

Иванов Ю.Д.<sup>1</sup>, Мальсагова К.А.<sup>1</sup>, Татур В.Ю.<sup>2</sup>, Веснин С.Г.<sup>3</sup>, Иванова Н.Д.<sup>4</sup>, Зиборов В.С.<sup>5</sup>

## СВЧ-излучение воды в аналитических системах

<sup>1</sup> — ФГБНУ НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича, 119121, Москва, Погодинская ул., д. 10

<sup>2</sup> — Фонд перспективных технологий и новаций, 115682, Москва, Шипиловская ул., д. 64, 1, 147

<sup>3</sup> — ООО «Фирма РЭС», Москва, 105082, Москва, Большая Почтовая ул., д. 22

<sup>4</sup> — ФГБОУ ВПО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина», 109472, Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23

<sup>5</sup> — Объединенный институт высоких температур РАН, 125412, Москва, ул. Ижорская, д. 13, строение 2

Обнаружено, что при механическом воздействии на воду возникает излучение в СВЧ-диапазоне. Это излучение было зарегистрировано при температурах воды вблизи областей фазовых переходов воды. Обнаруженный эффект может возникать в различных биоаналитических системах, связанных с движением в них водных растворов, и влиять на результаты биоаналитических измерений. Обнаруженный эффект возникновения неравновесного микроволнового излучения водной среды (являющейся основным компонентом организма) в области температуры 38—39°C, то есть в области повышенной температуры организма, которая сопровождается возникновением патологического состояния человека, может быть использован для создания новых неинвазивных методов диагностики заболеваний.

**Ключевые слова:** кластеры воды, СВЧ-излучение, механическое воздействие.

**Для цитирования:** Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2015; 59(4): 78-81

Ivanov Yu.D.<sup>1</sup>, Malsagova K.A.<sup>1</sup>, Tatur V.Yu.<sup>2</sup>, Vesnin S.G.<sup>3</sup>, Ivanova N.D.<sup>4</sup>, Ziborov V.S.<sup>5</sup>

## Microwave emission from water in bioanalytical systems

<sup>1</sup> — Institute of Biomedical Chemistry, Moscow, Russia

<sup>2</sup> — Foundation of Perspective Technologies and Novations, Moscow, Russia

<sup>3</sup> — RES Ltd., Moscow, Russia

<sup>4</sup> — Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russia

<sup>5</sup> — Joint Institute for High Temperatures of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Mechanical stimulation of aqueous protein solution was found to be accompanied by electromagnetic radiation in the superhigh frequency range. This radiation was observed at solution temperatures near the phase transitions of water. This effect may occur in various bioanalytical systems, associated with injection of aqueous solutions in these systems, and may have impact on the results of bioanalytical measurements. The discovered effect of generation of nonequilibrium microwave emission of water medium (which is the main component of the organism) in the 38—39°C temperature range, i.e. in the range of elevated temperature of the organism (which accompanies pathological condition in humans upon inflammatory diseases, i.e., infectious etc.) may be used for development of new non-invasive methods of disease diagnostics.

**Key words:** water clusters, SHF emission, mechanical impact.

**For citation:** *Patologicheskaya Fiziologiya I eksperimentalnaya terapiya*. 2015; 59(4): 78-81

**For correspondence:** Ivanov Yu.D., e-mail: yurii.ivanov@rambler.ru

Вода является основным компонентом в организме. Она служит и основной составляющей частью растворов, используемых в биоаналитических системах. Как известно, вода представляет из себя не однородную, а сложную структуру, способную образовывать различные флуктуирующие ассоциаты, кластеры. Эти кластеры могут быть как нанокластерами с линейными размерами порядка 1 нм и с временами релаксации менее 1 нс, так и гигантскими (по сравнению с нанометровыми кластерами) гетерофазными структурами с размерами

вплоть до долей миллиметра и временами релаксации более 10 с [1]. В биомедицинских исследованиях при использовании лабораторных аналитических систем, в том числе нано- и микрофлюидных систем, таких, как оптические биосенсоры [2], нанопроводные детекторы [3], АСМ-фишинг системы [4], как правило, инициируется механическое движение водных растворов для их ввода в анализатор. Очевидно, при движении водного раствора (в потоке) происходит механическое воздействие стенок (трубок, наконечников) на раствор, и, как

**Для корреспонденции:** Иванов Юрий Дмитриевич, доктор биол. наук, проф., руководитель лаб. нанобиотехнологии ФГБНУ НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича, e-mail: yurii.ivanov@rambler.ru

следствие, могут возникать изменения сложной структуры водного раствора. Ранее нами было обнаружено, что это сопровождается таким явлением, как генерация электрического заряда [5]. Также мы показали при анализе водных растворов с низким содержанием белка, что электрическая стимуляция в гигагерцовом диапазоне повышает эффективность концентрирования белка из объема анализируемой жидкости на поверхности [6].

Целью исследования было обнаружение электромагнитного излучения воды при его механическом возбуждении в гигагерцовом диапазоне в разных температурных диапазонах. Температурные диапазоны исследований были выбраны исходя из того, что наиболее критические эффекты будут проявляться в условиях, когда водная среда испытывает большие изменения физико-химических характеристик, а именно, вблизи областей фазовых переходов [7]:

- 1) «низкотемпературный» диапазон — вблизи температуры плавления льда;
- 2) «среднетемпературный» диапазон комнатной температуры, при которой проводятся многие биологические эксперименты;
- 3) «высокотемпературный» диапазон, около  $37^{\circ}\text{C}$  — температура функционирования человеческого организма.

В результате исследований было обнаружено СВЧ-излучение воды (генерация) после механического воздействия на нее в трех выбранных температурных диапазонах: при температурах  $\sim 7^{\circ}\text{C}$ ,  $\sim 22^{\circ}\text{C}$  и  $\sim 39^{\circ}\text{C}$ .

### Методика

Деионизованная, ультрачистая вода была получена на установке Milli-Q System (Millipore, USA).

#### *Измерение яркостной температуры в СВЧ-диапазоне и ИК-диапазоне*

Известно, что в состоянии термодинамического равновесия любая среда излучает сплошной спектр, в том числе в инфракрасном и в СВЧ-диапазонах. Интенсивность излучения в каждом из этих диапазонов выражается через величину яркостной температуры. В состоянии равновесия яркостная температура измеренная в СВЧ-диапазоне ( $T_{\text{свч}}$ ), равна яркостной температуре измеренной в ИК-диапазоне ( $T_{\text{ик}}$ ).

В общем случае, зависимость яркостной температуры среды от времени в разных диапазонах может различаться, что указывает на появление неравновесного излучения.

В работе проводился мониторинг изменения соотношения величин  $T_{\text{свч}}$  и  $T_{\text{ик}}$  после механического воздействия на воду. Для измерений был использован радиометр RTM-01 RES (Россия) с помощью которого определялось электромагнитное излучение сре-

ды:  $T_{\text{свч}}$  — в случае измерений в СВЧ-диапазоне и  $T_{\text{ик}}$  — в случае измерений в ИК-диапазоне. СВЧ-диапазон составлял 3,4—4,2 ГГц (или 7,1—8,8 см), ИК-диапазон составлял 8—13 мкм. Для регистрации излучения использовалась штыревая антенна, соединенная с радиотермометром. Точность измерения температуры составляла  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

#### *Механическое возбуждение воды*

Механическое возбуждение воды осуществлялось посредством пипетирования (инъекции) раствора ( $V = 1$  мл) в измерительной ячейке. В качестве начальной температуры измерений использовалось начальное значение  $T_{\text{ик}}$  до пипетирования. Общий объем раствора наполнения ячейки составлял 6 мл. Исследования проводились при следующих температурах: «низкотемпературный» диапазон ( $T_{\text{ик}} \sim 5\text{—}7^{\circ}\text{C}$ ); «среднетемпературный» диапазон ( $T_{\text{ик}} \sim 20\text{—}22^{\circ}\text{C}$ ); «высокотемпературный» диапазон ( $T_{\text{ик}} \sim 36\text{—}42^{\circ}\text{C}$ ).

При пониженной температуре — измерительная ячейка устанавливалась в охлажденную водяную баню. Для установления температуры в «высокотемпературном» диапазоне также использовалась водяная баня с термостатом.

### Результаты и обсуждение

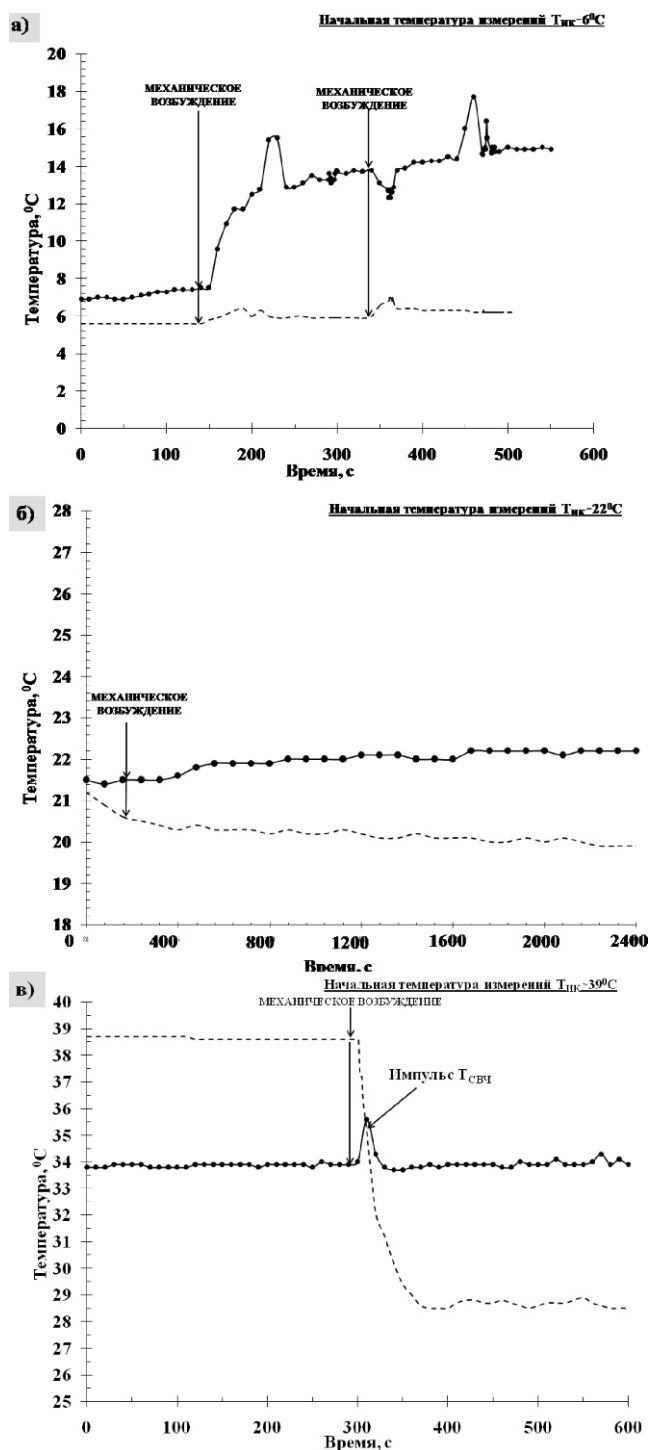
Основные результаты экспериментов приведены на рисунке. Начальное значение  $T_{\text{ик}}$  использовалось в качестве температуры воды, при которой проводился эксперимент, т.е. для отнесения температурных условий эксперимента к одному из указанных выше температурных диапазонов.

#### *«Низкотемпературный» диапазон*

На рис. а представлен пример результата эксперимента в этом температурном диапазоне для воды. Как видно, наблюдается резкий ступенчатый рост  $T_{\text{свч}}$ , включающий в себя импульсное возрастание величины с  $7,5^{\circ}\text{C}$  до  $15^{\circ}\text{C}$  после механического воздействия. Общее увеличение  $\Delta T_{\text{свч}}$  составило  $\sim 7^{\circ}\text{C}$ . При этом величина  $T_{\text{ик}}$  незначительное меняется от времени вблизи  $5^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta T_{\text{ик}} \sim 1^{\circ}\text{C}$ ). Это означает, что возникает неравновесное СВЧ-излучение воды после ее перемешивания, то есть после механического возбуждения.

#### *«Среднетемпературный» диапазон*

При  $22^{\circ}\text{C}$  для воды после ее механического возбуждения наблюдается плавный рост СВЧ-сигнала  $T_{\text{свч}}$  ( $\Delta T_{\text{свч}} \sim 0,5^{\circ}\text{C}$ ) в течение 20 мин, при практически неизменном наклоне базовой линии  $T_{\text{ик}}$  (рис. б). Это означает, что наблюдается появление плавно нарастающей СВЧ-генерации воды после ее механического возбуждения.



Результаты измерения яркостной температуры в СВЧ-диапазоне  $T_{СВЧ}$  (сплошная линия) и в инфракрасном диапазоне  $T_{ИК}$  (прерывистая линия) в воде. Вертикальными стрелками указан момент механического воздействия на жидкость:

а — низкотемпературный диапазон; б — среднетемпературный диапазон; в — высокотемпературный диапазон. По оси X — время измерений, минуты; по оси Y — величина яркостной температуры, градусы.

### «Высокотемпературный» диапазон

Как показано на рис. в, после механического возбуждения воды наблюдалось импульсное увеличение  $T_{СВЧ}$  на  $\sim 0,7^{\circ}\text{C}$  в течение 20 с и последующий спад до прежнего уровня. При этом  $T_{ИК}$  резко спадала (на  $5\text{—}10^{\circ}\text{C}$ ), после чего такой пониженный уровень  $T_{ИК}$  наблюдался в течение 300 с. То есть, наблюдалось значительное расхождение  $T_{СВЧ}$  и  $T_{ИК}$  после механического перемешивания среды, что означает появление неравновесного СВЧ-излучения.

Таким образом, было показано, что при механическом возбуждении жидкости наблюдалось изменения соотношения уровня СВЧ-излучения и уровня ИК-излучения вблизи фазовых переходов воды. Причем изменение уровня неравновесного СВЧ-излучения при возбуждении жидкости было разным для разных областей фазовых переходов. Так, для воды в области комнатных температур  $T_{ИК} = 22^{\circ}\text{C}$  наблюдалось постепенно нарастающее СВЧ-излучение. Нарастание СВЧ-излучения связано с тем, что при механическом возбуждении жидкости инициируется изменение содержания льдоподобных структур в этой жидкости. А энергия преобразования ледовых кластеров выделяется в виде СВЧ-излучения. Частота генерации этого излучения соответствует вращательным переходам воды и гидроксила [9]. Новое явление вращения макромолекул в воде, как в газе, было обнаружено недавно [10, 11]. Эта гипотеза подтверждается результатами измерения СВЧ-излучения в области пониженных температур  $T_{ИК} \sim 6^{\circ}\text{C}$ . В этой области при механическом возбуждении жидкости наблюдается скачкообразное увеличение  $T_{СВЧ}$  на  $\Delta T_{СВЧ} \sim 6^{\circ}\text{C}$ , что на порядок больше, чем в области комнатной температуры. В соответствии с предложенной гипотезой, такое скачкообразное увеличение  $T_{СВЧ}$  ожидаемое, т.к. вероятность преобразования больших льдоподобных структур в области низких температур больше, чем в области комнатных температур. В области высоких температур порядка  $T_{ИК} \sim 39^{\circ}\text{C}$  также наблюдается появление уровня неравновесного СВЧ-излучения после механического возбуждения жидкости. Обнаруженный эффект возникновения неравновесного микроволнового излучения водной среды, являющейся основным компонентом крови, в области повышенной температуры организма, которая сопровождается возникновение патологического состояния человека при воспалительных заболеваниях например, инфекционных и др., может быть использован для создания новых неинвазивных серологических диагностик заболеваний. Следует сказать, что уже созданы диагностики по выявлению ряда патологических заболеваний на основе анализа СВЧ-излучения тканей пациента [13].

Обнаружено излучение воды в СВЧ-диапазоне после механического воздействия на нее. Характер и величина изменения уровня СВЧ-излучения отличаются для разных температурных диапазонов.

Вода является основным переносчиком веществ в организме, ее движение лежит в основе работы различных систем организма, в том числе сердечно-сосудистой. С этой точки зрения интересно отметить, что в области пониженных температур воды (6°C) наблюдается выход из анабиоза земноводных и ступенчатое существенное повышение СВЧ-излучения. То есть, можно предположить, что выход из анабиоза животных может быть связан и сопровождаться неравновесным СВЧ-излучением.

При комнатной температуре (~22°C) наблюдается максимальная функциональная активность некоторых ферментативных систем почвенных бактерий, как нами было показано ранее с помощью АСМ для cytochrome P450BM3 системы из *Bacillus megaterium* [12]. Также эта температура комфортна для человека.

При повышенных температурах, порядка 38—39°C, когда наблюдается патологическое состояние человека при протекании воспалительных процессов, наблюдается генерация неравновесного СВЧ-излучения, которое, возможно, связано с реакцией организма человека на заболевание.

Обнаруженные эффекты генерации СВЧ в воде могут быть полезны для создания новых методов диагностики состояния биологических сред, создание новых диагностик заболеваний, приводящих к патологическим состояниям человека. Также, описанное явление может использоваться для создания новых лекарств, обладающих повышенной эффективностью.

*Работа была поддержана Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013—2020 годы и гранта РФФИ 15-04-08368а.*

## References

- 1 Fesenko E.E., Terpugov E.L. About the unusual properties of water in a thin layer. *Biofizika*. 1999; 44(1): 5-9. (in Russian)
- 2 Ivanov Yu.D., Kanaeva I.P., Eldarov M.A., Skryabin K.G., Lehnerer M., Schulze J. et al. An optical biosensor study of the parameters and role of hydrophobic tails of cytochrome P450 cytochromes.P450B4, b5 and NADPH-flavoprotein in complex. *Biochem. Mol. Biol. Int.* 1997; 42: 731-7.
- 3 Ivanov Yu.D., Pleshakova T.O., Kozlov A.F., Malsagova K.A., Krohin N.V., Shumyantseva V.V., et al. SOI nanowire for the high-sensitive detection of HBsAg and a-fetoprotein. *Lab Chip*. 2012; 12: 5104-11.
- 4 Archakov A., Ivanov Yu., Lisitsa A., Zgoda V. AFM fishing nanotechnology is the way to reverse the Avogadro number in proteomics. *Proteomics*. 2007; 7: 4-9.
- 5 Ivanov Yu., Pleshakova T., Malsagova K., Kozlov A., Kaysheva A., Kopylov A., et al. Highly sensitive protein detection by combination of atomic force microscopy fishing with charge generation and mass spectrometry analysis. *FEBS*. 2014; 20: 4705-17.
- 6 Ivanov Yu.D., Pleshakova T.O., Malsagova K.A., Kaysheva A.L., Kopylov A.T., Izotov A.A. et al. AFM-based protein fishing in the pulsed electric field. *Biochemistry (Moscow) Suppl. Series B: Biomedical Chemistry*. 2015; 9(2): 121-9.
- 7 Kholmanskiy A. Two types of anomalous thermodynamics of water. *Apriori. Seriya: Estestvennye i Technicheskie nauki*. 2015; 1: 1-17. (in Russian)
- 8 Fasano M., Curry S., Terreno E., Galliano M., Fanali G., Narciso P., et al. The extraordinary ligand binding properties of human serum albumin. *IUBMB Life*. 2005; 57(12): 787-96.
- 9 Perchin S.M. Signal exchange between bio-objects on the principle of modulation of the carrier: a coherent radiation of space OH (1.6-1.7 GHz) and H<sub>2</sub>O (22.3 GHz) masers. *Sovetskiy fizik*. 2010; 03(80): 52-9. (in Russian)
- 10 Bunkin A.F., Pershin S.M., Husainova R.S., Potehin S.A. Spin-isomer selectivity of water molecules upon hydration of DNA. *Biofizika*. 2009; 54(3): 369-401. (in Russian)
- 11 Pershin S.M., Bunkin A.F., Anisimov N.V., Pirogov Yu.A. Water enrichment by H<sub>2</sub>O ortho-isomer: four-photon and NMR spectroscopy. *Laser Physics*. 2009; 19(3): 410-3.
- 12 Ivanov Y.D., Bukharina N.S., Pleshakova T.O., Frantsuzov P.A., Krokhin N.V., Ziborov V.S., Archakov A.I. Atomic force microscopy visualization and measurement of the activity and physicochemical properties of single monomeric and oligomeric enzymes. *Biophysics*. 2011; 56(5): 892-6.
- 13 Vesnin S.G. *The antenna applicator and a device for determining the temperature changes and detection of cancer risk*. Patent 2008151958/14, RF; 2010. (in Russian).

Поступила 02.11.15

## Сведения об авторах:

Мальсагова Кристина Ахмедовна (Malsagova K.A.), мл. науч. сотр. лаб. нанобиотехнологии, ФГБНУ «НИИ биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича»

Татур Вадим Юрьевич (Tatur V.Yu.), исполнительный директор, Фонд перспективных технологий и инноваций

Веснин Сергей Георгиевич (Vesnin S.G.), канд. техн. наук, доцент, ООО «Фирма РЭС», генеральный директор

Иванова Нина Дмитриевна (Ivanova N.D.), преподаватель, ФГБОУ ВПО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина»

Зиборов Вадим Серафимович (Ziborov V.S.), канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаб. №1.1.1. — ударно-волновых воздействий, «Объединенный институт высоких температур РАН»