

## **НАСЫЩЕННАЯ ВОЗДУХОМ ВОДА - ОТКРЫТАЯ, НЕРАВНОВЕСНАЯ, АКТИВНАЯ СРЕДА**

**Брусков В.И., Гудков С.В., Сенин В.С., Черников А.В.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук,  
142290, Россия, Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 3, E-mail:  
[bruskov\\_vi@rambler.ru](mailto:bruskov_vi@rambler.ru)

Сформулирована и экспериментально обоснована концепция, согласно которой вода, насыщенная воздухом, является открытой, неравновесной, активной средой, способной к накоплению дополнительной свободной энергии в виде поверхностного натяжения в нанопузырьках воздуха - бабстонах (bubble stabilized by ions) [1]. Эта энергия может высвободиться в виде стандартных высокоэнергетических процессов в результате коллапса бабстонов при воздействиях видимого света, ряда лазерных излучений и при действии тепла, аналогично тому, как это происходит при воздействии ультразвука. Этот процесс сопровождается свечением в сине-зеленой области спектра, образованием активных форм кислорода и оксидов азота. Пусковым механизмом коллапса (кавитационного схлопывания) бабстонов является резонансное возбуждение молекулярного кислорода в полосах его перехода в синглетное состояние, по-видимому, приводящее к локальному электромагнитному возмущению [2].

Ранее нами показано, что при умеренном нагревании воды образуются различные активные формы кислорода (АФК) (синглетный кислород, супероксид-анион и гидроксильные радикалы и перекись водорода) в результате совокупности сопряженных цепных радикальных реакций [3-6] и оксид азота [7]. Дополнительно установлено, что нагревание бидистиллированной воды, содержащей растворенные атмосферные газы, инициирует химические процессы, сопровождающиеся образованием в воде набора окислов азота (оксида азота, нитрита, нитрата и диоксида азота). Образование нитрита зависит от концентраций растворенных в воде кислорода и азота.

Ранее нами установлено, что при воздействии низкоинтенсивного He-Ne лазера (633 нм) [8] и лазерного инфракрасного излучения с длиной волны 1264 нм [9] на насыщенную воздухом бидистиллированную воду после длительного латентного периода наблюдается возникновение люминесценции в сине-зеленой области спектра и ее автоколебательные изменения, которые продолжаются несколько часов. Люминесценция отсутствует при удалении кислорода из воды и при облучении воды вне полосы поглощения молекулярного кислорода [2, 9]. Полученные результаты позволяют предполагать, что автоколебания люминесценции вызваны фотоиндуцированным образованием синглетного кислорода под воздействием лазерного излучения и этот процесс тесно связан с образованием в воде перекиси водорода, вероятно, в результате коллапса бабстонов. Коллапс бабстонов сопровождается свечением в сине-зеленой области спектра, увеличением электропроводности воды и образованием активных форм кислорода (АФК) и азота. В результате происходит выделение запасенной энергии в виде квантов света и серии сопряженных радикальных цепных реакций с образованием активных форм кислорода (синглетного кислорода, гидроксильных, супероксид-анион и гидроперекисных радикалов, перекиси водорода), оксидов азота и других продуктов.

В настоящее время дополнительно установлено существование автоколебаний в системе «вода-воздух» при непрерывной регистрации ряда физико-химических параметров воды в районе температур, характерных для теплокровных организмов. Измеряли следующие параметры воды: содержание кислорода, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), удельная электропроводность (УЭП), pH. Ранее колебательный характер изменения ОВП в воде, содержащей ионы двухвалентной меди, был обнаружен в работе [10]. Оценка энергии поверхностного натяжения нанопузырька, с радиусом 50 нм, которая может локально выделиться при его коллапсе, составляет около 14 кэВ. Эта энергия на несколько порядков величины выше, чем энергия разрыва химических связей в молекулах воды, азота и кислорода. Возможное теоретическое обоснование воздушно-пузырьковой природы флуктуаций некоторых свойств водных растворов и результатов наблюдаемых нами в воде (колебательных процессов хемилюминесценции, содержания кислорода и окислительно-восстановительного потенциала), рассмотрено в работе [11]. В соответствии с теоретическими результатами [11] установлена зависимость некоторых физико-

химических параметров воды в системе «вода-воздух» от расстояния до их поверхности раздела.

Таким образом, основные экспериментальные данные, обосновывающие концепцию воды, насыщенной воздухом, как об открытой, неравновесной активной среды и кавитационного коллапса нанопузырьков воздуха (бабстонов) в воде при тепловом воздействии и при облучении воды лазерами в полосах поглощения молекулярного кислорода следующие:

1. Преобразование энергии низкой плотности в энергию высокой плотности как основной критерий осуществления кавитационного коллапса нанопузырьков воздуха в воде. Для такого преобразования необходимо дополнительное использование энергии, предварительно запасенной в активной водной среде.

2. Образование активных форм кислорода (АФК) (перекиси водорода, гидроксильных радикалов и др.) и окислов азота. Величина квантов энергии, поглощенных системой, ниже чем энергии химических связей, которые разрываются при образовании радикальных продуктов.

3. Существование колебательных режимов люминесценции воды, окислительно-восстановительного потенциала и концентрации кислорода в воде как свидетельство неравновесности этих процессов и проявление этой активности в системе «вода-воздух».

Ранее показано, что образующиеся АФК проявляет биологическую активность, модифицируя ДНК [12,13], белки [14-16], и аминокислоты [17]. Колебательные процессы в воде, насыщенной атмосферными газами воздуха, происходят в районе физиологических температур, характерных для теплокровных животных, по-видимому, непрерывно и постоянно. Использование таких высоких температур для теплокровных организмов может быть одной из причин необходимой для эффективной редокс регуляции и сигнализации в клетках этих животных.

Образующиеся АФК, главным образом перекиси водорода, и активных форм азота могут влиять на биологические процессы сигнально-регуляторным способом. Они могут обладать лечебным, в том числе адаптационным, потенциалом при умеренных воздействиях. Однако, при превышении уровня воздействия свыше возможностей антиоксидантной защиты клеток, тепловые и лазерные воздействия в полосах поглощения молекулярного кислорода могут приводить к окислительному стрессу, аналогичному воздействию ионизирующей радиации, и иметь генотоксические и отдаленные патологические последствия.

## **AIR-SATURATED WATER IS AN OPEN, NONEQUILIBRIUM, ACTIVE MEDIUM**

***V.I.Bruskov, S.V.Gudkov, V.S. Senin, A.V.Chernikov***

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia, E-mail: [bruskov\\_vi@rambler.ru](mailto:bruskov_vi@rambler.ru)

### **Литература**

1. Bunkin N.F., Suyazov N.V., Shkirin A.V., Ignatiev P.S., Indukaev K.V. // J. Chem. Phys., 2009, v. 130, p. 134308-134312.
2. Гудков С.В., Карп О.Э., Гармаш С.А., Иванов В.Е., Черников А.В., Манохин А.В., Ягужинский Л.С., Брусков В.И. // Биофизика, 2012. т.57, с. 5-13.
3. Брусков В.И., Масалимов Ж.К., Черников А.В. // Докл.АН, 2002, т. 384, с.821-824.
4. Черников А.В., Брусков В.И. // Биофизика, 2002, т.47., с.773-781.
5. Bruskov V. I., Malakhova L.V., Masalimov Zh. K., Chernikov A.V. // Nucleic Acids Res., 2002, v. 130, p.1354-1363.
6. Брусков В.И., Черников А.В., Гудков С.В., Масалимов Ж.К. // Биофизика, 2003, т.48, с.1022-11029.
7. Черников А.В., Брусков В.И. // Докл. АН, 2005, т. 400, с.279-282.
8. Брусков В.И., Гудков С.В., Чалкин С.Ф., Смирнова Е.Г., Ягужинский Л.С. // Докл..АН, 2009, т. 425, с. 827-829.
9. Gudkov S., Bruskov V., Astashev M., Chernikov A., Yaguzhinsky L., Zakharov S. // J. Phys. Chem., В 2011, v.115, p.7693-7698.
10. Morre D.J., Orczyk J., Hignite H., Kim C.J. // Inorg.Biochem., 2008, v.102, p.260-267.
11. Шаталов В.М., Филиппов А.Э., Нога И.В. // Биофизика, 2012. т.57. с.565-572.
12. Смирнова В.С., Гудков С.В., Черников А.В., Брусков В.И. // Биофизика. 2005, т. 50, с. 243-252.
13. Черников А.В., Гудков С.В., Штаркман И.Н., Брусков В.И. // Биофизика. 2007. т. 52, с. 244-251.

14. Гудков С.В., Гармаш С.А., Штаркман И.Н., Черников А.В., Карп О.Э., Брусков В.И. // Докл. АН, 2010, т. 430, с.123-126.
15. Карп О.Э. , Гудков С.В., Гармаш С.А., Штаркман И.Н., Черников А.В., Брусков В.И. // Докл. АН, 2010, Т. 434, с. 412-415.
16. Bruskov V.I., Karp O.E., Garmash S.A., Shtarkman I.N., Chernikov A.V., Gudkov S.V. // Free Radical Res., 2012, v. 46, p. 1280-1290.
17. Гудков С.В., Гармаш С.А., Карп О.Э., Смирнова В.С., Черников А.В., Брусков В.И. // Биофизика, 2010, т. 55, с.588 – 593.