

УДК: 591.044; 577.3

ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА
ВОДЫ

Коваленко В.Ф., Глазкова В.В.

УДК: 591.044; 577.3

INFLUENCE OF ACOUSTIC WAVES ON STRUCTURAL PROPERTIES
OF WATER

V.F. Kovalenko, V.V. Glazkova (KNTU)

Аннотация

Исследовано влияние акустических волн в диапазоне $1 \text{ Гц} \leq \omega \leq 880 \text{ кГц}$ интенсивностью $15 - 80 \text{ дБ}$ на структурные свойства воды методом светорассеяния лазерного излучения с $\lambda = 0,65 \text{ мкм}$. Установлено, что воздействие инфразвуковых волн на структуру воды имело место на отдельных частотах (5 Гц и 10 Гц) и заключалось в разрушении кластеров с размерами $r < 1,6 \text{ мкм}$. Дискретность воздействия инфразвуковых волн связывается с резонансным механизмом взаимодействия волны и кластеров определенных массы и размеров. В звуковом и ультразвуковом диапазонах взаимодействие акустических волн с кластерами было нерезонансным и приводило к уменьшению концентрации средних и малых кластеров ($r < 0,9 \text{ мкм}$) и формированию сверхкрупных кластеров ($r > 3 \text{ мкм}$).

Ключевые слова: акустические волны, кластеры, вода, индикатрисы светорассеяния.

Abstract

The influence of acoustic waves in the range of $1 \text{ Hz} \leq \omega \leq 880 \text{ kHz}$ by intensity $15 - 80 \text{ dB}$ on the structural properties of water by light scattering of laser radiation with $\lambda = 0,65 \text{ }\mu\text{m}$. It is established that exposure to infrasound waves on water structure occurred at certain frequencies (5 Hz and 10 Hz) and is the destruction of clusters with sizes $r < 1,6 \text{ }\mu\text{m}$. Discreteness effects of infrasound waves associated with the resonance mechanism of interaction between waves and clusters of certain weight and size. In the sonic and ultrasonic range interaction of acoustic waves with clusters was nonresonant and reduced the concentration of small and medium clusters ($r < 0,9 \text{ }\mu\text{m}$) and formation oversize clusters ($r > 3 \text{ }\mu\text{m}$).

Keywords: acoustic waves, clusters, water, scattering indicatrix.

Введение

Человек воспринимает окружающий мир, различную информацию в большой мере с помощью акустических волн – в форме отдельных звуков, разговорной речи, шумов различной природы, музыки и т.п. Звуковые волны кроме чисто информационного и эмоционального аспектов воздействуют на биоткани и биожидкости организма механически, вынуждая последние колебаться под действием волн, на чем основаны различные физиотерапевтические методики диагностики и лечения [1, 2]. С другой стороны, резко возросшее в последние десятилетия количество источников шумов инфразвукового, звукового и ультразвукового диапазонов различного происхождения – транспортного, промышленного, бытового, музыкального и др. оказывает негативное воздействие на работу различных систем организма – центральную нервную, психическую, сердечнососудистую и ряд других [3-6].

Однако, несмотря на широкий спектр воздействий акустических волн на организм - от лечебного до летального, механизм (или механизмы) этих воздействий зачастую остаются недостаточно установленными или вообще неизвестными. Можно предположить, что такое разноплановое влияние в значительной или даже решающей мере может быть обусловлено характером и степенью воздействия акустических волн на структурные свойства воды организма, составляющей ~70% его состава. В настоящее время хорошо известна высокая чувствительность воды к различного рода энергоинформационным воздействиям. Характер воздействия, его информационное содержание фиксируются в воде в виде определенной конфигурации ее структуры, и от нее в значительной мере зависит как физическое, так и психическое состояние человека. В этой связи крайне важным является знание характера воздействия того или иного фактора на структурность воды. Влияние акустических волн на структурные свойства воды практически не исследовано.

В настоящей работе с помощью метода светорассеяния [7] изучено воздействие волн инфразвукового, звукового и ультразвукового диапазонов ($1 \text{ Гц} \leq \omega \leq 880 \text{ кГц}$) на структурные характеристики воды с целью более глубокого понимания механизмов их комплексного воздействия на организм.

Методика эксперимента

Для исследования были отобраны образцы дистиллированной и родниковой (из артезианской скважины) воды.

Воздействие на воду инфразвуковыми волнами на частотах 1; 5; 7; 10 Гц осуществлялось компьютером с подключенными к нему акустическими колонками при использовании программы «Two Channels Frequency Generator». Данный генератор обеспечивал максимальную интенсивность волны $P = 40 \text{ дБ}$. В звуковом и ультразвуковом диапазонах воздействие осуществлялось с помощью звукового генератора ГЗ-109 с подключенными к нему колонками. Для воздействия в ультразвуковом диапазоне на частоте 880 Гц использовался аппарат ультразвуковой терапии УЗТ-1.01 Ф, минимальная интенсивность волны которого составила 80дБ.

Облучение инфразвуковым и звуковым генераторами производилось при помещении стеклянной кюветы диаметром 8 мм с испытуемой водой непосредственно у динамиков, а при облучении аппаратом УЗТ-1.01 Ф – при погружении выходного электрода в кювету.

Измерялись угловые зависимости интенсивности рассеянного света $I(\theta)$ (индикатрисы рассеяния) исследуемых проб воды в передней полуплоскости по направлению распространения лазерного луча в интервале углов рассеяния $4^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ с шагом 2° при различных интенсивностях падающего излучения J . В качестве источника излучения использовался полупроводниковый лазер с $\lambda=0,65\text{мкм}$, диаметром луча 3 мм и мощностью излучения < 1 мВт (лазерная указка) [7].

Из измеренных индикатрис определялись набор (ансамбль) и размеры кластеров, их относительные концентрации, а также степень изменения этих параметров после воздействия. Ансамбль и размеры кластеров с радиусами $r \leq 2$ мкм определялись по угловым положениям максимумов на расчетных зависимостях (рис. 1):

$$Q^2 I(Q) = f(Q) \quad (1)$$

рассмотренным в [7] способом. Размеры кластеров с $r > 2\text{мкм}$ оценивались по величинам углового интервала между периодическими осцилляциями I на кривых $I(\theta)$ и (1) в интервале углов $20^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$, обусловленных интерференцией дифрагированных на кластерах и преломленных ими лучей [8].

Степень изменения суммарной концентрации кластеров всех размеров N_Σ устанавливалась по отношению интегральной интенсивности рассеянного света после воздействия $I_{\Sigma\text{в}}$ к исходной $I_{\Sigma\text{исх}}$. Значение интегральной интенсивности рассеяния I_Σ , численно равное площади под кривой $I(\theta)$, в предположении однократного рассеяния может быть представлено в виде [9]:

$$I_\Sigma = \sum_i \beta N_i r_i J \cdot V, \quad (2)$$

где β - коэффициент, учитывающий угловую апертуру фотоприемника и его спектральную чувствительность; N_i , r_i – концентрация и радиус кластеров i -го типа; V – объем освещаемой воды; i - номер типа (размера) кластера.

Степень изменения концентрации кластеров отдельных размеров с $r \leq 2$ мкм определялась по расчетным значениям относительных индикатрис рассеяния $R(\theta)$ для каждого случая воздействия, представляющих собой отношение измеренных индикатрис рассеяния одной и той же пробы после $(I(\theta)_\text{в})$ и до $(I(\theta)_\text{исх})$ воздействия [9]:

$$R(Q) = \frac{I(Q)_\text{в}}{I(Q)_\text{исх}}. \quad (3)$$

О концентрации кластеров с $r > 2$ мкм судили по амплитудам и количеству осцилляций интерференционной картины, формируемой этими кластерами.

Экспериментальные результаты

Индикатрисы рассеяния как исходной воды, так и после воздействия акустическими волнами, представляли собой убывающие функции с увеличением угла рассеяния (рис. 1). Согласно [7], рассеивающими центрами являются кластеры-микрористаллы льда, присутствующие в жидкой фазе во

всем температурном интервале ее существования, наличие и параметры которых определяют структурные свойства воды.

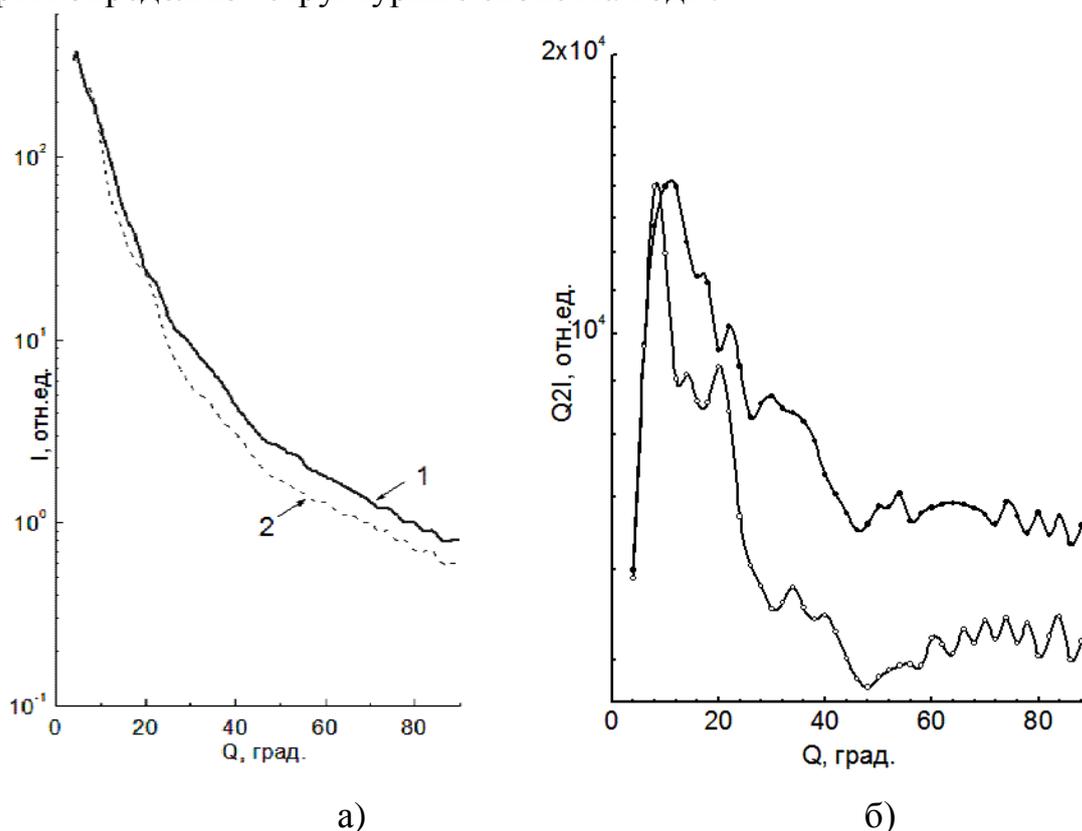


Рис.1. а - Индикатрисы рассеяния родниковой исходной воды до (кр. 1) и после (кр. 2) воздействия инфразвуковой волной с частотой 5 Гц, интенсивностью волны 40 дБ в течение 30 минут, измеренные при максимальной интенсивности лазерного излучения I_{\max} ; б – расчетные зависимости (1) $1'$ и $2'$, соответствующие кривым 1 и 2 на рис. а.

Наблюдаемая форма кривых $I(\theta)$ в малоугловой области ($\theta \leq 10^\circ$) формируется дифракцией падающего света на (условно) крупномасштабных кластерах с радиусами $0,9 < r \leq 2,0 \text{ мкм}$; в интервале углов $10^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$ - дифракцией на среднемасштабных кластерах ($0,4 \text{ мкм} \leq r \leq 0,9 \text{ мкм}$); в области углов $\theta > 30^\circ$ - рассеянием на мелкомасштабных кластерах с $r < 0,4 \text{ мкм}$ частично за счет дифракции, а также в результате отражения, роль которого возрастает с увеличением θ [10].

Воздействие волнами инфразвукового диапазона на структуру воды приводило к изменению набора (ансамбля) кластеров, их концентраций и размеров. При этом характер и степень воздействия существенно зависели от частоты акустических волн.

На частотах 1 Гц и 7 Гц изменения структурных параметров были минимальными (табл. 1). Влияние волны на частоте 5 Гц было наибольшим, и его степень возрастала с увеличением времени воздействия. Как следует из относительной индикатрисы рассеяния, приведенной на рис. 2 кр.1, облучение в течение 30 мин обуславливало формирование крупных кластеров с $r \approx 1,19 \text{ мкм}$, незначительное возрастание концентрации сверхкрупных кластеров с $r \approx$

4,45 мкм и $r \approx 7,24$ мкм и существенное (на 25-50%) уменьшение концентрации крупных, средних и мелких кластеров. В результате интегральная интенсивность рассеяния уменьшалась на 25-30% (табл.1).

На частоте 10 Гц влияние волны возрастало с увеличением времени, и после воздействия в течение 30 минут оно обуславливало существенное (на $\sim 45\%$) уменьшение концентрации крупных и средних кластеров, а также мелких ($c r \leq 0,20$ мкм) кластеров на 5 - 10%. Кроме того, воздействие на этой частоте приводило к формированию кластеров с $r \approx 6,67$ мкм вместо наблюдаемых в исходной воде с $r \approx 7,24$ мкм. Интегральная интенсивность рассеяния $I_{\Sigma B}$ уменьшилась на 10%.

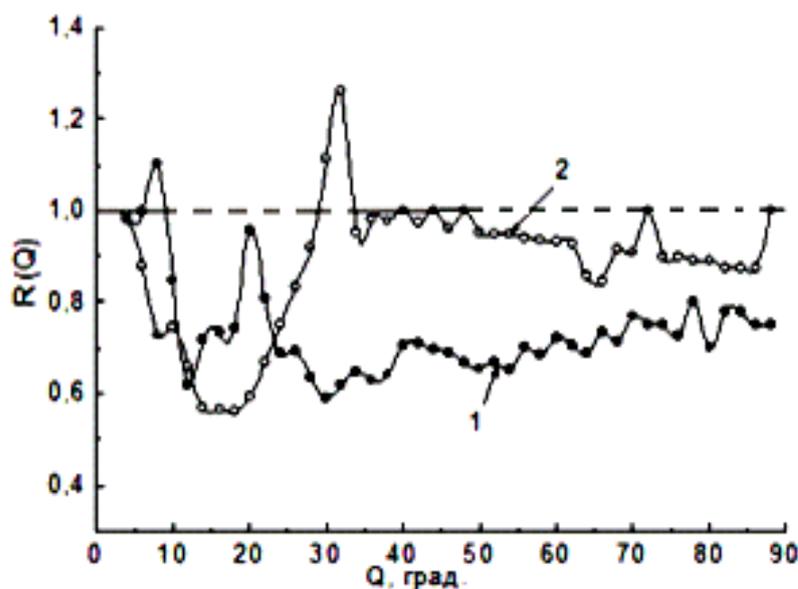


Рис. 2. Относительные индикатрисы рассеяния (3) после воздействия на родниковую воду инфразвуковыми волнами с частотой 5 Гц (кр. 1) и 10 Гц (кр. 2), интенсивностью 40 дБ в течение 30 минут

Таблица 1

Параметры светорассеяния родниковой воды после воздействия инфразвуковыми волнами

Частота волны, Гц	Время воздействия, мин	r , мкм	I_{Σ} , %
0(исх)	0	5,05-7,24↓; $\sim 1,58$; $\sim 0,86$; $\sim 0,68$; 0,53; $\leq 0,30$	100
1	30	4,80-7,24; 1,58; 0,80↑; 0,45↑; $\leq 0,30$ ↑	105
5	30	4,45↑; 7,24↑; 1,58↓; 1,19; $\sim 0,68$ ↓; $\leq 0,43$ ↓↓	75
7	30	4,81-7,24; 1,58↓; 0,95; 0,68; 0,53; 0,25↑; $< 0,16$ ↓	100
10	30	6,67↑; 0,95↓↓; 0,48↓↓; 0,40↓↓; $\leq 0,30$ ↓	90

Параметры светорассеяния дистиллированной воды после воздействия звуковыми и ультразвуковыми волнами

Частота волны, Гц	Интенсивность волны, дБ	Время воздействия, мин	г, мкм	I _Σ , %
0(исх)	0	0	4,45-6,7; 1,58; 0,95; 0,53; 0,31	100
20	15	20	4,45-6,7↓; 3,10-3,46↑; 1,58; 0,95; 0,53↓; ≤0,33↓	92
	45	20	4,45-6,7↑; 1,58; 0,95; ~0,53↓; 0,33↑	103
2·10 ³	15	20	6,7↓; 3,1-3,46↓; 1,58↓; 0,95↓; ~0,53↓; ≤0,33↓	89
	45	20	4,45-6,7; 1,58↓; 0,95↓; 0,53↓; ≤0,33↓	94
2·10 ⁵	15	20	4,45-6,7↑; 1,19; 0,95; 0,60; 0,30↑	103
	45	20	3,46-3,96↑; 1,58↑; 0,95↑; 0,48↓; ≤0,34↓	93

Примечания к таблице 1 и 2: 1. Стрелки у некоторых значений радиусов кластеров после воздействия указывают на увеличение (↑), уменьшение (↓) или существенное уменьшение (↓↓) их концентраций по сравнению с концентрацией аналогичных или ближайших к ним по размерам кластеров в исходной пробе.

Стрелка (↓) у размера сверхкрупного кластера исходной пробы указывает на их очень низкую концентрацию в исходной воде.

2. Символ (≤) включает, кроме кластеров указанного возле него размера, все более мелкие пространственно неразрешаемые кластеры, о присутствии которых свидетельствует характер индикатрис рассеяния.

Таким образом, воздействие инфразвуковых волн на структуру воды имело дискретный характер, т.е. имело место на отдельных частотах – 5 и 10 Гц, и заключалось в разрушении крупных, средних и мелких кластеров и незначительном увеличении концентрации сверхкрупных кластеров.

Воздействие волнами звукового диапазона обуславливало, в основном, изменение концентрации кластеров различных размеров, и набора сверхкрупных кластеров, причем степень этого воздействия нетривиально зависела от частоты и интенсивности звуковой волны. Из приведенных на рис. 3 относительных индикатрис дистиллированной воды следует, что при минимальной интенсивности волны P = 15 дБ ее влияние в диапазоне частот 20

Гц – 2 кГц было максимальным. На частоте $\omega = 20$ Гц оно приводило к формированию сверхкрупных кластеров с $r = 3,10 - 3,46$ мкм, отсутствовавших в исходной воде (табл. 2), а также к уменьшению концентрации средних, а главным образом мелких кластеров (рис. 3, а). Возможными причинами уменьшения концентрации этих кластеров могут быть их сращивание и образование сверхкрупных кластеров, а также их разрушение, стимулированные воздействующей волной.

Возрастание интенсивности звуковой волны до 45 дБ на частоте 20 Гц приводило к незначительному увеличению концентрации мелких кластеров ($R > 1$ в угловом интервале $\theta > 40^\circ$ на рис. 3, а). Увеличение частоты до 2 кГц при $P = 15$ дБ уменьшало концентрации кластеров всех размеров – более существенно мелких, средних и в меньшей степени – крупных и сверхкрупных (рис. 3, б, кр.1). Увеличение интенсивности волны до 45 дБ на этой же частоте также обуславливало уменьшение концентрации кластеров всех размеров, но в меньшей степени, чем при $P = 15$ дБ (рис. 3, б, кр. 2).

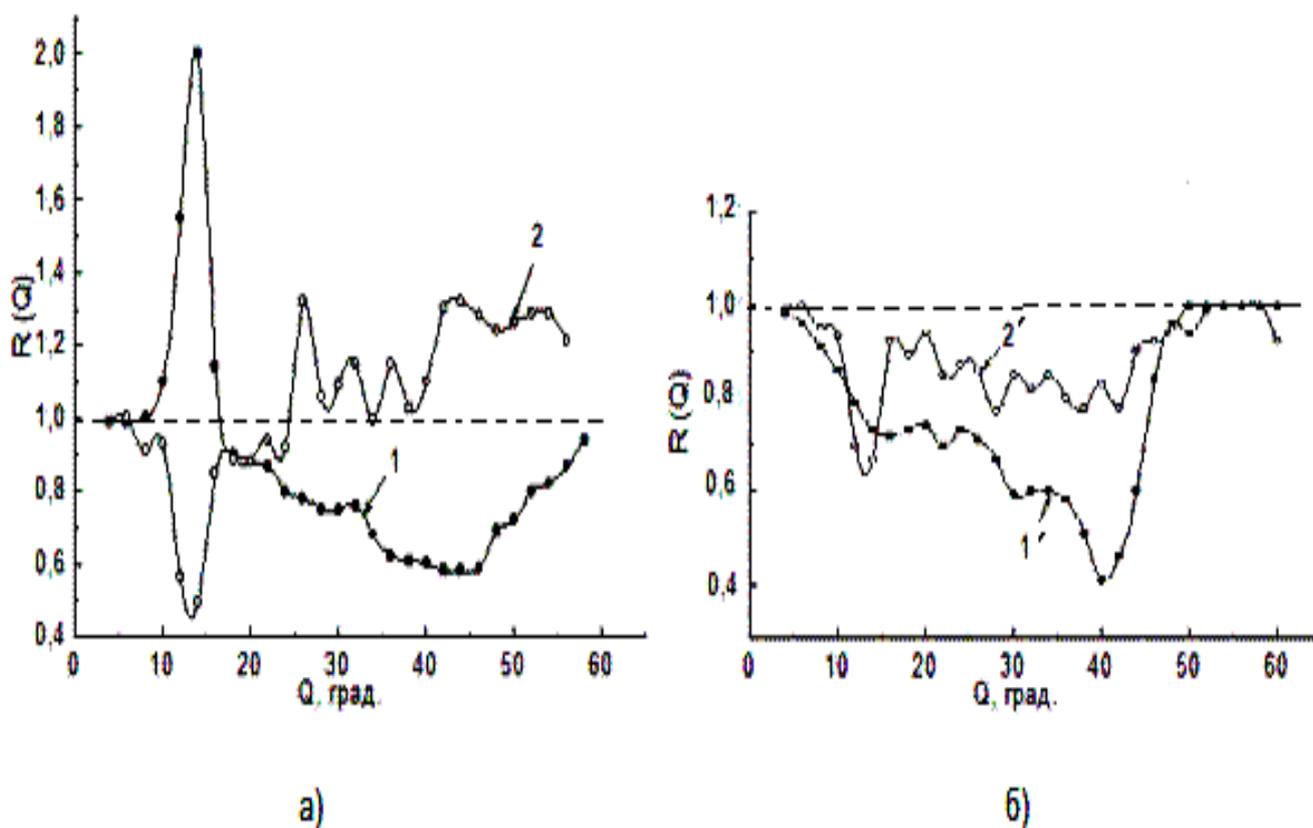


Рис. 3. Относительные индикатрисы рассеяния (3) после воздействия на дистиллированную воду звуковыми волнами с частотой 20 Гц (а) и 2 кГц (б), интенсивностью 15 дБ (кр. 1; 1') и 45 дБ (кр. 2; 2') в течение 20 минут

На рис. 4 представлены относительные индикатрисы рассеяния дистиллированной воды после воздействия ультразвуковой волной с частотой $\omega = 2 \cdot 10^5$ Гц для двух значений ее интенсивности. Из рисунка 4 и таблицы 2 видно, что при $P = 15$ дБ $R(\theta) \approx 1$, т.е. при данных условиях воздействия

исходная структура воды практически не изменялась. Наличие периодических осцилляций малой амплитуды на кривой $R(\theta)$ в угловом интервале $\theta > 20^\circ$ обусловлено интерференцией дифрагированных и преломленных лучей на сверхкрупных кластерах с $r \approx 4,45 - 6,7$ мкм, присутствующих в исходной пробе в небольшой концентрации.

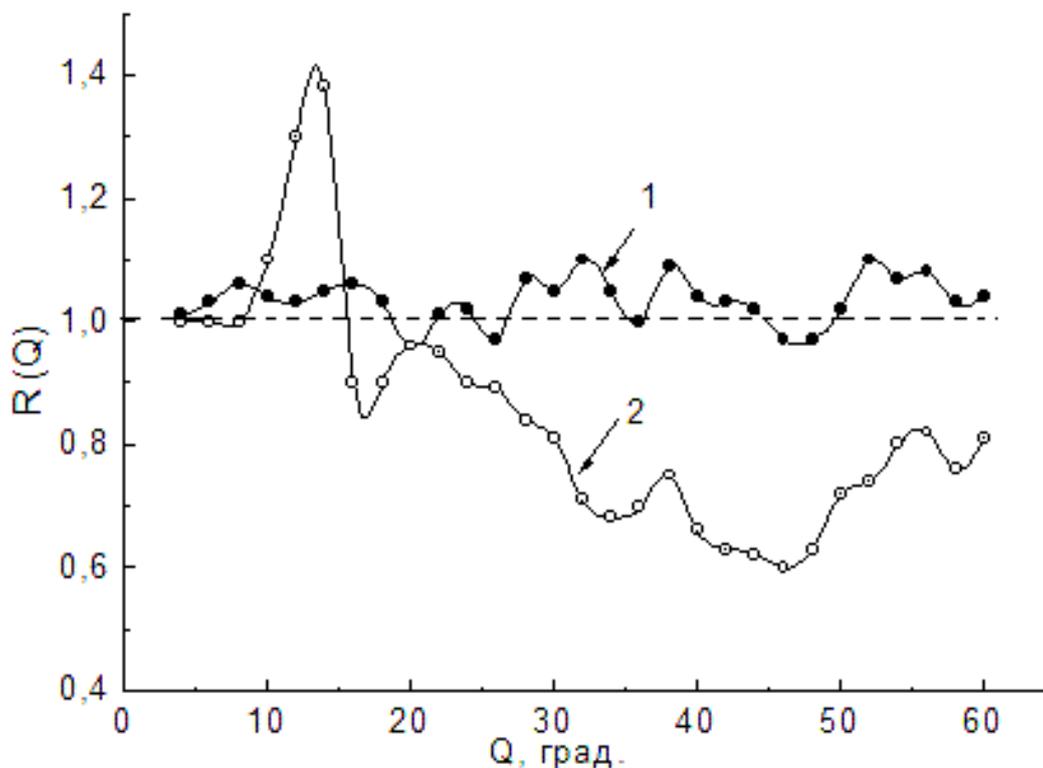


Рис. 4. Относительные индикатрисы рассеяния (3) после воздействия на дистиллированную воду ультразвуковыми волнами с частотой 200 кГц, интенсивностью 15 дБ (кр. 1) и 45 дБ (кр. 2) в течение 20 минут

Увеличение интенсивности волны до 45 дБ приводило к формированию сверхкрупных кластеров с $r = 3,46 - 3,96$ мкм, отсутствовавших в исходной пробе, и к уменьшению концентрации средних и в большей степени – мелких кластеров.

Рис. 5 иллюстрирует временную эволюцию структуры родниковой воды (исходная структура приведена в таблице 1) при воздействии акустической волной с частотой 880 кГц и интенсивностью 80 дБ. Облучение в течение 10 мин. обуславливало формирование значительной концентрации сверхкрупных кластеров с $r = 2,40 - 2,75$ мкм, о чем свидетельствуют интенсивные периодические осцилляции в угловом интервале $\theta < 50^\circ$, а также уменьшение концентрации мелких кластеров с $r \leq 0,17$ мкм ($R(\theta) < 1$ в угловом интервале $\theta < 55^\circ$). Как следует из хода кривой 1 на рис. 5, степень уменьшения концентрации последних возрастает с уменьшением их размера.

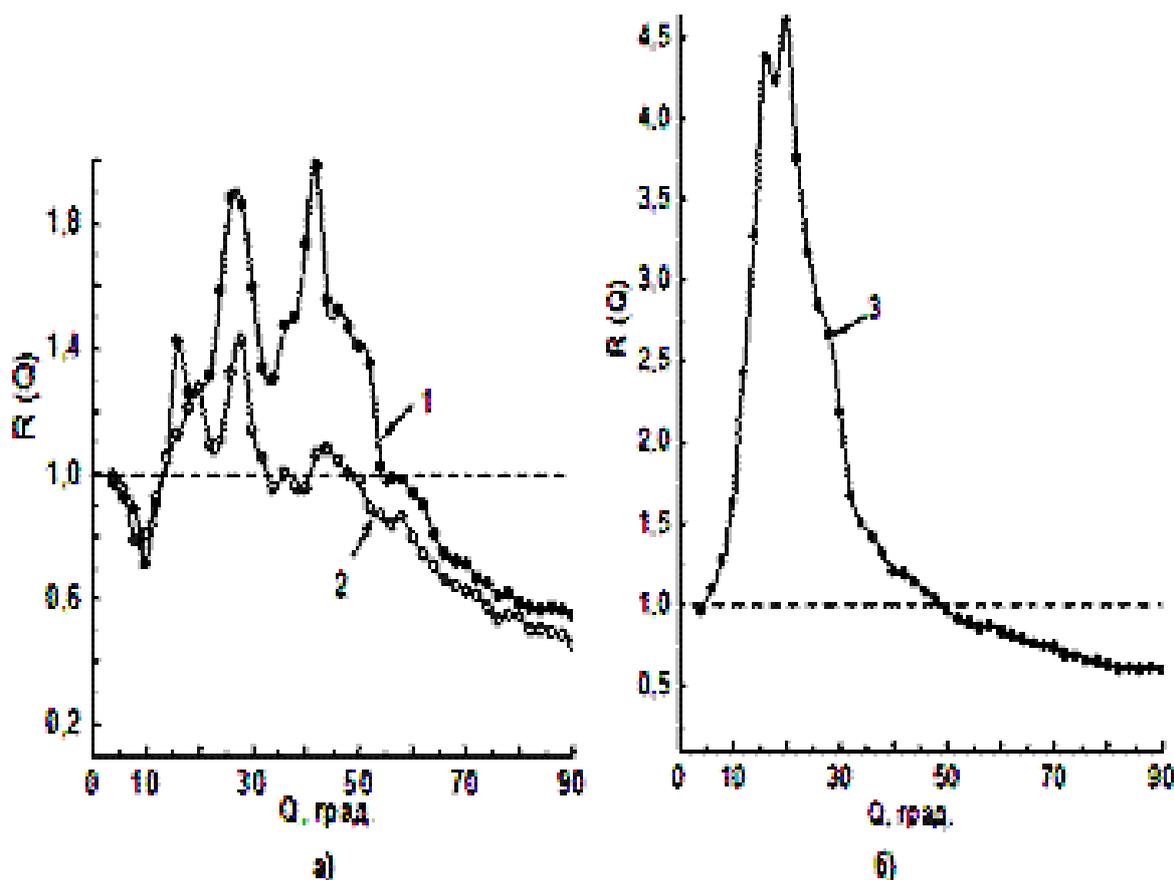


Рис.5. Зависимость относительных индикатрис рассеяния родниковой воды от времени воздействия t_b ультразвуковой волной с частотой 880 кГц, интенсивностью 80 дБ в течение 10 мин. (а, кр.1), 30 мин. (а, кр.2) и 60 мин. (б, кр.3)

Увеличение времени воздействия до 30 мин. приводило к росту размеров сверхкрупных кластеров до $r = 3,46 - 4,45$ мкм, разрушению сверхкрупных кластеров с $r = 7,24$ мкм, присутствовавших в исходной воде, а также к более существенному уменьшению концентрации мелких кластеров с $r < 0,2$ мкм и в результате к уменьшению $I_{\Sigma в.}$ на 7% по сравнению с $I_{\Sigma исх.}$

Воздействие в течение 60 мин обуславливало формирование высокой концентрации сверхкрупных кластеров с $r = 6,7$ мкм, $3,46 - 4,45$ мкм и возрастание интегральной интенсивности рассеяния на $\sim 75\%$. Концентрация мелких кластеров практически не изменялась по сравнению с наблюдаемой после воздействия в течение 30 минут¹ (рис. 5).

Обсуждение результатов

С учетом того, что в условиях настоящего эксперимента диаметр рассеиваемого светового луча более чем на порядок был меньшим диаметра воздействующего звукового потока, можно предположить, что это воздействие

¹ Наложение интенсивной интерференционной картины, связанной с рассеянием на сверхкрупных кластерах, на угловой интервал $10^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$, в котором рассеивают крупные, средние и часть мелких кластеров, не позволяет судить о характере и степени изменения концентрации этих кластеров.

на воду осуществлялось плоскими продольными гармоническими волнами, описываемыми уравнением [11]:

$$\varphi = a \cdot \sin(\omega t - kx + \alpha_0), \quad (4)$$

где a – амплитуда волны; ω – ее циклическая частота; $k = \frac{\omega}{v}$ – волновое число; v – скорость волны; x – координата, вдоль которой распространяется волна; α_0 – начальная фаза волны.

Проходя сквозь воду и воздействуя на нее, такая волна расходует свою энергию на продольные колебательные смещения кластеров и несвязанных молекул воды. Такое вынуждающее воздействие вызывает реакцию кластеров, препятствующую их смещению в направлении распространения волны. Эта реакция обуславливается проявлением сил инерции кластеров и трения их о межкластерную среду и между собой. Сила инерции кластера пропорциональна его массе m и ускорению его движения \ddot{x} :

$$F_u = m\ddot{x}. \quad (5)$$

Сила трения кластера пропорциональна коэффициентам трения о среду γ , а также между собой ξ , площади внешней поверхности кластера $S_k = 4\pi r^2$ и скорости его смещения \dot{x} , а также концентрации кластеров n , соприкасающихся с данным кластером:

$$F_{mp} = \gamma S_k \dot{x} + \xi n S_k \dot{x}. \quad (6)$$

Здесь первое слагаемое описывает силу трения кластера о межкластерную среду, т.е. о жидкую фракцию воды, состоящую из несвязанных в кластеры молекул воды; второе слагаемое описывает силу трения кластера о другие кластеры.

Колебания кластеров будут происходить при условии, что энергия волны будет превышать работу сил реакции кластеров, и не будут иметь места при обратном соотношении. Критерий изменения структурности воды для рассматриваемого случая имеет вид:

$$\frac{1}{2} \frac{\rho}{\vartheta^2} \omega^2 a^2 > \left(\sum_i m_i \ddot{x}_i a' \omega N_i + \sum_i \gamma S_{ki} \dot{x}_i a' \omega N_i + \sum_i \xi S_{ki} a' \dot{x}_i n_i \right),$$

где: ρ – плотность воды; i – номер типа (размера) кластера; $a' = \frac{a}{\vartheta}$ – амплитуда колебаний кластеров.

Левая часть неравенства представляет собой объемную плотность энергии волны; первое слагаемое правой части – работу в единичном объеме силы инерции; второе и третье – работу в единичном объеме сил трения о межкластерную среду и о другие кластеры соответственно.

При возвратно-поступательных смещениях кластеров могут иметь место как их разрушение, так и формирование новых из фрагментов разрушенных или из более мелких кластеров за счет их срачивания.

Малые и средние кластеры из-за малости их масс и поверхностей проявляют наименьшую реакцию возвратно-поступательному движению и поэтому являются наиболее мобильными. Реакция крупных и сверхкрупных

кластеров, обладающих большими массами и внешними поверхностями, является существенно большей.

Из приведенных данных следует, что характер и степень воздействия акустической волны на структуру воды, кроме влияния сил реакции кластеров, зависит также от ее параметров – частоты, интенсивности, времени облучения. На инфразвуковых частотах вклад сил реакции из-за малых значений ускорения \ddot{x} и скорости смещения \dot{x} кластеров является минимальным. Мы полагаем, что наблюдаемая дискретность воздействия обусловлена, очевидно, резонансным характером взаимодействия волны и кластеров определенных массы и размеров, т.е. совпадение частоты волны с их собственной частотой колебаний. В результате значительно возрастает амплитуда a' и скорость смещения \dot{x} резонирующих кластеров по сравнению с аналогичными характеристиками кластеров других размеров. Сталкиваясь с последними, резонирующие кластеры обуславливают их разрушение. Очевидно, что в качестве разрушающих должны быть кластеры, имеющие большие размеры. Однако представляется маловероятным, что таковыми являются сверхкрупные кластеры из-за их крайне низкой концентрации в исходной воде. По-видимому, резонирующими являются крупные кластеры, концентрация и размеры которых достаточны для реализации наблюдаемого изменения структуры. На такое предположение указывают экспериментальные данные. Так, на частоте 5 Гц такими могут быть кластеры с $r = 1,58$ мкм в исходной воде, которые трансформируются после воздействия в кластеры с $r = 1,19$ мкм (максимум на кривой 1 рис. 2 при $\theta = 8^\circ$). На частоте 10 Гц таковыми, по-видимому, являются кластеры с $r \approx 0,95$ мкм (максимум на кривой 2 рис. 2 при $\theta = 10^\circ$). Отсутствие разрушения самих резонирующих кластеров обуславливается, очевидно, их более высокой механической прочностью вследствие наличия многочисленных внутренних плоскостей, обуславливающих более высокую жесткость крупных и сверхкрупных кластеров по сравнению со средними и мелкими.

Разрушающим характером воздействия инфразвуковых волн на структуру воды можно объяснить негативное влияние инфразвука на человека, учитывая информационный аспект структуры воды. Этот аспект заключается в том, что энергетическое или информационное воздействие на воду обуславливает тип ее структуры (ансамбль кластеров, их размеры и форму, концентрацию, пространственное распределение и др.), соответствующий данному воздействию. Таким образом, в конкретных значениях и виде указанных характеристик кодируется информация об этом воздействии [12]. Если предположить, что внутриклеточная вода мозга, из которой он состоит, является материальным носителем памяти, информации, накопленной человеком в процессе его жизни, закодированных в ее структуре, то становится понятным, что именно резонансное разрушение структуры внутриклеточной воды мозга является причиной негативных последствий воздействия инфразвука на человека.

С дальнейшим увеличением частоты акустической волны эффект резонанса в изменении структуры воды уменьшается, т.к. уменьшаются масса и размеры кластеров, имеющих соответствующие собственные частоты колебаний. Такие кластеры относятся к группам средних и мелких, и в состоянии резонанса они не могут произвести изменения структуры, соразмерные с наблюдаемыми в инфразвуковом диапазоне. Поэтому в звуковом и ультразвуковом диапазонах доминирующим является нерезонансное взаимодействие волны со структурой, при котором вынужденным колебаниям в равной степени подвергались кластеры всех размеров. Однако, силы инерции и трения, роль которых увеличивается с ростом частоты, уменьшали амплитуды колебаний кластеров, а, следовательно, и степень изменения концентрации пропорционально их массе и размерам. Вследствие этого с увеличением частоты степень наибольшего изменения концентрации кластеров смещалась от более крупных к более мелким. На графиках относительных индикатрис рассеяния это проявляется в смещении участков кривых $R(\theta) < 1$ по горизонтальной оси слева направо.

Увеличение интенсивности воздействующей волны усиливает «разрушающий» эффект, поскольку преодолевается реакция сил инерции и трения и увеличивается амплитуда колебаний тех кластеров, которые при меньшей интенсивности волны были заблокированы силами $F_{и}$ и $F_{тр}$. Это обстоятельство объясняет нетривиальную зависимость структурных характеристик от интенсивности и частоты волны в звуковом и ультразвуковом диапазонах.

Из приведенных данных также следует, что воздействие акустических волн сводилось не только к разрушению средних и мелких кластеров, но и к формированию сверхкрупных кластеров, эффективность которого возрастала с увеличением частоты и интенсивности волны (наиболее существенно в УЗ диапазоне). По-видимому, это связано с увеличением вероятности многократной реализации взаимного пространственного расположения кластеров различных размеров, оптимального с точки зрения возникновения между ними водородных связей и образования таким образом сверхкрупных кластеров, размеры и концентрация которых возрастали с увеличением времени воздействия.

Таким образом, воздействие волн звукового и ультразвукового диапазонов приводит к уменьшению концентрации малых и средних кластеров и образованию сверхкрупных кластеров, т.е. к формированию более крупнозернистой структуры воды. В этой связи, учитывая информационный аспект воды, можно предположить, что использование акустических методик диагностики и терапии, вызывая изменение ее структурных свойств в организме пациента, может негативно влиять на функции различных его систем.

Литература

1. *Применение* ультразвука в медицине: Физические основы: Пер. С англ./Под ред. К.Хилла.- М.: Мир, 1989.
2. *Ливанов М.Н., Русинов В.С., Симонов П.В.* Диагностика и прогнозирование функционального состояния мозга человека. М., Наука, 1988, - 325с.
3. *Акопян В.Б., Ершов Ю.А.* Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. Серия: Биомедицинская инженерия в техническом университете – М., МГТУ, 2005, - 224с.
4. *Хорбенко И.Г.* Звук. Ультразвук. Инфразвук. – М., Знание, 1986, - 192с.
5. *Миллер Э., Хилл К., Бэмбер Дж., Дикинсон Р., Фиш П., тер Хеарт Г.* Инфразвук – М., «Мир», 1989, - 560с.
6. *Новиков Ю.В.* Охрана окружающей среды: Учебное пособие для учащихся техникумов. – М.: Высш. шк., 1987. С. 142 –149.
7. *Коваленко В.Ф., Левченко П.Г., Шутов С.В.* Кластерная природа светорассеяния воды. – Биомедицинская радиоэлектроника, 2008, №5, с.36-45
8. *Коваленко В.Ф., Шутов С.В., Бордюк А.Ю.* Интерференционные эффекты светорассеяния биологических жидкостей. – Биомедицинская радиоэлектроника, 2009, №8, с.71-78.
9. *Kovalenko V.F., Boryuk A.Yu. and Shutov S.V.* Light-scattering of water under magnetic fiend. – Ukr.I.Phys.Opt.2010, V.11, №1, p.6-20.
10. *Ван де Хюлст.* Рассеяние света малыми частицами. М., ИЛ, 1961, 536с.
11. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М.* Фейнмановские лекции по физике. 4. Кинетика. Теплота. Звук. М., Наука, 2009, 264с.
12. *Мосин О.В.* Вода и ее структура. // Журнал "Самиздат". URL: http://zhurnal.lib.ru/o/oleg_w_m/cdocumentsandsettingsolegmosinmoidokumentysre diwsehwestwimejushihhsjanazemlertf.shtml (дата обращения: 10.01.2011).

Сведения об авторах:

Коваленко Виктор Федорович: д.ф-м.н., профессор кафедры физической и биомедицинской электроники Херсонского национального технического университета. Адрес места работы: 73008, Херсон, Бериславское шоссе, 24б, кв.24. Телефон: 8-0552-344110

Научные интересы: физика полупроводников, структурно-информационные свойства воды.

Глазкова Валерия Викторовна: аспирант кафедры физической и биомедицинской электроники Херсонского национального технического университета. Телефон: +380950009231. e-mail: Valeria_1204@mail.ru

Научные интересы: оптические свойства биологических сред, структурно-информационные свойства воды.