

$x \leq x_s$ , т. е. на участке роста амплитуды второй гармоники, не представлялось возможным, так как при длительности импульса  $\sim 1$  мксек и  $x_s \simeq 10^{-2} \div 10^{-4}$  см (значения  $x_s / \lambda$  приведены в таблице) в жидком зазоре между излучателем и приемником устанавливалась почти стоячая волна. Измерения сводились к определению коэффициента затухания второй гармоники в области  $x > x_s$ . Результаты измерения  $\beta$  показаны в предпоследней колонке таблицы, где указан также разброс экспериментальных значений. Вполне удовлетворительно особенно для жидкостей с большим поглощением выполняется соотношение  $\beta = 2\alpha$ , следующее из приведенной формулы при  $x \gg x_s$ . Отметим, что числа  $R \sim 10^{-3} \div 10^{-4}$ , и возможность наблюдения второй гармоники определялась высокой чувствительностью приемного тракта.

Нами не проводилось абсолютных измерений  $\nu_0$  и  $\nu_2$ . Дальнейшее усовершенствование экспериментальной техники позволит, после проведения абсолютных измерений амплитуд  $\nu_0$  и  $\nu_2$ , определить нелинейный параметр  $\epsilon$  на частотах СВЧ-диапазона. В этой области частот, как известно, в большом количестве жидкостей имеется релаксационная область; исследование нелинейных эффектов в релаксирующих средах представляет так же определенный интерес.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. К. Зарембо, В. А. Красильников, В. В. Шкловская-Корди. Об искажении формы ультразвуковой волны конечной амплитуды в жидкостях. Докл. АН СССР, 1956, 109, 485—488.
2. Л. К. Зарембо, В. А. Красильников. Введение в нелинейную акустику. М., «Наука», 1966.
3. П. К. Хабибулаев, М. Г. Халиулин. Высокочастотная импульсная установка для исследования акустических свойств жидкостей на частотах 300—950 Мгц. Ультразвук. техн., 1967, 3, 47—50.

Московский государственный  
университет

Поступило в редакцию  
25 декабря 1969 г.

УДК 534.286

### О ЗАТУХАНИИ УЛЬТРАЗВУКА В РАСТВОРАХ БЕЛКА И ЕГО ГИДРОЛИЗАТАХ

О. М. Зорина, К. П. Фурсов, И. Е. Эльгинер

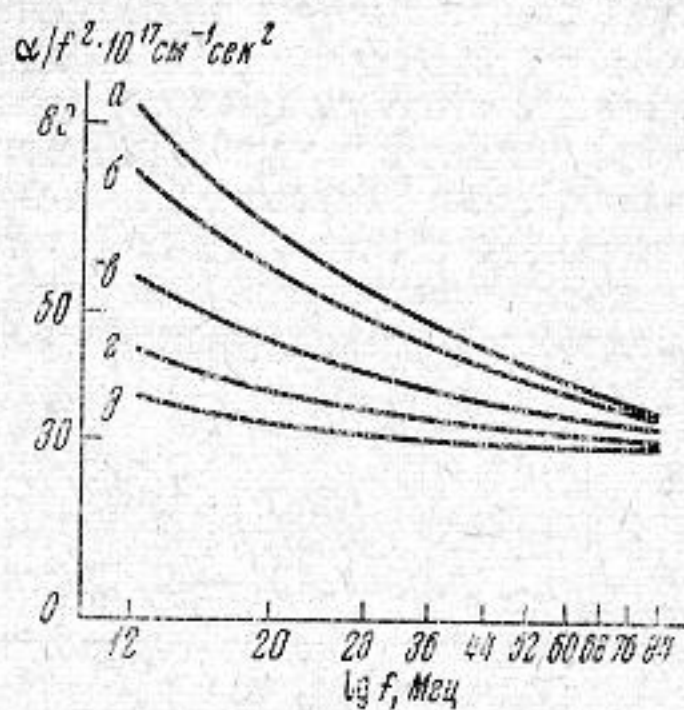
В сообщении [1] приведены данные, касающиеся поглощения ультразвуковой энергии в растворах различных белков в диапазоне частот от 12 до 84 Мгц. Для указанных растворов характерным является наличие широкого спектра релаксационных частот [2, 3]. Оказалось, что различные белки отличаются между собой по величине коэффициента поглощения в указанной области частот [4]. Ниже показано, что по изменению коэффициента поглощения удастся судить о скорости течения распада (гидролиза) белковых молекул, вызванного действием кислот или ферментов.

Кислотному гидролизу мы подвергали 3%-й раствор сывороточного альбумина человека в шестипормальной HCl в запаянных ампулах на кипящей водяной бане. Продолжительность гидролиза составляла 72 час. В различные сроки в течение проводимого гидролиза определялся коэффициент поглощения исследуемого раствора. Для этой цели использовался метод определения коэффициента поглощения, описанный в работе [1].

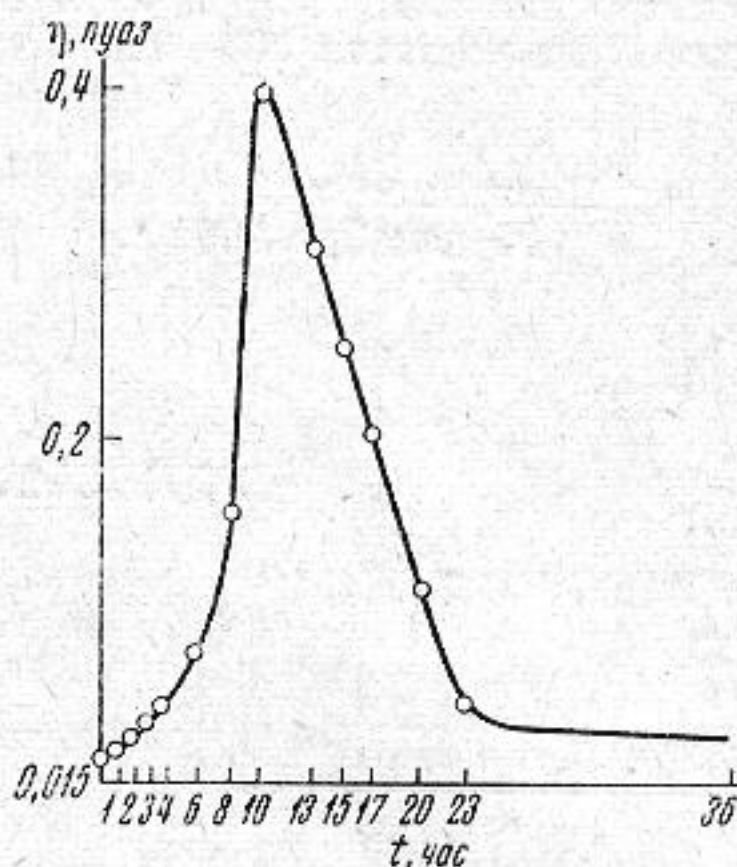
На фиг. 1 приведены кривые зависимости  $\alpha / f^2$  от частоты, полученные при измерении коэффициента поглощения белкового раствора, подвергнутого кислотному гидролизу от 1 до 72 час. Измерения коэффициента поглощения производились при температуре 20°. Кривая *a* — до гидролиза, *b* — через час гидролиза, *в* — через 8 час, *г* — через 23 час, *д* — через 72 час гидролиза. Как видно, снижение  $\alpha / f^2$  наблюдается в процессе гидролиза до его полного завершения.

Кроме того, были произведены измерения сдвиговой вязкости раствора. Кривая зависимости величины сдвиговой вязкости (в пуазах) от продолжительности гидролитического процесса дана на фиг. 2. В первые часы гидролиза вязкость белкового раствора значительно увеличивается, затем она начинает довольно быстро снижаться, достигая через 25—36 час постоянной величины. Это означает, что в первые часы кислотного гидролиза, вызванного действием высокой температуры, происходит денатурация исследованного белка (развертывание глобулярной молекулы, т. е. увеличение отношения осей  $a/b$ ). Последнее, как известно, сопровождается увеличением сдвиговой вязкости раствора.

Распад молекул белка на мелкие пептиды и аминокислоты, вероятно, осуществляется в более поздние часы гидролиза, что выражается в снижении вязкости этого раствора. Характерным является то, что с наступлением фазы гидролиза, сопровождаемого глубоким распадом белковой молекулы, уменьшается способность исследуемого раствора к поглощению в релаксационной области частот. Иными словами, денатурационные изменения белковых молекул в первые часы гидролитического процесса сопровождаются такими структурными и конформационными изменениями, которые обуславливают резкое снижение избыточного поглощения в области релаксационных частот.



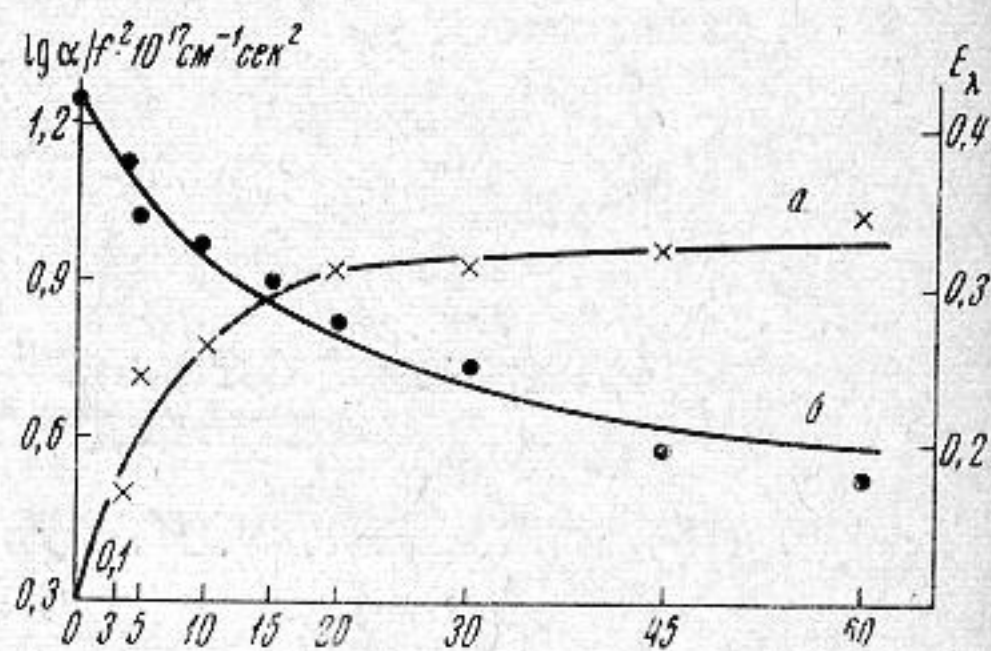
Фиг. 1



Фиг. 2

По изменению коэффициента поглощения удалось также судить о скорости течения ферментативного гидролиза белковых молекул (гемоглобина). В качестве протеолитического фермента был использован пепсин (1,5 мг/мл). Ферментативному гидролизу подвергался 3%-й раствор гемоглобина при pH 1,9 в присутствии HCl. Гидролиз осуществлялся непосредственно в измерительной ячейке, в которой производили определение коэффициента поглощения. Измерительная ячейка термостатировалась при температуре 37°. В данном случае ферментативный процесс практически завершается через 15—20 мин после прибавления фермента, о чем свидетельствуют результаты измерения коэффициента экстинкции в световой области  $E_{\lambda}(\lambda = 4600 \text{ \AA})$  (фиг. 3, а). Этому соответствовали и данные по определению коэффициента поглощения

ультразвуковых волн, что выражалось в быстром снижении значения  $\alpha / f^2$  на измеряемой частоте 20 Мгц при температуре 37° (фиг. 3, б).



Фиг. 3

Актуальность проведенных исследований определяется тем, что по изменению коэффициента поглощения можно судить о скорости и характере гидролиза, вызванного тем или иным способом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Е. Эльпинер, К. П. Фурсов, О. М. Зорина. Влияние денатурирующих агентов на коэффициент поглощения ультразвуковых волн белковых растворов. Докл. АН СССР, 1970, 192, 5, 1160—1162.
2. И. Г. Михайлов, В. А. Соловьев, Ю. П. Сырников. Основы молекулярной акустики. «Наука», 1964, 473—478.
3. E. L. Garstensen, H. P. Schwan. Absorption of sound arising from the presence of intact cells in blood. J. Acoust. Soc. America, 31, 185—189, 1959.
4. И. Е. Эльпинер, С. Х. Садыгова. О затухании ультразвуковых волн в растворах мышечных белков. Докл. АН СССР, 1969, 189, 2, 424—427.

Московский медицинский  
стоматологический институт

Поступило в редакцию  
27 марта 1970 г.