и цинк (табл. 4, 5).

Снижение концентрации тяжелых металлов в присутствии гипохлорита натрия может быть связано с окислением металлов хлором в щелочной

Табл. 4. Результаты определения тяжелых металлов в воде, обработанной жидким хлором

Дата отбора	Ингредиенты, мг/дм ³							
	Цинк	Свинец	Медь	Кадмий	Марганец	Серебро	Никель	Ртуть
01.12	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы
15.12	0,03	0,005	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы
12.01	0,04	0,01	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,02	Следы
27.01	0,04	0,005	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,001	Следы
08.02	0,048	0,005	0,12	0,0002	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01
22.02	0,045	Не обн.	0,05	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01
09.03	0,05	0,01	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01
22.03	0,008	0,005	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
05.04	0,04	0,002	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
19.04	0,04	0,008	0,002	Следы	Не обн.	Не обн.	0,001	0,01
06.05	0,04	0,003	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,001	0,01
25.05	0,02	0,003	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
16.06	0,01	0,002	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
29.06	0,02	0,005	0,005	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы	0,01
13.07	0,01	0,002	0,04	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы	0,01
28.07	0,01	0,002	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,001	Следы
31.08	0,01	0,001	0,002	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,001	Следы
20.09	Следы	Следы	Следы	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
30.09	Следы	Следы	Следы	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
14.10	Следы	0,003	Следы	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
23.10	Следы	0,005	Следы	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
16.11	0,03	0,004	0,002	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы
03.12	0,03	0,004	0,002	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы

Табл. 5. Результаты определения тяжелых металлов в воде, обработанной гипохлоритом натрия

Дата отбора	Ингредиенты, мг/дм ³							
	Цинк	Свинец	Медь	Кадмий	Марганец	Серебро	Никель	Ртуть
01.12	0,01	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы
15.12	0,01	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы
12.01	0,02	0,008	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы
27.01	0,03	0,003	Не обн.	0,0001	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы
08.02	0,032	0,004	0,01	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01
22.02	0,040	Не обн.	0,005	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01
09.03	0,03	0,008	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01
22.03	Следы	0,002	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
05.04	0,02	0,001	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
19.04	0,02	0,005	0,012	Следы	Не обн.	Не обн.	0,001	Следы
06.05	0,03	0,002	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,001	Следы
25.05	0,01	0,002	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
16.06	0,01	0,002	0,003	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
29.06	0,01	0,005	Следы	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01
13.07	0,01	0,002	Следы	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01
28.07	0,01	0,002	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,001	Следы

Окончание табл. 5

Дата отбора	Ингредиенты, мг/дм ³							
	Цинк	Свинец	Медь	Кадмий	Марганец	Серебро	Никель	Ртуть
31.08	0,008	0,001	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,001	Следы
20.09	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
30.09	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
14.10	Следы	0,003	Следы	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
23.10	Следы	0,003	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
16.11	0,02	0,004	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы
03.12	0,01	0,004	0,001	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Следы

среде, что способствует образованию малорастворимых гидроксидов тяжелых металлов.

Содержание в пробах других компонентов, нормируемых СанПиН 2.1.4.1074-01, либо ниже

при хлорировании гипохлоритом натрия, либо имеет одинаковые значения (табл. 6).

Полученные результаты показали, что применение для обеззараживания питьевой воды гипохло-

Табл. 6. Данные качества воды, подготовленной с использованием технического гипохлорита натрия (I) и хлора (II)

Показатели качества воды	Месяц											
	Февраль		Апрель		Май		Июль		Октябрь		Декабрь	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Температура, °С	0,2	0,2	4	4	6	6	22	22	8	8	0,2'	0,2
Запах, балл	1 хл.	2 хл.	1 хл.	2 хл.	1 хл.	2 хл.	1 хл.	2 хл.	1 хл.	2 хл.	1 хл.	2 хл.
Привкус, балл	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Мутность, мг/дм ³	0,5	0,54	1,3	1,24	0,8	0,9	0,6	0,5	0,8	0,9	0,8	0,9
Цветность, град	7	9	11	12	10	9	9	10	5,0	3,9	10,5	10
pH среды	7,8	8,0	7,6	7,7	7,7	7,8	6,7	6,73	7,52	7,5	7,5	7,8
Хлориды, мг/дм ³	10,2	10,1	10,5	9,8	4,5	4,28	9,0	10,0	5,0	3,9	10,5	10,0
Азот, аммиак, мг/дм ³	0,12	0,1	0,38	0,3	0,05	0,045	0,07	0,06	0,07	0,14	0,10	0,12
Нитриты, мг/дм ³	0,002	0,002	0,018	0,01	0,003	0,002	0,004	0,005	0,002	0,002	0,01	0,01
Нитраты, мг/дм ³	0,16	0,18	0,9	1,02	0,5	0,55	0,28	0,32	0,48	0,46	0,3	0,4
Щелочность, ммоль/дм ³	2,3	2,4	0,8	0,8	0,55	0,5	1,4	1,5	1,2	1,2	2,0	1,9
Остаточный хлор суммарный, мг/дм ³	0,8	0,6	0,42	0,5	0,6	0,67	0,3	0,3	0,6	0,3	0,65	0,6
Остаточный хлор свободный, мг/дм ³	0,7	0,57	0,3	0,11	0,6	0,61	0,07	0,07	0,5	0,2	0,35	0,3
Фенол, мг/дм ³	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,001	0,002	0,002	0,002	Не обн.	Не обн.
Сульфаты, мг/дм ³	19	19,4	22	23	15	13,5	10	10,5	18	18	22	22,5
Общая жесткость, ммоль/дм ³	2,1	2,0	2,2	2,25	1,5	1,55	0,9	0,85	1,5	1,5	1,6	1,6
Фтор, мг/дм ³	0,09	0,92	0,1	0,11	0,1	0,96	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,06
Сухой остаток, мг/дм ³	140	138	98	92	72	78	80	86	81	86	84	87
Остаточный Al, мг/дм ³	–	–	0,09	0,09	0,11	0,1	0,1	0,08	0,04	0,07	0,08	0,07
Коли-титр	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333
Железо общее, мг/дм ³	0,067	0,07	0,14	0,13	0,01	0,014	0,013	0,02	0,15	0,18	Не обн.	Не обн.
БПК-20	0,59	0,68	1,14	1,08	1,4	1,2	2,0	2,1	2,0	1,95	1,0	0,5
Сумма ГСС, мг/дм ³	0,022	0,031	0,036	0,057	0,018	0,03	0,05	0,065	0,018	0,025	0,02	0,024

рита натрия обеспечивает более высокое качество, поэтому замена жидкого хлора техническим гипохлоритом натрия в технологии подготовки питьевой воды является целесообразной.

Для реализации предложенного технического решения в практике водоподготовки было проведено сравнительное комплексное исследование эффективности использования дезинфектантов на основных стадиях технологии водоподготовки: первичного обеззараживания (определение хлорпоглощаемости, коагуляции, коррозионной активности воды, качества питьевой воды).

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что доза активного хлора, необходимая для получения воды требуемого качества, ниже при использовании гипохлорита натрия, при этом форма остаточного хлора сохраняется (свободный хлор), в то время как при обработке воды жидким хлором форма остаточного хлора зависит от сезонного изменения качества речной воды.

Тип используемого дезинфектанта не влияет на процесс коагуляции. Коррозионная стойкость стальных труб в воде, подготовленной с использованием гипохлорита натрия (в зависимости от качества воды и гидродинамического режима в трубопроводах), в реальных условиях эксплуатации системы водоснабжения г. Кемерово более чем в 4 раза ниже, чем в воде, обработанной с использованием активного хлора. Содержание ГСС в очищенной воде в среднем на 25 % ниже при использовании гипохлорита натрия, чем при применении жидкого хлора. Следует отметить, что независимо от сезона применение гипохлорита натрия стабильно обеспечивает качество воды, соответствующее требованиям Сан-ПиН 2.1.4.1074-01 по содержанию всех нормируемых компонентов, в том числе ГСС.

Экспериментальные данные показали низкую стойкость нержавеющей стали, дюралюминия, эбонита и поливинилхлорида в концентрированных растворах гипохлорита натрия. В то же время такие материалы, как титановый сплав ВТ1-0, фторопласт, оргстекло, полистирол за достаточно продолжительный период контакта с растворами гипохлорита натрия различных концентраций не изменили внешнего вида, прочности, веса, что позволило сделать вывод о химической стойкости этих материалов в изучаемых средах и рекомендовать их к использованию для работы в концентрированных растворах гипохлорита натрия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании данных, полученных в ходе настоящего исследования, и многочисленных промышленных испытаний в РФ разработана технология использования технического гипохлорита натрия в качестве дезинфектанта при подготовке питьевой воды из поверхностных и подземных источников, впервые внедренная на действующих городских очистных сооружениях в Кемеровской области. В настоящее время 93 % водоподготовительных сооружений Кузбасса используют в качестве дезинфектанта гипохлорит натрия. Кроме того, технология обеззараживания техническим гипохлоритом натрия внедрена на более 30 водоподготовительных сооружениях городов и крупных поселков Новосибирской, Томской областей и Красноярского края. Большой опыт внедрения гипохлорита натрия в качестве дезинфектанта имеется и на станциях водоподготовки г. Москвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елдышев Ю.Н. В стране беда — питьевая вода. Еще об одной крупной государственной проблеме // Экология и жизнь. 2008. № 9 (82). С. 19–23.
2. Иксанова Т.И., Малышева А.Г., Растянников Е.Г., Егорова Н.А., Красовский Г.Н., Николаев М.Г. Гигиеническая оценка комплексного действия хлороформа питьевой воды // Гигиена и санитария. 2006. № 2. С. 8–12.
3. Егорова Н.А., Букишук А.А., Красовский Г.Н. Гигиеническая оценка продуктов хлорирования питьевой воды с учетом множественности путей поступления в организм // Гигиена и санитария. 2013. Т. 92. № 2. С. 18–24.
4. Славинская Г.В. Влияние хлорирования на качество питьевой воды // Химия и технология воды. 1991. Т. 13. № 11. С. 1013–1022.
5. Муганлинский Ф.Ф., Трегер Ю.А., Люшин М.М. Химия и технология галогенорганических соединений. М. : Химия, 1991. С. 91–95.
6. Краснова Т.А., Сколубович Ю.Л. Обеззараживание воды в системе питьевого водоснабжения. Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. 114 с.
7. Pervov A.G., Andrianov A.P., Gorbunova T.P., Bagdasaryan A.S. Membrane technologies in the solution of environmental problems // Petroleum Chemistry. 2015. Vol. 55. Issue 10. Pp. 879–886. DOI: 10.1134/s0965544115100199
8. Orlov V. Computer simulation of optimal thickness of polyurea coating using for trenchless renovation of potable water pipes // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. Pp. 1168–1175. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.835

9. Orlov V.A., Shcherbakov V.I., Dezhina I.S. Investigation of hydrophobic characteristics and transferring capacity of protective coatings used for trenchless pipeline renovation // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2018. No. 3 (39). Pp. 32–42.
10. Pervov A.G. Precipitation of calcium carbonate in reverse osmosis retentate flow by means of seeded techniques — a tool to increase recovery // Desalination. 2015. Vol. 368. Pp. 140–151. DOI: 10.1016/j.desal.2015.02.024
11. Pervov A.G., Andrianov A.P., Yurchevskiy E.B. Principles of utilization of reverse osmosis concentrate at water treatment facilities // Petroleum Chemistry. 2015. Vol. 55. Issue 10. Pp. 871–878. DOI: 10.1134/S0965544115100187
12. Первов А.Г., Андрианов А.П., Горбунова Т.П., Юрчевский Е.Б. Технология утилизации концентрата установок обратного осмоса в системах водоподготовки // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 8. С. 20–26.
13. Первов А.Г., Андрианов А.П., Чухин В.А., Ефремов Р.В., Рудакова Г.Я., Попов К.И. Определение эффективности ингибиторов нового поколения в обратноосмотических установках // Мембраны и мембранные технологии. 2016. Т. 6. № 3. С. 268–282.
14. Pervov A.G., Andrianov A.P. Application of membranes to treat wastewater for its recycling and reuse: new considerations to reduce fouling and increase recovery up to 99 percent // Desalination and Water Treatment. 2011. Vol. 35. Issue 1–3. Pp. 2–9. DOI: 10.5004/dwt.2011.3133
15. Чистякова А.В., Чухин В.А., Андрианов А.П. Автоматизация инженерных систем зданий. Системы водоснабжения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2016. № 1 (97). С. 48–54.
16. Андрианов А.П., Бастрыкин Р.И., Чухин В.А. Изучение коррозионных отложений в трубопроводах систем подачи и распределения питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 7. С. 30–36.
17. Orlov V., Andrianov A. The selection of priority pipe sections for sewer network renovation // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 580–583. Pp. 2398–2402. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.580-583.2398
18. Pervov A.G., Andrianov A.P., Chukhin V.A., Efremov R.V. The development and evaluation of new biodegradable acrylic acid based antiscalants for reverse osmosis // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No. 5. Pp. 3979–3986.

Поступила в редакцию 31 июня 2019 г.

Принята в доработанном виде 5 августа 2019 г.

Одобрена для публикации 30 августа 2019 г.

ОБ АВТОРАХ: **Тамара Андреевна Краснова** — доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет (КемГУ); 650056, г. Кемерово, б-р Строителей, д. 47; ID РИНЦ: 522890, Scopus: 7006845214; ecolog1528@yandex.ru;

Юрий Леонидович Сколупович — доктор технических наук, профессор, ректор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, г. Новосибирск-8, ул. Ленинградская, д. 113; ID РИНЦ: 437079, Scopus: 36880146500; viv@sibstrin.ru;

Елена Сергеевна Гогина — кандидат технических наук, доцент, проректор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ID РИНЦ: 298730, Scopus: 55841908100; goginaes@mgsu.ru;

Дмитрий Дмитриевич Волков — заместитель генерального директора, Северо-Кузбасская энергетическая компания (СКЭК); 650056, г. Березовский, ул. Мира, д. 1 а; ecolog1528@yandex.ru.

INTRODUCTION

In the contemporary world, the life quality of a human being is directly associated with its access to potable water. In many countries, impeded access to potable water is a burning problem, in some of them potable quality water is deficient, and it is of detrimental influence on the well-being of the population. In our country, the reserves of fresh water are sufficient. However, the contemporary level of industrial development, frequent infringement of wastewater treatment requirements before the water is returned back to natural water

basins have caused a number of acute problems for the environment due to the contamination of water basins [1–3]. This problem is especially vital for those regions of the RF where active industrial development was and is observed.

Kemerovo Region large territorial production complex of the Russian Federation. Manufacturing processes of a multitude of industrial enterprises are water-intensive, imposing extreme load on the water basins of the region. Over many years, the ingress of pollutants into the ground water has been stipulated both by untreated wastewater, and by precipitation

and melt waters of territories intended for construction development. That is why, along with natural organic substances, the water sources contain also man-caused organic admixtures coming with the wastewater of industrial enterprises. Natural organic substances are humus and fulvic acids, their ingress into the ground water is caused by natural vital activities of aqueous Embryophytes, plankton, living organisms and by extraction from soils [4–8]. Such substances are contained in the water of almost all sources. In water basins, as a result of microbial, hydrolytic destruction of humus compounds, halogen-containing organic compounds (HCC) are generated.

In addition, the water treatment process generates organohalogen compounds to 80–90 % in the stage of the primary chlorination. These substances are mostly represented by chloroform. Chloroform is assigned to 2B Group, being toxic and carcinogenic to the human organism [9–14].

In multitude of studies conducted also with involvement of employees of health care institutions, possibilities of cancer development in humans were registered, especially that of kidneys, liver, pancreas, bladder, small intestine and rectum, associated with the consumption of chlorinated water. Detrimental influence of halogen carbons on the feminine fertility was determined. If pregnant women consume water disinfected using active chlorine, children can be born with severe congenital defects, in particular, with cardiac and cerebral lesions.

Not the last, and not the least factor is the aggressiveness of the active chlorine used for water disinfection to the pipelines of the water supply utilities [15–17].

Thus, the problem of replacement of chlorine with a disinfectant which assures a higher potable water quality in terms of organohalogen compound content is absolutely urgent. As an alternative to liquified chlorine as a disinfectant of natural water, we propose technical grade sodium hypochlorite.

Technical grade sodium hypochlorite is obtained by saturating solutions of diaphragmatic sodium hydroxide with chlorine gas at the stage of liquefaction of chlorine and caustic soda production, the active chlorine content thereof is 120–160 g/m³, the alkali content is 40–90 g/dm³. Sodium hypochlorite solution is far less toxic, non-flammable and not explosive [18, 19].

MATERIALS AND METHODS

A comparative analysis was conducted in the course of the studies as to changes in the content of organohalogen compounds and heavy metals in water treated with sodium hypochlorite and liquid chlorine of one year's duration. During the analysis, in water samples treated with liquified chlorine and with sodium hypochlorite concentrations of the following substances were measured: zinc, lead, copper, cadmium, manga-

nese, silver, nickel, mercury; also measured were such values as temperature, odor, flavor, turbidity, color, pH, contents of chlorides, ammonia nitrogen, nitrites, nitrates, alkalinity, residual chlorine, phenols, sulphates, total hardness, fluorine, dry rest, residual aluminum, coli titer, total iron, BOD_n, HCC sum. Separately traced were concentrations of chlorine-containing substances: chloroform, 4-chloromethane, bromodichloromethane, 2-bromochloromethane, sum of volatile organohalogen compounds (VOC), 1,2-bichloromethane. The studies were conducted within a year's period to account for seasonal fluctuation of the pollutant concentrations and those of their reaction products with disinfectants.

In order to implement the developed process in process equipment, studies have been made as to material selection, to provide for efficient operation with solutions with recommended sodium hypochlorite concentrations. Resistance of materials used for manufacturing of pumps, tanks, gaskets, flanges, floats was tested: stainless steel 12Cr18Ni9Ti, duralumin, BT1-0 titanium alloy (alloy of titanium and aluminum, with less than 1 % content of the latter), Teflon, ebonite, polyethylene, polystyrene, polyvinylchloride and Plexiglas B in sodium hypochlorite solutions with mass content of active chlorine 20–122 g/dm³ within 3–100 days.

RESULTS

To determine the influence of the disinfectant type on the potable water quality, a comparative study was conducted as to changes in the content of organohalogen compounds and heavy metals in water treated with sodium hypochlorite and liquid chlorine of one year's duration. The determined contents of organohalogen compounds in water treated with chlorine and sodium hypochlorite, as well as the determined toxicity values based on biological erythrocyte tests are shown in Tables 1 and 2.

For the analysis and the evaluation of prospects of the introduction of technical grade sodium hypochlorite in water treatment processes, a comprehensive investigation of the influence of this disinfectant on the treatment quality of potable water was carried out.

The obtained results (Fig. 1) demonstrate in winter a relatively low and stable content of organohalogen compounds, thereby in the samples treated with sodium hypochlorite, the average HCC concentration was 7.5 % lower than in the samples treated with chlorine. During the period from march to August, a surge-type contents change of the halogen-containing organic compounds is observed with regular peaks beyond the MAC values. Regularly, high HCC concentrations were also observed in the Tom' River. This is stipulated by two reasons. Firstly, considerable amounts of natural and man-induced organic substances get into the river during snow melting, rains, that is, when the accumulated pollutants are flushed down into the river from the streets of the city, industrial grounds, etc.

Table 1. Determined contents of organohalogen compounds in water treated with chlorine and sodium hypochlorite

Active chlorine dose, mg/dm ³	Contents of organohalogen compounds, mg/dm ³					
	Chloroform		Carbon tetrachloride		Bromodichloromethane	
	Cl ₂	NaClO	Cl ₂	NaClO	Cl ₂	NaClO
0.2	0.0140	0.0135	0.00056	0.00046	0.00140	0.00130
0.3	0.0159	0.0140	0.00059	0.00051	0.00155	0.00151
0.4	0.0167	0.0146	0.00065	0.00063	0.00160	0.00138
0.5	0.0178	0.0148	0.00073	0.00065	0.00167	0.00149
0.6	0.0178	0.0154	0.00077	0.00064	0.00172	0.00152
0.7	0.0182	0.0163	0.00081	0.00070	0.00175	0.00157

Table 2. Erythrocyte biological testing, averaged data of twelve experiments

Active chlorine dose, mg/dm ³	Toxicity (S)	
	Chlorine	Sodium hypochlorite
0.2	0.51	0.46
0.3	0.63	0.54
0.4	0.71	0.61
0.5	0.87	0.79
0.6	0.89	0.82
0.7	1.00	0.93

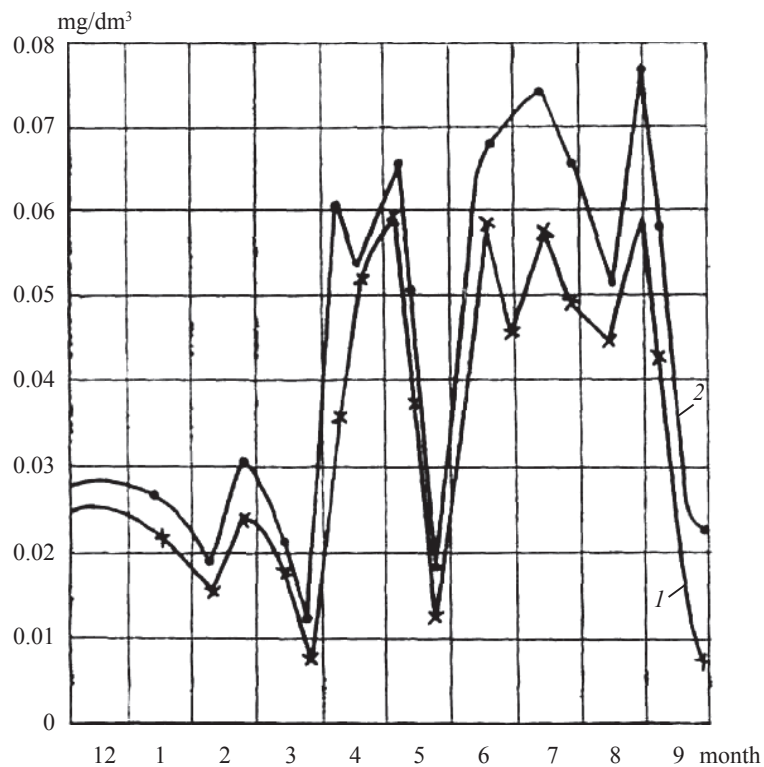


Fig. 1. Varying of the HCC sum in samples by months: 1 — river water treated with sodium hypochlorite; 2 — river water treated with liquified chlorine

Secondly, in spring and in summer, the water temperature in the water basins grows. It is well-known, that increased concentrations and temperatures accelerate the rates of chemical processes. That is, why, in water basins more halogen-containing substances are generated leading to their concentration increase in the potable water. At primary chlorination, the quantity of HCC is increased. There is a well-substantiated opinion that the precursors of chlorine-containing organic compounds are humus acids (HA) and fulvic acids (FA). These compounds have complicated compositions in form of a network of polymerized carbon with lateral chains (Fig. 2, 3) [4].

In the lateral chains, there are carboxyl, carbonyl, methylene, hydroxyl and amide groups which can react with chlorine in chlorination stages with intermediate molecular weight. It is the presence of different functional groups in the molecules of humus and fulvic acids that explains the occurrence of a spectrum of organohalogen substances during the chlorination (Table. 3).

It should be noted, that independently on the season or the contents of organic and mineral components in the Tom' River, the concentration of halogen-containing organic compounds in the potable water is by 15.7–33.6 % (dependent on the season) lower when so-

dium hypochlorite is used as disinfectant, and not the active chlorine. The sodium ion obviously has inhibiting effect suppressing HCC generation reactions [4].

The contents of heavy metals in the water after chlorination are not high with a tendency to reduction within the period from March to September, thereby the concentrations of all metals detected in the water is a little bit lower in the samples treated with sodium hypochlorite. In September, all heavy metals were not detected almost in all samples. From October to December, small quantities of lead, copper and zinc appeared (Tables 4, 5).

The reduction of the concentration of heavy metals in the presence of sodium hypochlorite can be stipulated by oxidizing the metals with chlorine in alkaline medium which stimulates formation of only slightly soluble hydroxides of heavy metals.

Contents of other components in the samples subject to SanPiN 2.1.4.1074-01 at chlorination with sodium hypochlorite are either lower or have the same values (Table 6).

The obtained results demonstrate that the use of sodium hypochlorite for disinfection provides a higher quality of drinking water, therefore, it is advisable to replace

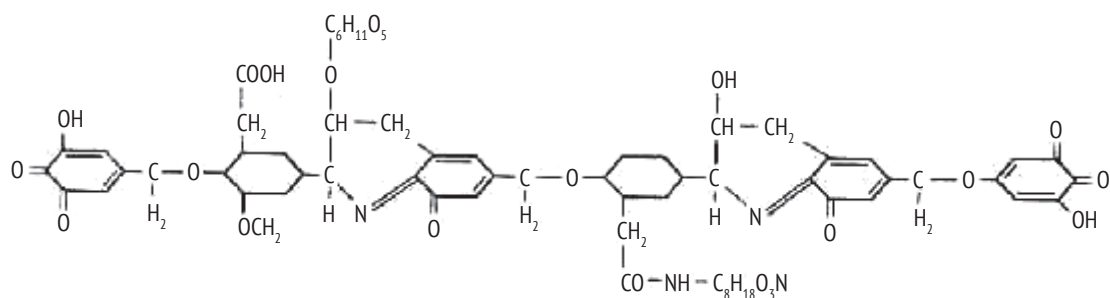


Fig. 2. Structural formula of humus acid

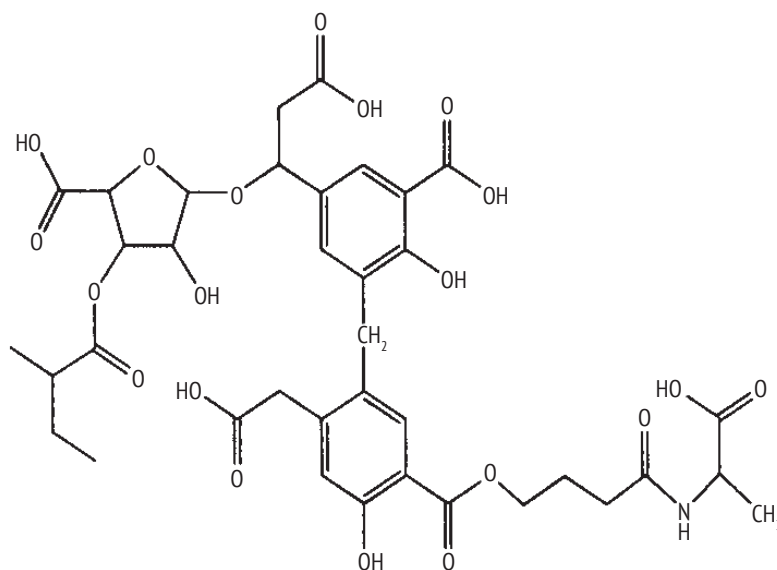


Fig. 3. Structural formula of fulvic acids

Table 3. Determined contents of organohalogen compounds in water treated with chlorine-containing oxidants

Ingredients, mg/dm ³	Samples									
	Water treated with liquified chlorine					Water treated with technical grade sodium hypochlorite				
	14.10	23.10	16.11	03.12	16.12	14.10	23.10	16.11	03.12	16.12
Chloroform	0.0202	0.0248	0.0293	0.0021	0.0014	0.0181	0.022	0.0268	0.0014	0.0015
4-chloromethane (Carbon tetrachloride)	0.0014	0.00012	0.0001	0.00018	0.00005	0.0008	0.00006	0.00003	Trace quantities	0.00005
Bromodichloromethane	0.005	0.006	0.0018	0.0003	0.0002	0.003	Trace quantities	0.0080	0.0003	0.0002
Dibromochloromethane	Trace quantities	0.0004	0.0008	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.0008	Not detected	Not detected
VOC total	0.0266	0.0313	0.038	0.00258	0.00165	0.0211	0.0211	0.0356	0.0017	0.00175
1,2-dichloroethane	Not detected					Not detected				

Table 4. Determined contents of heavy metals in the water treated with liquified chlorine

Sampling date	Ingredients, mg/dm ³							
	Zinc	Lead	Copper	Cadmium	Manganese	Silver	Nickel	Mercury
01.12	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities
15.12	0.03	0.005	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities
12.01	0.04	0.01	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.02	Trace quantities
27.01	0.04	0.005	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.001	Trace quantities
08.02	0.048	0.005	0.12	0.0002	Not detected	Not detected	Not detected	0.01
22.02	0.045	Not detected	0.05	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.01
09.03	0.05	0.01	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.01
22.03	0.008	0.005	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
05.04	0.04	0.002	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
19.04	0.04	0.008	0.002	Trace quantities	Not detected	Not detected	0.001	0.01
06.05	0.04	0.003	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	0.001	0.01
25.05	0.02	0.003	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
16.06	0.01	0.002	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
29.06	0.02	0.005	0.005	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities	0.01
13.07	0.01	0.002	0.04	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities	0.01
28.07	0.01	0.002	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	0.001	Trace quantities
31.08	0.01	0.001	0.002	Not detected	Not detected	Not detected	0.001	Trace quantities
20.09	Trace quantities	Trace quantities	Trace quantities	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
30.09	Trace quantities	Trace quantities	Trace quantities	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
14.10	Trace quantities	0.003	Trace quantities	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected

Sampling date	Ingredients, mg/dm ³							
	Zinc	Lead	Copper	Cadmium	Manganese	Silver	Nickel	Mercury
23.10	Trace quantities	0.005	Trace quantities	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
16.11	0.03	0.004	0.002	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities
03.12	0.03	0.004	0.002	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities

Table 5. Determined contents of heavy metals in the water treated with sodium hypochlorite

Sampling date	Ingredients, mg/dm ³							
	Zinc	Lead	Copper	Cadmium	Manganese	Silver	Nickel	Mercury
01.12	0.01	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities
15.12	0.01	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities
12.01	0.02	0.008	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities
27.01	0.03	0.003	Not detected	0.0001	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities
08.02	0.032	0.004	0.01	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.01
22.02	0.040	Not detected	0.005	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.01
09.03	0.03	0.008	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.01
22.03	Trace quantities	0.002	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
05.04	0.02	0.001	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
19.04	0.02	0.005	0.012	Trace quantities	Not detected	Not detected	0.001	Trace quantities
06.05	0.03	0.002	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	0.001	Trace quantities
25.05	0.01	0.002	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
16.06	0.01	0.002	0.003	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
29.06	0.01	0.005	Trace quantities	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.01
13.07	0.01	0.002	Trace quantities	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.01
28.07	0.01	0.002	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	0.001	Trace quantities
31.08	0.008	0.001	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	0.001	Trace quantities
20.09	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
30.09	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
14.10	Trace quantities	0.003	Trace quantities	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
23.10	Trace quantities	0.003	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
16.11	0.02	0.004	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities
03.12	0.01	0.004	0.001	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Trace quantities

Table 6. Quality data of water after treatment with technical grade sodium hypochlorite (I) and with chlorine (II)

Water quality parameters	Month											
	February		April		May		July		October		December	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Temperature, °C	0.2	0.2	4	4	6	6	22	22	8	8	0.2	0.2
Odor, points	1 chl.	2 chl.	1 chl.	2 chl.	1 chl.	2 chl.	1 chl.	2 chl.	1 chl.	2 chl.	1 chl.	2 chl.
Flavor, points	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turbidity, mg/dm ³	0.5	0.54	1.3	1.24	0.8	0.9	0.6	0.5	0.8	0.9	0.8	0.9
Color, deg.	7	9	11	12	10	9	9	10	5.0	3.9	10.5	10
pH	7.8	8.0	7.6	7.7	7.7	7.8	6.7	6.73	7.52	7.5	7.5	7.8
Chlorides, mg/dm ³	10.2	10.1	10.5	9.8	4.5	4.28	9.0	10.0	5.0	3.9	10.5	10.0
Nitrogen, ammonia, mg/dm ³	0.12	0.1	0.38	0.3	0.05	0.045	0.07	0.06	0.07	0.14	0.10	0.12
Nitrites, mg/dm ³	0.002	0.002	0.018	0.01	0.003	0.002	0.004	0.005	0.002	0.002	0.01	0.01
Nitrates, mg/dm ³	0.16	0.18	0.9	1.02	0.5	0.55	0.28	0.32	0.48	0.46	0.3	0.4
Alkalinity, mmol/dm ³	2.3	2.4	0.8	0.8	0.55	0.5	1.4	1.5	1.2	1.2	2.0	1.9
Total residual chlorine, mg/dm ³	0.8	0.6	0.42	0.5	0.6	0.67	0.3	0.3	0.6	0.3	0.65	0.6
Free residual chlorine, mg/dm ³	0.7	0.57	0.3	0.11	0.6	0.61	0.07	0.07	0.5	0.2	0.35	0.3
Phenol, mg/dm ³	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected	0.001	0.002	0.002	0.002	Not detected	Not detected
Sulphates, mg/dm ³	19	19.4	22	23	15	13.5	10	10.5	18	18	22	22.5
Total hardness, mmol/dm ³	2.1	2.0	2.2	2.25	1.5	1.55	0.9	0.85	1.5	1.5	1.6	1.6
Fluorine, mg/dm ³	0.09	0.92	0.1	0.11	0.1	0.96	0.09	0.09	0.08	0.08	0.09	0.06
Dry rest, mg/dm ³	140	138	98	92	72	78	80	86	81	86	84	87
Residual aluminum, mg/dm ³	–	–	0.09	0.09	0.11	0.1	0.1	0.08	0.04	0.07	0.08	0.07
Coli titer	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333
Total iron, mg/dm ³	0.067	0.07	0.14	0.13	0.01	0.014	0.013	0.02	0.15	0.18	Not detected	Not detected
BOD-20	0.59	0.68	1.14	1.08	1.4	1.2	2.0	2.1	2.0	1.95	1.0	0.5
HCC sum, mg/dm ³	0.022	0.031	0.036	0.057	0.018	0.03	0.05	0.065	0.018	0.025	0.02	0.024

liquid chlorine with technical grade sodium hypochlorite in the process of water treatment as potable water.

To implement the proposed technical solution in the water treatment practice, a comprehensive comparative study of disinfectants' efficiencies was carried out in the basic stages of the water treatment process: primary disinfection (with determined chlorine absorption, coagulation, water corrosiveness, potable water quality).

The results of the experiment demonstrate that the active chlorine dose required to obtain water of the required quality is lower when sodium hypochlorite is used, thereby the residual chlorine form is retained (free chlorine), whereas when the water is treated with liquified chlorine, the residual chlorine form is dependent on the seasonal river water quality.

The type of used disinfectant does not affect the coagulation. The corrosion resistance of steel tubes with the water treated with sodium hypochlorite (dependent upon the water quality and the hydrodynamics of the pipelines) is under real conditions of the water supply utility operation in Kemerovo City by more than 4 times lower than with the water treated with active chlorine. The average content of halogen-containing compounds in the treated water is by 25 % lower, when sodium hypochlorite is used instead of the liquified chlorine. It should be noted, that independently on the season, the use of sodium hypochlorite assures stable water quality in compliance with the requirements of SanPiN 2.1.4.1074-01 as to the contents of all rated components, including HCC.

Experimental data show poor chemical resistance of stainless steel, duralumin, ebonite and polyvinylchloride in concentrated sodium hypochlorite solutions. Simultaneously, such materials as BT1-0 titanium alloy, Teflon, plexiglas, polystyrene did not change their appearance, strength, weight during a prolonged period of contact with sodium hypochlorite solutions of different concentrations, being a reason for conclusions on their complete chemical resistance of these materials in the subject media and a recommendation on their use for operations in high-concentration sodium hypochlorite solutions.

SUMMARY AND DISCUSSION

Based on the data acquired in the course of the present study and numerous industrial-scale tests in the RF, a process was developed using technical grade sodium hypochlorite as disinfectant in the treatment of potable water from surface and underground water sources; for the first time, the process was integrated in the existing water treatment facilities in Kemerovo Region. For the time being, 93 % of water treatment facilities of Kuzbass use sodium hypochlorite as disinfectant. Besides, the disinfection process with technical grade sodium hypochlorite has been integrated in more than 30 water treatment facilities of cities and big settlements of Novosibirsk, Tomsk and Krasnoyarsk Regions. There is a vast experience of sodium hypochlorite disinfectant integration in water treatment stations of Moscow City.

REFERENCES

1. Eldishev Yu.N. Potable water — a trouble of the country. About another state headache task. *Ecology and Life*. 2008; 9(82):19-23. (rus.).
2. Iksanova T.I., Malysheva A.G., Rastyanikov Ye.G., Yegorova N.A., Krasovsky G.N., Nikolayev M.G. Hygienic evaluation of the combined effect of portable water chloroform. *Hygiene and Sanitation*. 2006; 2:8-12. (rus.).
3. Egorova N.A., Bukshuk A.A., Krasovskiy G.N. Hygienic assessment of the chlorination products of drinking water, taking into account the multiplicity of intake. *Hygiene and Sanitation*. 2013; 92(2):18-23. (rus.).
4. Slavinskaya G.V. Effect of chlorination on drinking water quality. *Chemistry and Technology of Water*. 1991; 13(11):1013-1022. (rus.).
5. Mуганлинский F.F., Трегер Ю.А., Лущин М.М. *Chemistry and technology of organohalogen compounds*. Moscow, Chemistry Publ., 1991; 91-95. (rus.).
6. Краснова Т.А., Сколубович Ю.Л. *Disinfection of water in the drinking water supply system*. Novosibirsk, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) Publ., 2012; 114. (rus.).
7. Pervov A.G., Andrianov A.P., Gorbunova T.P., Bagdasaryan A.S. Membrane technologies in the solution of environmental problems. *Petroleum Chemistry*. 2015; 55(10):879-886. DOI: 10.1134/s0965544115100199
8. Orlov V. Computer simulation of optimal thickness of polyurea coating using for trenchless renovation of potable water pipes. *Procedia Engineering*. 2016; 165:1168-1175. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.835
9. Orlov V.A., Shcherbakov V.I., Dezhina I.S. Investigation of hydrophobic characteristics and transferring capacity of protective coatings used for trenchless pipeline renovation. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2018; 3(39):32-42.
10. Pervov A.G. Precipitation of calcium carbonate in reverse osmosis retentate flow by means of seeded techniques — a tool to increase recovery. *Desalination*. 2015; 368:140-151. DOI: 10.1016/j.desal.2015.02.024
11. Pervov A.G., Andrianov A.P., Yurchevskiy E.B. Principles of utilization of reverse osmosis concentrate at water treatment facilities. *Petroleum Chemistry*. 2015; 55(10):871-878. DOI: 10.1134/s0965544115100187
12. Pervov A.G., Andrianov A.P., Gorbunova T.P., Yurchevskii E.B. Technology for utilization of the concentrate of reverse osmosis plants in water treatment

systems. *Water Supply and Sanitary Equipment*. 2012; 8:20-26. (rus.).

13. Pervov A.G., Andrianov A.P., Chuhin V.A., Efremov R.V., Rudakova G.Ya., Popov K.I. Determination of the effectiveness of inhibitors of a new generation in reverse osmosis plants. *Membranes and Membrane Technologies*. 2016; 6(3):268-282. (rus.).

14. Pervov A.G., Andrianov A.P. Application of membranes to treat wastewater for its recycling and reuse: new considerations to reduce fouling and increase recovery up to 99 percent. *Desalination and Water Treatment*. 2011; 35(1-3):2-9. DOI: 10.5004/dwt.2011.3133

15. Chistyakova A.V., Chuhin V.A., Andrianov A.P. Automation of building engineering systems.

Water systems. *Water purification. Water treatment. Water supply*. 2016; 1(97):48-54. (rus.).

16. Andrianov A.P., Bastrikin R.I., Chuhin V.A. Study of corrosion deposits in pipelines of drinking water supply and distribution systems. *Water Supply and Sanitary Equipment*. 2013; 7:30-36. (rus.).

17. Orlov V., Andrianov A. The selection of priority pipe sections for sewer network renovation. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 580-583:2398-2402. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.580-583.2398

18. Pervov A.G., Andrianov A.P., Chukhin V.A., Efremov R.V. The development and evaluation of new biodegradable acrylic acid based antiscalants for reverse osmosis. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015; 10(5):3979-3986.

Received June 31, 2019.

Adopted in its final form on August 5, 2019.

Approved for publication on August 30, 2019.

BIONOTES: **Tamara A. Krasnova** — Doctor of Technical Science, Professor of the Technosphere Safety Department; **Kemerovo State University**; 47 boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russian Federation; ID RISC: 522890, Scopus: 7006845214; ecolog1528@yandex.ru;

Yuri L. Skolubovich — Doctor of Technical Science, Professor, Rector; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya st., Novosibirsk-8, 630008, Russian Federation; ID RISC: 437079, Scopus: 36880146500; viv@sibstrin.ru;

Elena S. Gogina — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-rector; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 298730, Scopus: 55841908100; goginaes@mgsu.ru;

Dmitry D. Volkov — Deputy General Director; **North Kuzbass Energy Company**; 1 a Mira st., Berezovsky, 650056, Russian Federation; ecolog1528@yandex.ru.