

**В.В. Гончарук, А.Ю. Курлянцева,
В.В. Таранов, Л.С. Нифантова**

КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И УЛЬТРАЗВУКА НА ВОДУ С РАЗНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДЕЙТЕРИЯ

Институт коллоидной химии и химии воды
им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев
alina.kurliantseva@gmail.com

Представлены результаты экспериментальных исследований изменений размерного спектра гигантских гетерофазных кластеров воды с разным содержанием дейтерия под влиянием магнитного поля и ультразвука. Установлено, что воздействие магнитного поля (0,6 Тл) приводит к увеличению среднеарифметического диаметра кластеров для легкой, деионизированной и тяжелой вод соответственно на 21; 15 и 10%. Наблюдается зависимость содержания кластеров от величины и продолжительности действия магнитного поля. Ультразвуковое влияние (44 кГц), наоборот, способствует уменьшению среднеарифметического диаметра кластеров указанных вод соответственно на 16; 11 и 8%.

Ключевые слова: гигантские гетерофазные кластеры воды, магнитное поле, размерный спектр, ультразвук.

Введение. Магнитная и ультразвуковая обработка воды широко внедряется во многих отраслях промышленности, строительстве, сельском хозяйстве и медицине. Так, в работах [1 – 6] показана эффективность применения магнитной обработки водной среды в теплоэнергетике с целью уменьшения накипеобразования в теплообменных устройствах. В [1, 2] отмечена востребованность омагничивания воды при смешении известковых и гипсовых вяжущих вод для повышения плотности и улучшения морозостойкости бетона. Использование омагниченной воды в сельском хозяйстве при замачивании семян или поливе способствует значительному росту (15 – 20%) и урожайности сои, подсолнуха, кукурузы, помидоров [7]. В [8, 9] показана экономи-

© В.В. Гончарук, А.Ю. Курлянцева, В.В. Таранов, Л.С. Нифантова, 2016

ческая и экологическая целесообразность использования ультразвуковой обработки для обеззараживания питьевой воды.

Существуют различные теоретически обоснованные и практически подтвержденные гипотезы относительно причин воздействия магнитного поля (МП) на воду и водные растворы. В [10] теории магнитной обработки водной среды условно разделены на три группы: 1 – влияние МП на собственно воду, без учета всех видов примесей и ионов – продуктов диссоциации воды; 2 – главная роль отводится ионам, всегда присутствующим в воде; 3 – воздействие МП на ферромагнитные и парамагнитные коллоидные микрочастицы, присутствующие в воде в большинстве случаев.

Экспериментально установлено, что влияние магнитного поля на движущуюся в потоке воду сильнее, чем на неподвижную [11]. В работе [12] подтверждено электрохимическое действие МП и наличие эффекта его последствия в водной среде. При этом электродвижущая сила (ЭДС), возникающая при движении жидкости в МП, близка к расчетной для магнитогидродинамического (МГД) эффекта. Более длительный, по сравнению с теоретически рассчитанным, МГД ЭДС свидетельствует об участии в процессе поляризации в МП частиц, для которых миграционная деполяризация протекает медленнее, чем для частиц молекулярных размеров. В водной среде такими частицами могут быть кластеры и ионы, содержащие в составе гидратных оболочек, кроме мономолекулярной воды, также частично разрушенные кластеры воды. Согласно математическим расчетам наблюдаемое время релаксации МГД ЭДС (1 – 2,3 с) может достигаться за счет участия в деполяризации частиц размером 0,7 – 0,9 мкм.

В [13 – 16] изучены структурные изменения жидкой воды после магнитной и ультразвуковой обработки. Так, в [13] методом молекулярной динамики исследовали изменения структуры водной среды, вызванные применением МП с напряженностью от 1 до 10 Тл. Было обнаружено, что количество водородных связей увеличивается, когда напряженность МП усиливается. Это означает, что размером водного кластера можно управлять путем приложения внешнего МП. Структуру воды анализировали с помощью вычисления функции радиального распределения ее молекул. Согласно полученным данным наличие МП способствует более стабильной структуре воды и увеличению способности ее молекул образовывать водородные связи. Структурообразующее воздействие МП на водную среду также отмечено в работе

[14], в которой методом малоуглового рассеяния лазерного излучения определена функция распределения оптических неоднородностей (кластеров) по размерам. Измерения выполнены до и после воздействия на бидистиллированную воду в течение 30 мин магнитного поля с напряженностью 1,5 Тл. По полученным сведениям, под воздействием МП количество оптических неоднородностей больших размеров увеличивается.

В [15] исследовано влияние ультразвуковых волн с частотой 200 кГц, интенсивностью 15 и 45 дБ на структурные свойства воды методом светорассеяния лазерного излучения. Установлено, что при интенсивности 15 дБ исходная структура воды практически не изменялась, увеличение интенсивности звуковой волны до 45 дБ приводило к снижению концентрации средних и малых кластеров и формированию больших. Экспериментальные данные не согласуются с таковыми, представленными в работе [16], в которой увеличение рН и электропроводности воды после воздействия ультразвука (УЗ) с частотой 44 кГц и мощностью 280 Вт объясняется его разрушающим действием на водородные связи.

Цель данной работы – качественная и количественная оценка влияния магнитного поля и ультразвука на воду с разной концентрацией дейтерия при регистрации ее мгновенных изменений как в процессе действия МП и УЗ, так и после действия таковых.

Методика эксперимента. Объекты исследования – три образца воды с различным содержанием дейтерия. Вода, обедненная по содержанию дейтерия, с $D/H = 4,2$ ppm, $O^{18}/O^{16} = 750$ ppm получена методом вакуумной ректификации (ЗАО "Легкая вода", Россия). Деионизированная вода с $D/H = 140$ ppm, $^{18}O/^{16}O = 1966$ ppm получена очисткой дистиллированной воды обратным осмосом с последующим ионным обменом. Электропроводность деионизированной воды – 0,15 мкСм/см. Тяжелая вода – $D/H = 99,96$ абс. ат. %, $^{18}O/^{16}O = 981,5$ ‰ ("Merck KGaA", Германия).

Согласно ранее проведенному исследованию [17] с использованием атомно-адсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией и зеемановской корреляцией фона [18] в препаратах легкой и тяжелой вод не обнаружены такие элементы, как Al, V, Cr, Mn, Ni, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Pd (концентрация – $\leq 0,1$ нМ).

Начальная температура изучаемых образцов оставалась постоянной в течение всего эксперимента и составляла $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Температур-

ные параметры регистрировали с помощью электронного термометра, погрешность измерений которого не превышала 0,33°С.

Влияние МП и УЗ на размерный спектр гигантских гетерофазных кластеров (ГГК) воды изучали при помощи прибора Кластер® - 1 [19]. Объем образцов вод составлял 3 см³, длина оптического взаимодействия – 10 мм. В качестве фона для исследования структурных изменений воды использовали кварцевый моноблок, корректность применения которого подтверждена с помощью метода интерференции лазерного излучения.

В качестве источника постоянного магнитного поля (напряженность – от 0,1 до 0,6 Тл) применяли постоянные магниты, которые прикрепляли непосредственно на стенки кюветы, что, в свою очередь, минимизировало воздействие МП на измерительную аппаратуру. Измерения индукции МП магнитов проводили на приборе Тесламетр универсальный 43205.

УЗ-воздействие создавали с помощью физико-терапевтического аппарата МИТ-11 (рабочая частота УЗ-генератора – 44 кГц, амплитуда УЗ-колебаний – 5 мкм, мощность УЗ-колебаний – 2 Вт/см²). При этом волновод был погружен непосредственно в кювету с исследованным образцом.

Методика проведения измерений характеризуется достаточно высокими значениями воспроизводимости полученных результатов. Так, воспроизводимость результатов изменения размерного спектра и среднеарифметического диаметра ГГК воды при воздействии МП составляет соответственно 90,3 и 92,5%, а при воздействии УЗ – 89,5 и 91,3%.

Результаты и их обсуждение. Размерные спектры ГГК исследуемых образцов представлены в работах [20 – 23], в которых отмечено, что процентное содержание кластеров той или иной размерной группы зависит от концентрации в воде дейтерия – как при повышенной его концентрации, так и при ниже обычной. Снижение концентрации дейтерия, как и замена протия на дейтерий, приводит к структурной однородности воды на субмиллиметровом уровне размерных спектров.

В табл. 1 показаны наиболее изменяемые размерные группы ГГКВ до и после (60 мин) влияния внешнего постоянного МП с напряженностью 0,6 Тл. Также представлено процентное изменение содержания ГГК после воздействия МП относительно его начального значения (%).

Таблица 1. Изменение размерного спектра гигантских гетерофазных кластеров воды при воздействии магнитного поля (0,6 Тл) в течение 60 мин

Вода	Размерные группы ГГК, мкм	Содержание ГГК, объем. %		+/-, %
		без магнитной обработки	после магнитной обработки (0,6 Тл)	
Легкая (D/H = 4,2 ppm)	10 – 20	21,5	17,1	-20,46
	40 – 50	5,8	8,2	+29,27
Деионизированная (D/H = 140 ppm)	10 – 20	9,6	8,1	-15,63
	30 – 40	16,1	19,4	+17,01
Тяжелая (D/H = 99,96 абс. ат. %)	1 – 10	26,9	24,1	-10,41
	20 – 30	8,5	9,3	+9,41

Анализируя приведенные в табл. 1 данные, можно отметить, что после воздействия МП на водную среду количество малоразмерных структур в видимой области спектра уменьшилось, а больших – увеличилось. Подобная тенденция изменения размерного спектра микронных кластеров согласуется с экспериментальными результатами работы [13]. При этом для легкой воды характерны наиболее интенсивные изменения под воздействием МП из всех исследуемых образцов. Наблюдаемую тенденцию изменения размерного спектра ГГК воды можно обосновать поляризующим действием внешнего МП на молекулы воды, представляющие собой заряженные диполи. Так, длительная магнитная обработка водной среды приводит к агрегации диполей, т.е. укрупнению водных кластеров.

На рис. 1, а, б представлены наиболее изменяемые размерные группы ГГК деионизированной и легкой вод в процессе действия МП (0,6 Тл). Данные рис. 1 свидетельствуют, что магнитное воздействие на водные образцы возрастает с увеличением его продолжительности и снижается с увеличением времени его отсутствия. Кроме того, в течение 60-минутного воздействия МП на водные образцы изменения размерных групп ГГК постепенно прекращаются. Поэтому такое временное воздействие МП можно считать оптимальным временем, чтобы увидеть максимальные изменения кластерной структуры воды.

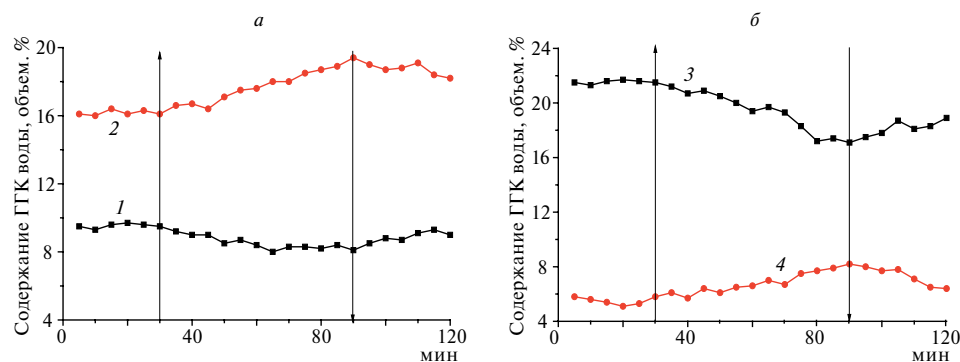


Рис. 1. Содержание гигантских гетерофазных кластеров воды, мкм: 10 – 20 (1); 30 – 40 (2); 10 – 20 (3); 40 – 50 (4) деионизированной (а) и легкой (б) вод при действии магнитного поля (0,6 Тл) в стационарных условиях. Введение и удаление магнитного поля на графике обозначено стрелками соответственно вверх и вниз.

Обработка магнитным полем деионизированной и легкой вод в динамических условиях (при скорости движения воды через проточную кювету 0,5 м/с и напряженности магнитного поля 0,6 Тл) также приводит к увеличению количества сравнительно больших ГГК (рис. 2, а, б). Сравнивая рис. 1 и 2, отмечаем, что общая тенденция увеличения кластеров воды сохраняется, однако в динамических условиях наблюдаются пульсирующие изменения относительного содержания размерных групп ГГК воды, что можно объяснить особенностями работы прибора при таких условиях проведения эксперимента.

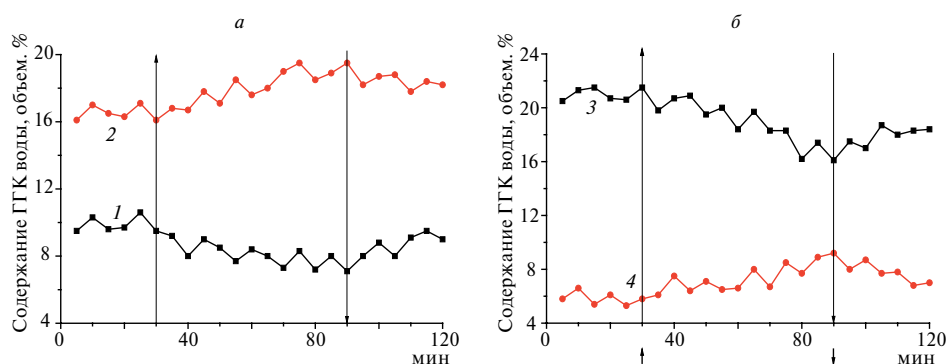


Рис. 2. Содержание гигантских гетерофазных кластеров воды, мкм: 10 – 20 (1); 30 – 40 (2); 10 – 20 (3); 40 – 50 (4) деионизированной (а) и легкой (б) вод при действии магнитного поля (0,6 Тл) в динамических условиях.

На рис. 3 показано изменение размеров ГГК деионизированной воды в диапазоне 30 – 40 мкм при последовательном повышении напряженности МП и продолжительности его воздействия в течение 40 мин.

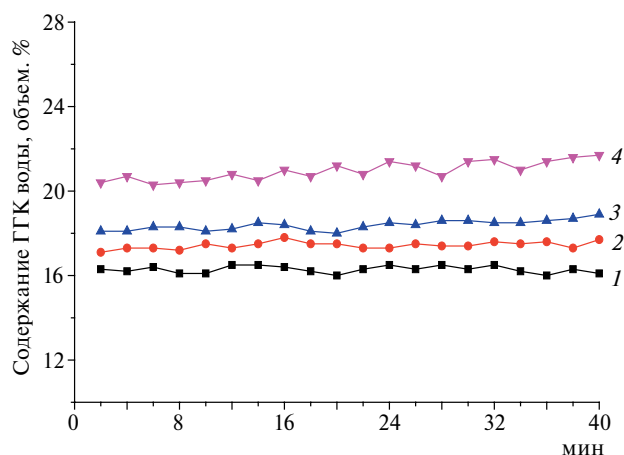


Рис. 3. Содержание гигантских гетерофазных кластеров деионизированной воды (30 – 40 мкм) при последовательном повышении напряженности магнитного поля: 1 – без воздействия магнитного поля, 2 – 4 – после его воздействия с напряженностью соответственно 0,1; 0,3 и 0,6 Тл.

Анализируя данные рис. 3, можно заключить, что степень изменения содержания ГГК в деионизированной воде возрастает с повышением напряженности МП. Так, например, при напряженности МП 0,1 и 0,6 Тл процентное изменение содержания ГГК (30 – 40 мкм) относительно его начального значения составляет соответственно 5,88 и 21,95%.

В табл. 2 представлены средние значения диаметра ГГК исследованных образцов воды без воздействия МП и после его воздействия в течение 60 мин.

Таблица 2. Изменение среднего диаметра гигантских гетерофазных кластеров воды после воздействия магнитного поля

Показатель	Вода		
	деионизированная	легкая	тяжелая
Без воздействия МП	30,26 ± 0,54	20,54 ± 0,67	12,75 ± 0,36
После воздействия МП (0,1 Тл)	32,04 ± 1,05	22,19 ± 1,21	13,22 ± 0,94
То же (0,6 Тл)	34,67 ± 1,07	24,85 ± 1,13	14,07 ± 1,06

Согласно данным табл. 2 происходит увеличение среднего диаметра ГГК для всех исследованных образцов под действием МП. Причем среднеарифметический диаметр ГГК зависит от силы воздействия МП: при возрастании величины последнего от 0,1 до 0,6 Тл размер ГГК увеличивается для легкой, деионизированной и тяжелой вод соответственно на 8; 12 и 6%.

Наиболее изменяемые размерные группы ГГК образцов воды до и после 10-минутного УЗ-воздействия представлены в табл. 3, в которой также показано процентное изменение содержания ГГК после воздействия УЗ относительно его начального значения.

Таблица 3. Изменение размерного спектра ГГК образцов воды в результате ультразвукового воздействия в течение 10 мин

Вода	Размерные группы ГГК, мкм	Содержание ГГК, объем. %		+/-, %
		без	после	
		УЗ-воздействия		
Легкая (D/H = 4,2 ppm)	10 – 20	20,1	22,7	+12,94
	40 – 50	6,7	5,8	-13,43
Деионизированная (D/H = 140 ppm)	10 – 20	12,5	14,0	+12,00
	30 – 40	27,9	25,1	-10,04
Тяжелая (D/H = 99,96 абс. ат. %)	1 – 10	25,8	28,1	+8,92
	20 – 30	9,1	8,2	-9,89

На рис. 4 показаны наиболее изменяемые размерные группы ГГК деионизированной воды в процессе УЗ-воздействия.

Анализируя данные рис. 4, отмечено снижение концентрации больших кластеров и повышение мелких после воздействия УЗ, что находит подтверждение в работе [16]. Кроме того, УЗ-воздействие на водные образцы возрастает с увеличением его продолжительности и снижается с увеличением времени его отсутствия.

В табл. 4 представлены средние значения диаметра ГГК исследованных образцов воды без воздействия УЗ и после его воздействия в течение 10 мин.

Данные указанной таблицы свидетельствуют, что ультразвуковое влияние способствует уменьшению среднеарифметического диаметра кластеров для легкой, деионизированной и тяжелой вод соответственно на 16; 11 и 8%. По нашему мнению, возможными причинами снижения концентрации кластеров исследуемых размеров может быть их разрушение, стимулированное воздействующей волной.

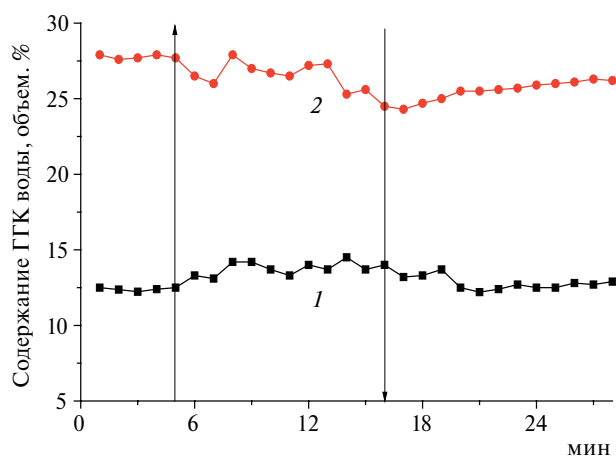


Рис. 4. Содержание гигантских гетерофазных кластеров деионизированной воды (10 – 20 (1); 30 – 40 мкм (2)) до и после ультразвукового воздействия.

Таблица 4. Изменение среднего диаметра гигантских гетерофазных кластеров воды (мкм) после воздействия ультразвука с частотой 44 кГц и мощностью 280 Вт

Показатель	Вода		
	деионизированная	легкая	тяжелая
Без воздействия УЗ	30,76 ± 0,65	20,65 ± 0,53	12,45 ± 0,46
После воздействия УЗ	27,54 ± 1,07	23,95 ± 1,22	11,48 ± 0,97

Выводы. Воздействие магнитного поля и ультразвука на воду и водные растворы приводит к их структурной перестройке. Установлено достаточно существенное повышение содержания кластеров более крупного размера и снижение содержания кластеров меньшего размера после магнитной обработки. Воздействие МП (0,6 Тл) приводит к увеличению среднеарифметического диаметра ГГК для легкой, деионизированной и тяжелой вод соответственно на 21; 15 и 10%. Причем среднеарифметический диаметр ГГК зависит от силы воздействия МП: при возрастании величины МП от 0,1 до 0,6 Тл размер ГГК увеличивается для легкой, деионизированной и тяжелой вод соответственно на 8; 12 и 6%.

Ультразвуковое воздействие, наоборот, способствует снижению концентрации больших кластеров и увеличению мелких, а также уменьшению среднеарифметического диаметра кластеров для легкой, деионизированной и тяжелой вод соответственно на 16; 11 и 8%.

Резюме. Представлено результати експериментальних досліджень змін розмірного спектру гігантських гетерофазних кластерів води з різним вмістом дейтерію під впливом магнітного поля та ультразвуку. Встановлено, що вплив магнітного поля (0,6 Тл) призводить до збільшення середньоарифметичного діаметру кластерів для легкої, деіонізованої і важкої вод відповідно на 21; 15 і 10%. Спостерігається залежність змісту кластерів від величини і тривалості дії магнітного поля. Ультразвуковий вплив (44 кГц), навпаки, сприяє зменшенню середньоарифметичного діаметру кластерів зазначених вод відповідно на 16; 11 і 8%.

V.V. Goncharuk, A.Yu. Kurliantseva, V.V. Taranov, L.S. Nifantova

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE EVALUATION OF THE MAGNETIC FIELD AND ULTRASOUND INTO THE WATER WITH WITH DIFFERENT CONTENT OF DEUTERIUM

Summary

The paper presents the results of experimental studies of changes in the size range of gigantic heterophase clusters of water with different content of deuterium under the influence of the magnetic field and ultrasound. It is found that the effect of the magnetic field (0,6 T) increases the arithmetic mean diameter for clusters of light, heavy and deionized water, respectively 21; 15 and 10%. There is a dependency of the clusters content on the power and duration of the magnetic field. Ultrasound influence (44 kHz), on the contrary, helps to reduce the arithmetic mean diameter of water clusters, respectively by 16; 8 and 11%.

Список использованной литературы

- [1] *Эпштейн Е.А., Рыбаков В.А.* // Инж.-строит. журн. – 2009. – № 4. – С. 32 – 38.
- [2] *Класен В.И.* Вода и магнит. – М.: Наука, 1973. – 112 с.
- [3] *Пат. 84580 Україна, МПК C02F 5/00 C02F 1/48 C23F 14/00 C23F 15/00* / В.В.Гончарук, В.А. Багрій, Р.Д. Чеботарьова, С.Ю. Баштан. – Опубл. 10.11.2008, Бюл. № 21.
- [4] *Goncharuk V.V., Bagrii V.A., Chebotareva R.D., Bashtan S.Yu., Nanieva A.V.* // J. Water Chem. and Technol. – 2009. – 31, N 3. – P. 172 – 176.

- [5] Мосин О.В. // Новости теплоснабжения. – 2012. – **147**, № 11. – С. 42 – 47.
- [6] Goncharuk V.V., Bagrii V.A., Bashtan S.Yu., Chebotareva R.D., Nanieva A.V. // J. Water Chem. and Technol. – 2011. – **33**, N 3. – P. 160 – 163.
- [7] Espinosa A.V., Rubio F. // Centro Agricola. – 1997. – **24**, N 1. – P. 36 – 40.
- [8] Василяк Л.М., Кудрявцев Н.Н., Костюченко С.В. и др. // Водоснабж. и сан. техника. – 2007. – № 8. – С. 1 – 4.
- [9] Попова Н.В., Фатеева С.А. // Вест. Южно-Урал. гос. ун-та. – 2014. – **2**, № 1. – С. 30 – 33.
- [10] Классен В.И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
- [11] Присяжнюк В.Я. // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2004. – № 11. – С. 45 – 59.
- [12] Goncharuk V.V., Malyarenko V.V. // J. Water Chem. and Technol. – 2003. – **25**, N 3. – P. 1 – 11.
- [13] Chang K.-T., Weng C.-I. // J. Appl. Phys. – 2006. – **100**. – P. 043917-1 – 043917-6.
- [14] Букатый В.И., Нестерюк П.И. // Электрон. физ.-техн. журн. – 2012. – **7**. – С. 6 – 10.
- [15] Букатый В.И., Нестерюк П.И. // Ползунов. вест. – 2010. – № 2. – С. 59 – 64.
- [16] Коваленко В.Ф., Глазкова В.В. // Биомед. инженерия и электроника. – 2013. – **1**, № 3. – С. 1 – 13.
- [17] Goncharuk V.V., Lapshin V.B., Burdeinaya T.N. et al. // J. Water Chem. and Technol. – 2011. – **33**, N 1. – P. 8 – 13.
- [18] Красовский П.А., Карнов О.В., Балаханов Д.М. и др. // Измерител. техника. – 2010. – **8**. – С. 16 – 20.
- [19] Пат. 96787 Україна, МПК G01 N15/02 G01 N21/01 / В.В. Гончарук, В.В. Таранов, О.О. Самсоні-Тодоров, С.В. Дроздович та ін. – Опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23.
- [20] Успенская Е.В. Дис. ... канд. хим. наук. – М., 2007. – 157 с.
- [21] Орехова Е.А. Дис. ... канд. хим. наук. – К., 2012. – 139 с.
- [22] Goncharuk V.V., Smirnov V.N., Syroyeshkin A.V., Malyarenko V.V. // J. Water Chem. and Technol. – 2007. – **29**, N 1. – P. 1 – 8.
- [23] Гончарук В.В., Орехова Е.А., Маляренко В.В. // Укр. хим. журн. – 2009. – **75**, № 6. – С. 80 – 85.

Поступила в редакцию 10.11.2015 г.