

INVESTIGATION OF WATER STRUCTURE AND ITS OXYGEN STABILIZATION

S. P. Zubrilov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
Saint-Petersburg, Russian Federation

An approach is presented to the solution of the problem of improving the physical and chemical properties of water when it is cleaned of contamination by a non-reagent ultrasonic, cavitation method and its development and improvement by using structural concepts on the stabilization of local volumes of water by oxygen obtained as a result of decomposition of water molecules under the action of cavitation. The object of research is contaminated waters of ships, ports, industrial enterprises, cities and towns. The subject of the research is the phenomenon of the stabilization of water by oxygen and its effect on the physical, chemical properties of water and the possibility of its use for the purification of polluted waters without the use of chemical reagents. During the research, experimental methods were used: thermodynamic, nuclear magnetic resonance, differential thermal, infrared spectroscopy ... The local structure of water is stabilized with oxygen: the heat of dissolution of water samples that have undergone cavitation treatment in comparison with the control samples is reduced. Sparging oxygen into control samples without treatment also reduces the heat of dissolution. The time of spin-lattice relaxation of samples processed by ultrasound in the cavitation regime decreases, the spectral analysis of the processed water samples on infrared spectrophotometers has confirmed the stabilization of water by oxygen. The processes and phenomena of water stabilization with oxygen are theoretically and experimentally substantiated. Oxygen was obtained as a result of the decomposition of water molecules in ultrasonic cavitation fields. Stabilization is ensured by high oxygen paramagnetism in the local aquatic associate. A new economical way to control the properties of liquid media with small doses of oxygen using ultrasound in cavitation mode is patented and used for the purification of polluted waters of ships, ports of industrial enterprises, cities and towns, improving the properties of concretes, water-fuel emulsions, saving of cement and fuel.

Keywords: water, structure, components, stabilization, oxygen, pollution, xenobiotics, cleaning methods, fluid properties, non-reagent water treatment.

For citation:

Zubrilov, Sergey P. "Investigation of water structure and its oxygen stabilization." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1234–1243. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1234-1243.

УДК 502.656.628

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВОДЫ И ЕЕ СТАБИЛИЗАЦИЯ КИСЛОРОДОМ

С. П. Зубрилов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Представлен подход к решению проблемы улучшения физических и химических свойств воды при ее очистке от загрязнений безреагентным ультразвуковым, кавитационным методом, его развитие и совершенствование путем использования структурных представлений о стабилизации локальных объемов воды кислородом, полученным в результате разложения молекул воды под действием кавитации. Объектом исследований являются загрязненные воды судов, портов, промышленных предприятий, городов и поселков, предметом исследований послужило явление стабилизации воды кислородом и ее влияние на физические, химические свойства воды и возможность его использования для очистки загрязненных вод без применения химических реагентов. При проведении исследований использованы экспериментальные методы: термодинамический, ядерно-магнитного резонанса, дифференциально-термический, инфракрасная спектроскопия. Приведено доказательство стабилизации локальной структуры воды кислородом: снижение теплоты

растворения проб воды, прошедших кавитационную обработку по сравнению с контрольными пробами. Барботаж кислородом контрольных проб без обработки также способствует снижению теплоты растворения. Снижается время спин-решеточной релаксации проб, обработанных ультразвуком в режиме кавитации. Спектральный анализ обработанных проб воды на инфракрасных спектрофотометрах подтвердил стабилизацию воды кислородом. Теоретически и экспериментально обоснованы процессы и явления стабилизации воды кислородом. Кислород получен в результате разложения молекул воды в ультразвуковых кавитационных полях. Стабилизация обеспечивается высокой парамагнитностью кислорода в локальном водном ассоциате. Новый экономичный способ управления свойствами жидких сред малыми дозами кислорода с помощью ультразвука в режиме кавитации запатентован и используется для очистки загрязненных вод судов, портов промышленных предприятий, городов и поселков, улучшения свойств бетонов, водно-топливных эмульсий, экономии цемента, топлива.

Ключевые слова: вода, структура, компоненты, стабилизация, кислород, загрязнения, ксенобиотики, методы очистки, свойства жидкости, безреагентная очистка воды.

Для цитирования:

Зубрилов С. П. Исследование структуры воды и ее стабилизация кислородом / С. П. Зубрилов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1234–1243. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1234-1243.

Введение (Introduction)

Проблема загрязнения пресной, и особенно питьевой воды, даже в такой многоводной стране как Россия, на сегодня признана кризисной. Очистка воды от загрязнений: физических, химических, бактериологических, радиационных, а также инструментальный контроль качества воды и поиск эффективных технологий является актуальной задачей на объектах водного транспорта [1]. Положение усугубляется загрязнениями воды ксенобиотиками [2], [3].

В работе [4] исследована динамика экологического состояния практически всех крупных рек России, особенно зон их устьевых участков. Исследования выполнены в соответствии с «Рекомендациями по оценке риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши» (М.: Метеоагентство Росгидромет, 2006). Используются многолетние данные (за последние 30 лет) Государственной службы наблюдения за состоянием окружающей среды. Отмечен повсеместный сдвиг состояния рек от «естественного», «равновесного», к «кризисному» и «критическому». Убедительным подтверждением являются данные, приведенные в табл. 1 о состоянии окружающей среды от г. Тверь до г. Астрахань по р. Волге.

Таблица 1

Данные о состоянии окружающей среды за последние 30 лет Государственной службы наблюдения

Средний многолетний расход воды, м ³ /с	Показатели качества	Количество	Средняя за период концентрация x , мг/л	Концентрация различной обеспеченности, мг/л		
				X_{95}	X_5	X_{\max}
р. Волга — г. Тверь						
156	Нефтепродукты	77	0,16	0,18	0,44	0,76
	Фенолы	77	0,002	0	0,033	0,13
	Медь	40	0,005	0,002	0,009	0,035
р. Волга — г. Конаково						
232	Нефтепродукты	118	0,79	0,07	2,9	4,44
	Фенолы	113	0,003	0,001	0,013	0,017
	Медь	79	0,002	0	0,01	0,02
	Цинк	79	0,03	0,002	0,08	0,16
р. Волга — г. Кимры						
379	Нефтепродукты	89	0,18	0,006	0,8	0,8
	Фенолы	93	0,004	0	0,012	0,02
	Медь	64	0,004	0,007	0,014	0,035
	Цинк	63	0,01	0,001	0,048	0,068

Таблица 1
 (Окончание)

р. Волга — г. Ярославль						
930	Нефтепродукты	140	0,43	0,03	2,24	7,78
	Фенолы	128	0,006	0	0,026	0,038
	Медь	31	0,009	0,001	0,022	0,024
	Цинк	37	0,02	0,01	0,08	0,1
р. Волга — г. Нижний Новгород						
1390	Нефтепродукты	335	0,44	0,03	2,19	9,0
	Фенолы	336	0,003	0	0,02	0,09
	Медь	221	0,003	0	0,01	0,186
	Азот аммонийный	356	0,64	0,15	4,2	27,08
	Азот нитритный	375	0,02	0	0,18	2,12
р. Волга — г. Самара						
7310	Нефтепродукты	593	0,12	0,005	0,85	5,0
	Фенолы	467	0,003	0	0,017	0,04
	Медь	181	0,007	0,002	0,03	0,058
	Азот нитритный	559	0,02	0,001	0,14	0,53
р. Волга — г. Саратов						
7340	Нефтепродукты	195	0,16	0,003	0,23	0,45
	Фенолы	198	0,002	0	0,006	0,009
	Медь	197	0,004	0,002	0,01	0,03
	СПАВ	152	0,1	0,06	0,14	0,24
р. Волга — г. Волгоград						
7320	Нефтепродукты	101	0,09	0,009	0,23	0,37
	Фенолы	101	0,001	0	0,005	0,08
	Медь	98	0,003	0,001	0,01	0,04
	СПАВ	92	0,1	0,04	0,15	0,24
	Азот нитритный	59	0,02	0,003	0,16	0,52
р. Волга — г. Астрахань						
19400	Нефтепродукты	771	0,22	0,003	0,96	2,62
	Фенолы	746	0,002	0	0,011	0,034
	Медь	629	0,013	0,002	0,0114	0,41
	Цинк	549	0,01	0,001	0,04	0,18
	Сумма ионов	73	259	178	351	470

В табл. 2 приведены данные лаборатории токсикологии ГОСНИОРХ (О. А. Лященко) по загрязнению акватории Невской губы Финского залива в черте г. Санкт-Петербурга. Как видно из данных, приведенных в этой таблице, загрязненность воды восточной части Финского залива нефтепродуктами повсеместно превышает нормативный показатель предельно-допустимой концентрации (ПДК).

Таблица 2

Загрязненность по содержанию нефтепродуктов (мг/л) и донных отложений (мг/кг)

Среда	Невская губа	Лужская губа	Копорская губа	Открытая акватория	Норматив
Вода	$0,063 \pm 0,004$ 0,01 – 0,30 <i>n</i> — 108	$0,101 \pm 0,015$ 0,05 – 0,31 <i>n</i> — 18	$0,08 \pm 0,01$ 0,05 – 0,12 <i>n</i> — 6	$0,075 \pm 0,024$ 0,04 – 0,14 <i>n</i> — 41	ПДК = 0,05
Донные отложения	$192,0 \pm 42,0$ 3,6 – 383,22 <i>n</i> — 107	$91,2 \pm 27,8$ 44,0 – 420,0 <i>n</i> — 13	$114,0 \pm 45,6$ 56,0 – 340,0 <i>n</i> — 6	$270,6 \pm 36,9$ 270,5 – 880,0 <i>n</i> — 53	Региональный: для СПб для стандартных ДО = 180

Примечание. В числителе приведены средние значения с ошибкой, в знаменателе указаны пределы изменения, *n* — количество проб.

Выполненная Евросоюзом в 2014 г. ревизия загрязнений в поверхностных водах показала их наличие до 10 000, из которых 432 — вещества, оказывающие отрицательное воздействие на эндокринную систему человека. Эти вещества запрещены санитарными нормами Евросоюза. Наблюдается также негативное влияние водного фактора на формирование здоровья человека [5]. Отмечается необходимость прекращения хлорирования в целях обеззараживания сточных вод, сбрасываемых в реки [6], сокращения поступления в водоемы азотосодержащих соединений, которые превращаются в организме человека в канцерогенные *n*-нитрозамины [7]. В работах [8]–[12] также отмечается повсеместное ухудшение качества воды рек из-за антропогенного загрязнения. Применяемые в настоящее время в технологиях очистки вод химические хлорсодержащие реагенты дают комплекс вторичных более опасных канцерогенных, токсичных хлорорганических веществ. К ним, например, относится бутилхлорид (ПДК = 0,004 мг/л). Очистка воды от бензина (ПДК = 0,1 мг/л) при отсутствии хлора была бы проще. Вынужденное насыщение хлором воды, текущей в изношенных водопроводных сетях городов, приводит к возникновению хлорорганических соединений, которые более опасны, чем хлор и органические соединения в отдельности. Например, хлорированные дифенолы, одним из которых является диоксин (ПДК = 0,00002 мг/л), и хлорфенолы не задерживаются системами физико-химической и биологической очистки. Аналогичное положение происходит с гипохлоритом натрия (NaOCl). Известно, что переход на гипохлорит натрия увеличивает образование тригалометанов, так как процесс их образования происходит в течение нескольких десятков часов (водородный показатель воды оказывается выше, чем при использовании молекулярного хлора).

За последние 20 лет за счет мутаций устойчивость патогенной микрофлоры к хлору и ультрафиолету повысилась в пять раз. Достаточно отметить, что в США плотность ультрафиолетового потока для обеззараживания питьевой воды увеличена до 110 мДж/см², вместо 20 мДж/см², установленной санитарными нормами. Поэтому неслучайным является повышенный интерес исследователей к безреагентным (физическим) методам обеззараживания сточных вод. Широкое внедрение дорогого ультрафиолетового обеззараживания воды показывает высокую эффективность этих методов. Наиболее эффективной является очистка загрязненных вод кавитацией. В [13] показана экономическая предпочтительность кавитационных технологий по интегральному параметру затрат при внедрении метода (кавитация — 162, ультрафиолет — 261, хлорирование — 482, озонирование — 1600). Важной особенностью кавитационного воздействия является разложение молекулы воды на кислород и водород. Кислород обладает высокой растворимостью в воде, парамагнитностью и может стабилизировать структуру воды.

Проведенные на животных эксперименты по исследованию содержания рибофлавина (витамина В₂) в моче показали, что его поглощение при употреблении жидкокристаллической воды на 500 % выше, чем при употреблении с обычной дистиллированной водой. Структурирование воды влияет также на процесс активации энзимов. Усиление разделения зарядов в активированной воде приводит к возникновению вокруг этих ферментов более высокоэнергетической оболочки, состоящей из структурированной воды, при этом обмен веществ в организме ускоряется. Таким образом, необходимо облегчить работу организма по изменению структуры воды и сохранению определенного запаса энергии для использования в других целях, необходимых для жизнедеятельности человека. Возможность стабилизации воды, существования структурированных комплексов и относительная их устойчивость подтверждены в работах [14], [15].

Малые концентрации кислорода способны стабилизировать локальную структуру водного раствора, что может быть использовано для улучшения качества питьевой воды и эффективной очистки сточной воды. Молекулам кислорода легче внедряться в полости льдоподобной структуры воды, чем образовывать растворы замещения в разупорядоченной структуре. Представляется, что равновесие в растворе с малыми добавками O₂ сдвигается в сторону термоди-

намически более выгодной льдоподобной структуры, в результате происходит стабилизация водного раствора, что позволило предложить новый метод для изменения физико-химических свойств воды [16]. В последнее время интенсивно исследуются кавитационные технологии рассмотренные, например, в работах [17]–[19]. Кавитация — это комплекс различных воздействий, заложенных в основу эффективных наукоемких технологий. Широкий спектр физико-химических воздействий при кавитационной обработке воды придает этому методу универсальный характер [20].

Очевидно, что в разных кавитационных полях (у твердой стенки или в объеме жидкости, фокусируемых вихревыми ультразвуковыми генераторами кавитации, сферическими концентраторами, в объеме кипящей жидкости или в гидродинамическом потоке) характер окислительно-восстановительных реакций, физико-химических процессов, выход продуктов реакций в результате распада молекул воды и участия примесей будет различен. Достаточно привести два примера. Эффекты кавитации (например, ультразвуковой при частоте 22 кГц) или в поле пульсирующего (14 – 80 Гц) большого деформированного пузыря (без потери и с потерей сферической симметрии) различны. Возбуждение и ионизация молекул могут осуществляться либо в результате электронного удара (электрические теории эффектов при кавитации), либо в результате ударов первого рода Франка – Герца (тепловые теории). Иные эффекты кавитации наблюдаются при обработке на частотах 8 кГц, в частности происходит интенсивное разрушение металлических модельных образцов при отсутствии сонолюминесценции [1].

Методы и материалы (Methods and Materials)

При проведении экспериментов были использованы следующие методы и материалы:

1. Термодинамический с использованием изометрического калориметра погруженного типа.
2. Исследования спин-решеточного времени релаксации T_1 методом ядерного магнитного резонанса.
3. Дифференциально-термический анализ на дериватографе «Паулик».
4. Стандартные методы физико-химического анализа воды и др.
5. Дистиллированная вода однократной и двукратной дистилляции, ионообменные фильтры, портландцемент М400 удельной массой 3,03 г/см³.
6. Кавитационная обработка воды, осуществляемая в кварцевой термостатированной посуде, которая подробно изложена в работе [1].

Результаты (Results)

Общая схема химических превращений (рис. 1) должна состоять из четырех основных этапов, которые проходят несколько стадий с числом промежуточных и устойчивых соединений от десятков до нескольких десятков тысяч. С учетом энергии взаимодействия и количества растворенных газов при обработке дистиллированной воды ультразвуком при частоте 22 кГц выход конечных продуктов следующий: исходные вещества в других концентрациях, перекись водорода, окислы азота, амины, формальдегид. При низких частотах ультразвука (например, 8 кГц) кавитационные пузырьки имеют большие размеры, чем при частоте 22 кГц с большим гидродинамическим кавитационным воздействием и меньшим химическим выходом.

На рис. 2 приведена кинетика основных химических веществ, инициируемых ультразвуковой кавитационной обработкой воды с равновесным газосодержанием при данных температуре и давлении: возникает колебательная окислительно-восстановительная система, в которой при общей дегазации водного раствора содержания кислорода растёт, возникает перекись водорода (следует отметить, что даже бидистиллированная вода содержит поверхностно-активные вещества, что необходимо учитывать при очистке вод [23]).

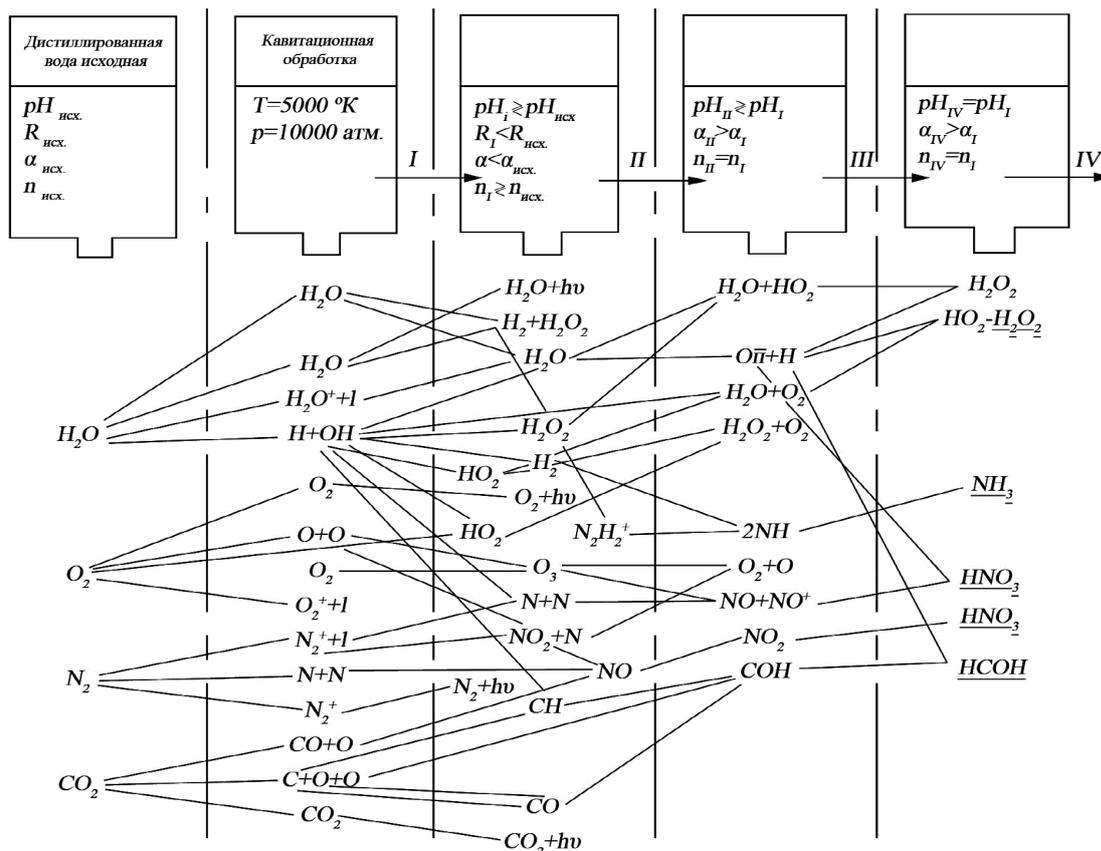


Рис. 1. Схема химических превращений в воде под действием кавитации

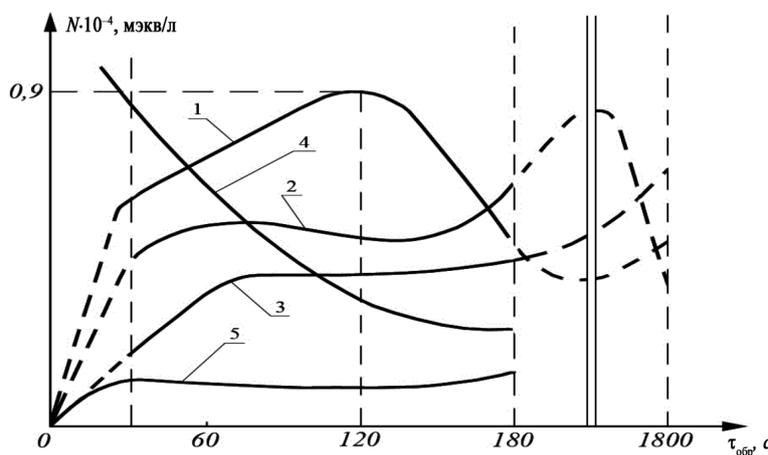


Рис. 2. Изменение содержания основных примесей в воде при кавитационной ультразвуковой обработке с разной продолжительностью:
 1 — H_2O_2 ; 2 — HNO_2 ; 3 — HNO_3 ; 4 — HCO_3 , CO_2 , N_2 ; 5 — O_2

Установлено, что перекись водорода является основой для появления азотной и далее азотистой кислот, количество которых после нескольких часов воздействия ультразвуком имеет несколько максимумов. В работах [21], [22] слабо отражен накопленный опыт по кавитационным технологиям очистки воды. Остается нерешенным главный вопрос о создании износостойкого устройства гидродинамического принципа с использованием ультразвуковых частот большой производительности без ультразвуковых генераторов.

Рассмотрим причины, удерживающие остаточный кислород в структуре воды. Известно, что молекулам кислорода легче внедряться в полости кластера, чем образовывать растворы замещения в разупорядоченной структуре. Однако приборы, фиксирующие малые изменения структуры воды, являются недостаточно точными. Поэтому для достоверного обнаружения этих изменений можно использовать косвенные методы, позволяющие фиксировать изменения строения воды при взаимодействии ее с веществами.

1. *Термодинамические исследования, позволяющие получить объективные данные.* Дают возможность по снижению ΔH гидратации фиксировать стабилизацию структуры воды, так как при этом облегчается выход молекулы воды из окружения и снижаются затраты энергии на отделение молекул растворителя (тепловой эффект растворения — это сумма эндотермического разрушения кристаллической решетки соли и экзотермического эффекта гидратации ионов молекулами воды). Автором статьи были проведены эксперименты по определению теплоты растворения хлористого калия. По стандартной методике калибровкой растворения хлористого калия получена теплота растворения 4206 ± 10 кал для контрольной дистиллированной воды. Для воды, барботированной кислородом, теплота растворения составляет 4090 ± 15 кал.

2. *Исследование кинетики тепловыделения.* При взаимодействии окиси кальция с водой, барботированной кислородом по сравнению с контрольной, было установлено снижение тепловыделения в первые 3 мин при гидратации окиси кальция с барботированной водой по сравнению с контрольной. Это объясняется тем, что свойства воды в первом случае изменились (стабилизация), что сместило равновесие $CA + H_2O = CA_{ag} + A_{ag}$ влево, замедлив процесс образования насыщенного раствора. Это, в свою очередь, привело к снижению электрокинетического потенциала суспензии по сравнению с раствором на контрольной воде затворения. Стабилизация на стадии структурообразования приводит к повышению тепловыделения из-за большей плотности твердеющей системы.

3. *Спектрографические исследования.* ИК-спектры отражения были получены на спектрофотометре «УР-20». Суспензию прокаленного гипса цемента смешивали с барботированной и контрольной водой, наносили на подложку из кварца или флюорита, помещали в приставку отражения. При этом было установлено замедление сроков схватывания для образцов на барботированной воде по сравнению с контрольной.

4. *Метод ядерного магнитного резонанса (спиновое эхо).* Данный метод позволяет оценить стабилизацию структуры воды при взаимодействии с цементом. Нами было измерено спинрешеточное время релаксации T_1 воды затворения цемента, барботированной кислородом и контрольной при прочих равных условиях при водоцементном отношении 0,42. Установлено, что увеличение содержания кислорода в воде затворения ведет к снижению T_1 в течение всего периода взаимодействия воды с цементом (стабилизация). Добавка в контрольную воду затвора 5 %-го H_2SO_4 привела к увеличению T_1 (дестабилизация).

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Теоретически и экспериментально обоснованы процессы и явления стабилизации воды кислородом. Кислород получен в результате разложения молекул воды в ультразвуковых кавитационных полях. Стабилизация обеспечивается высокой парамагнитностью кислорода в локальном водном ассоциате, в результате чего меняются физические и химические свойства воды после ее кавитационной обработки и используется как способ управления свойствами воды и различных водных системах. Такая обработка при очистке загрязненных вод не приводит их вторичному загрязнению, характерному для реагентных методов очистки.

Обработка водных растворов при их движении в электромагнитных полях в последнее время проводилась, к сожалению, без детального учета физико-химических изменений в воде, что вызвало негативное отношение к самой идее магнитной обработки. Была обнаружена четкая связь между магнитной обработкой и изменением газосодержания воды (в частности, повышение содержания в ней молекулярного кислорода). При определенных режимах обработки воды (при ее

движении в электромагнитных полях) содержание молекулярного кислорода может повышаться в установленных в работе [24] пределах. Структура воды является в настоящее время характеристикой неопределенной и допускает любые геометрические толкования. Наличие у воды «информационной памяти» убедительного экспериментального подтверждения не получило, поэтому требуется продолжить исследования в этом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зубрилов С. П.* Физико-химические свойства воды и прикладные аспекты гидродинамической кавитации / С. П. Зубрилов. — СПб.: СПГУВК, 2010. — 120 с.
2. *Зубрилов С. П.* Микрозагрязнители в питьевой воде городов. Безреагентная очистка воды / С. П. Зубрилов. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2018. — 154 с.
3. *Баренбойм Г. М.* Загрязнение природных вод лекарствами / Г. М. Баренбойм, М. А. Чиганова. — М.: Наука, 2015. — 285 с.
4. *Брызгалов В. А.* Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России / В. А. Брызгалов, А. М. Никаноров, О. С. Решетняк // *Вода: химия и экология.* — 2013. — № 12 (65). — С. 15–21.
5. *Эльпинер Л. И.* Влияние водного фактора на формирование здоровья человека / Л. И. Эльпинер // *Вода: химия и экология.* — 2009. — № 3 (9). — С. 6–10.
6. *Данилов-Данильян В. И.* Оценка биологической опасности органических ксенобиотиков в источниках водоснабжения / В. И. Данилов-Данильян, В. В. Поройков, М. А. Чиганова, М. Н. Козлов, Д. А. Филимонов, Г. М. Баренбойм // *Водоснабжение и санитарная техника.* — 2013. — № 10. — С. 17–25.
7. *Зубрилов С. П.* Комплексное использование водных объектов / С. П. Зубрилов, И. О. Потапов, А. В. Яковлев. — СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2017. — 136 с.
8. *Черников Н. А.* Еще раз о законодательной базе в области водоснабжения и водоотведения / Н. А. Черников, П. П. Бегунов, К. М. Дюба // *Вода и экология: проблемы и решения.* — 2012. — № 2–3 (50–51). — С. 6–13.
9. *Итоги и перспективы научных исследований по проблеме экологии человека и гигиены окружающей среды: монография / под ред. Ю. А. Рахманина.* — М.: РГБ, 2008. — 402 с.
10. *Водоснабжение Санкт-Петербурга / под ред. Ф. В. Кармазинова.* — СПб.: Новый журнал, 2003.
11. *Pharmaceuticals in drinking-water.* — World Health Organization, 2012. — 52 p.
12. *Кондратьев К. Я.* Перспективы развития цивилизации (многомерный анализ) / К. Я. Кондратьев, В. Ф. Крапивин, В. П. Савиных. — М.: «Лотос», 2003. — 712 с.
13. *Шиян Л. Н.* Химия воды и водоподготовка: учеб. пособие / Л. Н. Шиян. — Томск: Изд-во ТПУ, 2004. — 72 с.
14. *Калниньш К. К.* Активация питьевой воды / К. К. Калниньш, Г. А. Фокин. — СПб.: Изд-во ИВС РАН, Тран. Газ, 2012. — 310 с.
15. *Смирнов А. Н.* Структура воды: новые экспериментальные данные / А. Н. Смирнов // *Наука и технологии в промышленности.* — 2010. — № 4. — С. 41–45.
16. Пат. 2078048 Российская Федерация, МПК C02F 1/28, C02F 1/36. Способ глубокой очистки жидкости от нефтепродуктов / С. П. Зубрилов, А. С. Зубрилов; заяв. и патентообл. С. П. Зубрилов, А. С. Зубрилов. — № 94 94037453; заявл. 28.09.1994; опубл. 1997.
17. *Кулагин В. А.* Методы и средства технологической обработки многокомпонентных сред с использованием эффектов кавитации: дис. ... д-ра техн. наук: 01.04.14, 01.02.05 / В. А. Кулагин. — Красноярск, 2004. — 406 с.
18. *Кривоуцкий А. С.* Повышение эффективности работы тепловых сетей за счет кавитационной обработки воды: дис. ... канд. техн. наук / А. С. Кривоуцкий. — Красноярск: СФУ, 2007. — 215 с.
19. *Евстигнеев В. В.* Совершенствование технологии кондиционирования сточных вод энергетических систем и комплексов: дис. ... канд. техн. наук / В. В. Евстигнеев. — Красноярск: СФУ, 2012. — 123 с.
20. *Зубрилов С. П.* Микрозагрязнители в питьевой воде городов / С. П. Зубрилов // *Проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений водных путей: сборник материалов конференции; под ред. Г. Л. Гладкова, К. П. Моргунова.* — СПб.: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2017. — С. 25–38.

21. Багров В. В. Возможность интенсификации окислительно-восстановительных процессов при очистке воды за счет использования эффекта кавитации / В. В. Багров, Д. Ю. Графов, А. В. Десятов, Н. Е. Кручинина, К. А. Кутербеков, Т. Н. Нурахметов, Р. В. Якушин // Вода: химия и экология. — 2013. — № 12 (65). — С. 35–37.

22. Батоева А. А. Перспективы применения низконапорной гидродинамической кавитации в процессах очистки сточных вод / А. А. Батоева, Д. Г. Асеев, М. Р. Сизых, М. С. Хандархаева // Вода: химия и экология. — 2011. — № 9 (39). — С. 27–31.

23. Сиротюк М. Г. Акустическая кавитация / М. Г. Сиротюк. — Наука, 2008. — 271 с.

24. Зубрилов С. П. Питьевая вода городов. Технологии очистки вод: монография / С. П. Зубрилов. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. — 154 с.

REFERENCES

1. Zubrilov, S. P. *Fiziko-khimicheskie svoystva vody i prikladnye aspekty gidrodinamicheskoi kavitatsii*. SPb.: SPGUVK, 2010.

2. Zubrilov, S. P. *Mikrozagryazniteli v pit'evoi vode gorodov. Bezreagentnaya ochistka vody*. SPb.: GUMRF imeni admirala S. O. Makarova, 2018.

3. Barenboim, G. M., and M. A. Chiganova. *Zagryaznenie prirodnykh vod lekarstvami*. M.: Nauka, 2015.

4. Bryzgalov, V. A., A. M. Nikanorov, and O. S. Reshetnyak. "Kecological state variability of mouth ecosystems of big rivers of Russia." *Water: chemistry and ecology* 12(65) (2013): 15–21.

5. Elpiner, L.I. "Effect of water factor on human health status." *Water: chemistry and ecology* 3(9) (2009): 6–10.

6. Danilov-Danil'ian, Viktor Ivanovich, Vladimir Vasil'evich Poroikov, Mariia Alekseevna Chiganova, Mikhail Nikolaevich Kozlov, Dmitrii Alekseevich Filimonov, and Grigorii Matveevich Barenboim. "Estimation of biological hazard of organic xenobiotics in water supply sources." *Water Supply and Sanitary Technique* 10 (2013): 17–25.

7. Zubrilov, S. P., I. O. Potapov, and A.V. Yakovlev. *Kompleksnoe ispol'zovanie vodnykh ob'ektov*. SPb.: GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2017.

8. Chernikov, N. A., P. P. Begunov, and K.M. Dyuba. "Eshche raz o zakonodatel'noi baze v oblasti vodosnabzheniya i vodootvedeniya." *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* 2-3(50-51) (2012): 6–13.

9. Rakhmanina, Yu. A., eds. *Itogi i perspektivy nauchnykh issledovaniy po probleme ekologii cheloveka i gigieny okruzhayushchei sredy: monografiya*. M.: RGB, 2008.

10. Karmazinov, F. V. *Vodosnabzhenie Sankt-Peterburga*. SPb.: Novyi zhurnal, 2003.

11. *Pharmaceuticals in drinking-water*. World Health Organization, 2012.

12. Kondrat'ev, K. Ya., V. F. Krapivin, and V. P. Savinykh. *Perspektivy razvitiya tsivilizatsii (mnogomernyi analiz)*. M.: «Lotos», 2003.

13. Shiyani, L. N. *Khimiya vody i vodopodgotovka: ucheb. posobie*. Tomsk: Izd-vo TPU, 2004.

14. Kalnin'sh, K. K., and G. A. Fokin. *Aktivatsiya pit'evoi vody*. SPb.: Izd-vo IVS RAN, Tran. Gaz, 2012.

15. Smirnov, A. N. "Struktura vody: novye eksperimental'nye dannye." *Nauka i tekhnologii v promyshlennosti* 4 (2010): 41–45.

16. Zubrilov, S. P., and A. S. Zubrilov. RU 2 078 048 C1, IPC C 02F 1/28, C 02F 1/36. Sposob glubokoi ochistki zhidkosti ot nefteproduktov. Russian Federation, assignee. Publ. 1997.

17. Kulagin, V. A. *Metody i sredstva tekhnologicheskoi obrabotki mnogokomponentnykh sred s ispol'zovaniem effektov kavitatsii*. Dr. diss. Krasnoyarsk, 2004.

18. Krivolutskii, A. S. *Povyshenie effektivnosti raboty teplovykh setei za schet kavitatsionnoi obrabotki vody*. PhD diss. Krasnoyarsk. SFU 2007.

19. Evstigneev, V. V. *Sovershenstvovanie tekhnologii konditsionirovaniya stochnykh vod energeticheskikh sistem i kompleksov*. PhD diss. Krasnoyarsk: SFU, 2012.

20. Zubrilov, S. P. "Mikrozagryazniteli v pit'evoi vode gorodov." *Proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya gidrotekhnicheskikh sooruzhenii vodnykh putei: Sbornik materialov konferentsii*. Edited by G.L. Gladkov, K. P. Morgunov. SPb.: FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S.O. Makarova», 2017. 25–38.

21. Bagrov, V. V., D. Yu. Grafov, A. V. Desyatov, N.E. Kruchinina, K. A. Kuterbekov, T.N. Nurachmetov, and R.V. Yakushin. "Possibility of intensification of oxidation-reduction processes during water treatment using cavitation." *Water: chemistry and ecology* 12(65) (2013): 35–37.

22. Batoeva, Agniya A., Denis G. Aseev, Marina R. Sizikh, and Marina S. Handarhaeva. "Low-pressure hydrodynamic cavitation in the process of waste water treatment." *Water: chemistry and ecology* 9(39) (2011): 27–31.
23. Sirotiyuk, M. G. *Akusticheskaya kavitatsiya*. Nauka, 2008.
24. Zubrilov, S. P. *Pit'evaya voda gorodov. Tekhnologii ochistki vod: monografiya*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2015.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Зубрилов Сергей Павлович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С.О. Макарова»
198035, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: zubrilovsergei@yandex.ru,
kaf_ovrb@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Zubrilov, Sergey P. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: zubrilovsergei@yandex.ru,
kaf_ovrb@gumrf.ru

*Статья поступила в редакцию 17 мая 2018 г.
Received: May 17, 2018.*