

## Краткие сообщения

03

### Дегазация воды с помощью освещения бытовой электролампой накаливания

© Б.Г. Емец

Харьковский государственный университет,  
310077 Харьков, Украина

(Поступило в Редакцию 19 октября 1998 г.)

Методом ядерного магнитного резонанса получено, что получасовое облучение 30-ваттной электролампой накаливания образца воды приводит к уменьшению количества растворенного в ней воздуха на 12 %, а количества свободного воздуха (пузырьки) — на 45%. Восстановление исходного газосодержания идет по диффузионному механизму, т. е. сравнительно медленно. Указывается на необходимость учета влияния уровня освещения при интерпретации результатов экспериментов с жидкими средами.

В воде, помимо растворенного воздуха, всегда содержится воздух в свободном состоянии (пузырьки) [1]. Количественные параметры воздуха в указанных двух состояниях определяют важные характеристики воды во многих технических и биологических приложениях. Например, прочность жидкости на разрыв повышается при уменьшении содержания в ней воздушных пузырьков [2], а недостаток растворенного в воде кислорода может вызвать гибель гидробионтов. Ниже будет показано, что освещение бытовой электролампой накаливания существенно уменьшает содержание в воде как растворенного воздуха, так и воздуха в свободном состоянии.

Ранее [3] сообщалось об эффективной дегазации воды с помощью микроволн низкой интенсивности. Извлечение воздуха в этом случае реализуется на основе термокапиллярного эффекта по пузырьковому механизму. Этот же механизм, безусловно, должен приводить к дегазации воды и при освещении электролампой.

Образец дистиллированной воды объемом  $0.6 \text{ м}^3$  помещался в стеклянную пробирку и освещался через линзу 30-ваттной электролампой в течение 30 min. Линза формировала на боковой стенке пробирки световое пятно диаметром 5 mm, падающая мощность — 60 mW. Опыты проводились в лабораторных условиях при комнатной температуре  $20^\circ\text{C}$ . 30-минутное облучение повысило температуру образца воды на  $4.5^\circ\text{C}$ . (Увеличение продолжительности облучения практически не изменило указанную температуру).

Для отдельного измерения концентрация растворенного и свободного воздуха использовалась методика с применением ядерного магнитного резонанса (ЯМР), описанная в [4]. Известно, что в воде скорость спин-решеточной протонной магнитной релаксации  $T_1^{-1}$  и скорость спин-спиновой протонной магнитной релаксации  $T_2^{-1}$  пропорциональны концентрации парамагнитных примесей [5]. Нами получены эмпирические формулы, связывающие указанные скорости релаксации и количе-

ство  $N$  растворенных в  $1 \text{ м}^3$  воды молекул кислорода (молекула кислорода парамагнитна),

$$T_1^{-1}(N) = 0.258 + 7.44 \cdot 10^{-25} \cdot N, \quad (1)$$

$$T_2^{-1}(N) = 0.308 + 12.27 \cdot 10^{-25} \cdot N. \quad (2)$$

Измерения  $T_1^{-1}$  выполнялись по стандартной трехимпульсной методике, а измерения  $T_2^{-1}$  — по многоимпульсной методике Карра–Парселла в модификации Мейбума–Гилла [5]. Рабочая частота релаксометра (с использованием ядерно-магнитного резонанса)  $15.9 \text{ MHz}$ . Зависимости (1) и (2) были получены путем изменения концентрации растворенного кислорода за счет длительного содержания образца в термостате при повышенных температурах с последующим резким охлаждением до комнатной температуры (использовалось явление понижения растворимости газов в воде с ростом температуры). Аналогичные зависимости приведены в [6], в них несколько другие числовые коэффициенты. Указанные различия объясняются способами приготовления образцов: авторы [6] в предварительно дегазированную воду вводили под давлением кислород, мы же содержали наши образцы при нормальном атмосферном давлении. В работе [4] получено, что уравнение (1) можно использовать для определения концентрации растворенного воздуха, с его помощью, а также с применением уравнения (2) можно определить количество свободного (пузырькового) воздуха. Наши измерения показали, что объем свободного воздуха в необлученной воде (в пересчете на  $1 \text{ м}^3$  жидкости) при  $20^\circ\text{C}$  составил  $(4.7 \pm 1.3) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$ . (Уточненные оценки показывают, что если считать для удобства все пузырьки одинаковыми по размерам, то их количество в одном кубическом метре воды составит около  $2 \cdot 10^{15}$  единиц, а ”усредненный” радиус пузырька — около  $2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ ). Это близко к значению  $5.23 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$ , полученному в [7] нефелометрическими измерениями (доверительный интервал авторы не указали). Из наших измерений следует, что при  $20^\circ\text{C}$  концентрация

растворенных в воде молекул кислорода составляет  $(1.7 \pm 0.11) \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ . Это означает, что в каждом кубометре воды содержится  $1.83 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$  растворенного воздуха, что соответствует литературным данным [8].

Поскольку в результате 30-минутного облучения образца его температура, как указывалось выше, возросла на  $4.5^\circ\text{C}$ , то после прекращения облучения мы помещали образец на 10 min в 16-литровый водяной термостат с температурой  $20^\circ\text{C}$ . Это делалось для гарантированного возвращения температуры образца к исходному (до облучения) значению  $20^\circ\text{C}$ . Лишь после этой процедуры выполнялись измерения скоростей протонных магнитных релаксаций с целью определения количества растворенного и свободного воздуха. Получено, что в результате облучения электролампой объем свободного воздуха составил (в пересчете на кубометр воды)  $(2.6 \pm 1.3) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$ , т.е. уменьшился почти в 2 раза. Концентрация же растворенного в воде кислорода составила  $(1.49 \pm 0.15) \cdot 10^{23}$  молекул на метр кубический (объем растворенного воздуха в пересчете на кубометр воды  $(1.61 \pm 0.16) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ ), т.е. уменьшилась на 12%. Это значение соответствует литературным данным по уменьшению растворимости воздуха в воде при нагревании ее на ту температуру, которую обеспечило облучение нашей электролампой [8].

Уменьшенное в результате облучения газосодержание сохранялось в воде не менее 30 min. Это объясняется тем, что восстановление исходной концентрации воздуха идет по диффузионному механизму, т.е. сравнительно медленно.

Из сказанного следует, что такое, казалось бы, незначительное воздействие на воду, как освещение 30-ваттной электролампой накаливания, обеспечивает существенную дегазацию жидкости. Это, безусловно, необходимо учитывать при интерпретации результатов тех опытов с жидкими средами, которые по условиям эксперимента идут с применением источников света.

## Список литературы

- [1] Гаврилов Л.Р. Физические основы ультразвуковой технологии / Под ред. Л.Д. Розенберга. М.: Наука, 1970. С. 395–426.
- [2] Сиротюк М.Г. // Акуст. журн. 1966. Т. 12. № 1. С. 87–92.
- [3] Емец Б.Г. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. Вып. 8. С. 22–24.
- [4] Емец Б.Г. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. Вып. 13. С. 42–45.
- [5] Abragam A. The Principles of Nuclear Magnetism. Oxford: Clarendon Press, 1961. 560 p. (Абрагам А. Ядерный магнетизм. М.: ИЛ, 1963. 551 с.).
- [6] Hausser R., Noak F. Z. Naturforsch. 1965. Bd 20a. N 12. S. 1668–1675.
- [7] Макаров В.К., Чулкова Н.В., Ковалева Т.И., Шестаков В.П. // Акустика и ультразвуковая техника. Респ. межвед. науч.-техн. сб. Киев: Техника, 1988. Вып. 23. С. 20–23.
- [8] Справочник по растворимости / Под ред. В.В. Кафарова. Том I. Кн. I. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 960 с.