

Г. 62

22

АКАДЕМИЯ НАУК СССР СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

препринт 210

П.И.Голубничий, В.Д.Гончаров, Х.В.Протопопов

СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В ЖИДКОСТЯХ  
II. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ САХАРОЗА ВОДА  
И ГЛИЦЕРИН ВОДА

Новосибирск  
1968

П.И.Голубничий, В.Д.Гончаров  
Х.В.Протопопов

## СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В ЖИДКОСТЯХ

### II. Исследование систем сахароза-вода и глицерин - вода

Приводятся экспериментальные данные концентрационно-температурных зависимостей интенсивности сонолюминесценции и амплитуды вспышек сонолюминесценции (соновспышек) бинарных систем сахароза-вода, глицерин-вода. Показывается, что при температуре 20°C интенсивность сонолюминесценции растворов сахарозы пропорциональна вязкости.

Обнаружен максимум концентрационной зависимости интенсивности свечения при ~ 80% содержании глицерина. Делается попытка связать подобное изменение интенсивности сонолюминесценции с адиабатической сжимаемостью растворов.

Свечение, возникающее в жидкостях при ультразвуковой кавитации, называется сонолюминесценцией (СЛ). Было показано / 1,2 /, что интенсивность СЛ сильно зависит от физических свойств жидкости и возрастает с увеличением таких её параметров, как  $d^2/\rho, \Delta \epsilon, \rho, 1/\beta, \eta$ , где  $d$  - поверхностное натяжение,  $\rho$  - давление насыщенных паров,

$\Delta \epsilon$  - свободная энергия межмолекулярного взаимодействия,  $\beta$  - адиабатическая сжимаемость,  $\eta$  - вязкость. Однако до сих пор не установилось единого мнения, какое же из свойств жидкости оказывает преобладающее влияние на её способность к ультразвуковому свечению. Водные растворы сахарозы и глицерина являются очень удобными для такого рода исследования, так как при изменении состава и температуры указанных растворов весьма сильно изменяется их вязкость, давление насыщенных паров, адиабатическая сжимаемость и потому имеется возможность изучить влияние плавного изменения этих свойств раствора как на интенсивность СЛ, так и на амплитуду вспышек

сонолюминесценции (соновспышек). Уже были предприняты попытки исследовать с такой целью водные растворы глицерина. Однако полученные данные весьма противоречивы.

Янг / 3 /, например обнаружил, что интенсивность СЛ возрастает с увеличением содержания глицерина в растворе и указал на корреляцию с вязкостью. Джермен / 1 /, однако, в свободном от воды глицерине вообще не смог возбудить свечение, в то время как в техническом глицерине, содержащем до 2% воды, оно оказывалось весьма значительным.

Все вышесказанное и предопределило выбор систем сахара-вода, глицерин-вода в качестве объектов исследования.

С помощью экспериментальной установки, описанной в /4/ для обоих растворов были получены зависимости интенсивности свечения  $I_s$  и амплитуды вспышек сонолюминесценции от концентрации и температуры (рис. 16, 3). Попытаемся произвести анализ этих зависимостей с точки зрения выяснения влияния на сонолюминесценцию таких физических свойств растворов как вязкость, адиабатическая сжимаемость, давление насыщенных паров и т.д.

Сравнивая рис. 1а, и 16, можно видеть, что при температурах ниже 30°C изменения интенсивности сонолюминесценции от температуры для растворов сахарозы различной концентрации (рис. 16) полностью коррелируют с изменением вязкости (рис. 1а). На рис. 2 дана зависимость интенсивности сонолюминесценции и вязкости от концентрации раствора сахарозы при 20°C, демонстрирующая эту связь. Хотя и видна аналогия в поведении этих двух величин, но остается не ясным в какой мере увеличение интенсивности свечения является следствием уменьшения давления паров при увеличении концентрации сахарозы в воде.

Увеличение температуры растворов приводит одновременно к значительному возрастанию давления паров и снижению вязкости, что, в свою очередь вызывает уменьшение интенсивности свечения  $I_s$ . Спад  $I_s$  оказывается приблизительно одинаковым для растворов различной концентрации, хотя и существенно более резким (при  $t > 30^\circ$ ), чем соответствующее изменение вязкости с температурой (рис. 1а) и 16).

Это может указывать на то, что при высоких температурах увеличивающееся давление паров оказывает весьма сильное гасящее влияние на процессы, ответственные за свечение при ультра-

звуковой кавитации. Роль вязкости при этом оказывается незначительной.

Результаты несколько иного характера получены при изучении сонолюминесценции водно-глицериновых смесей (рис. 3). Особенность заключается в появлении максимума в концентрационной зависимости интенсивности свечения при фиксированной температуре. Величина этого максимума уменьшается с увеличением температуры. На рис. 4 дано сечение пространственной фигуры (рис. 3) при 20°C. Как видно, в данном случае нельзя сказать о какой-либо корреляции между интенсивностью свечения и вязкостью. Несмотря на то, что в концентрационной зависимости интенсивности СЛ имеется максимум, амплитуда соновспышек плавно возрастает при увеличении концентрации глицерина и коррелирует с вязкостью. Этот факт указывает на появление дополнительного числа светящихся центров в области концентраций, соответствующей наблюдаемому максимуму. И, действительно, после озвучивания водно-глицериновых смесей в растворе визуально наблюдается множество мельчайших пузырьков, число которых достигает максимума именно при восьмидесятипроцентном содержании глицерина. Интересно, что авторами работы / 5 / при том же самом составе водно-глицериновой смеси были обнаружены максимумы поглощения и максимумы скорости распространения ультразвука, высоты которых увеличиваются при возрастании температуры растворов. Было высказано предположение, что максимумы в поглощении и скорости появляются в результате образования комплекса  $(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}-\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}-\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , возникновению которого благоприятствует повышение температуры / 5 /.

В самом деле, известно, что любые структурные изменения, приводящие к замене части межмолекулярных связей внутримолекулярными или внутрикомплексными приводят к увеличению скорости звука, а следовательно и к уменьшению сжимаемости  $B$  ( $B = 1/\rho c$ , где  $\rho$  - плотность,  $c$  - скорость звука). Если полагать, что указанный комплекс действительно образуется, то снижение адиабатической сжимаемости при этом процессе может обуславливать появление максимума в концентрационной зависимости интенсивности свечения. На рис. 5 можно видеть полную аналогию в поведении интенсивности свечения и сжимаемости с изменением концентрации водноглицериновых смесей при 30°C. Значения величины адиабатической сжимаемости

для различных концентраций глицерина рассчитывались с использованием данных о скорости звука, приведенных в работе / 6 /. Эмпирическая формула, описывающая связь интенсивности СЛ и сжимаемости раствора, оказывается следующей

$$\lg I_s = \frac{1}{\beta} - \frac{1}{\beta_0} \quad (*)$$

где  $\beta_0$  - сжимаемость воды  
 $\beta$  - сжимаемость раствора  
 $I_s$  - интенсивность свечения

(интенсивность свечения чистой воды принята за единицу).

Замена части межмолекулярных связей внутримолекулярными, происходящая при образовании комплекса, по-видимому, может приводить к разрыхлению структуры жидкости и к облегчению образования зародышей кавитации, из которых затем вырастают кавитационные пузырьки / 7 /. Благодаря высокой вязкости водно-глицериновых смесей, коагуляция и выход на поверхность таких пузырьков затруднены, и после озвучивания они долгое время могут наблюдаться в растворе. Как уже отмечалось, наибольшее их число оказывается при восьмидесятипроцентном содержании глицерина (по объему), то есть, когда состав раствора близок к стехиометрическому составу комплекса  $(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - \text{C}_2\text{H}_5\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Полезно напомнить, что на величину вспышки оказывают влияние как состав содержимого захлопывающейся полости, то есть соотношение парциальных давлений пара и газа, так и прочностные свойства жидкости, определяющие динамику кавитации. Поэтому при более низких температурах, когда давление паров мало и сжимаемость во многом определяет интенсивность вспышки, найденная выше зависимость становится более сильной, и максимум интенсивности СЛ становится более резко выраженным.

Полученное при повышении температуры сглаживание максимума, по-видимому, есть результат следующих 2-х конкурирующих процессов.

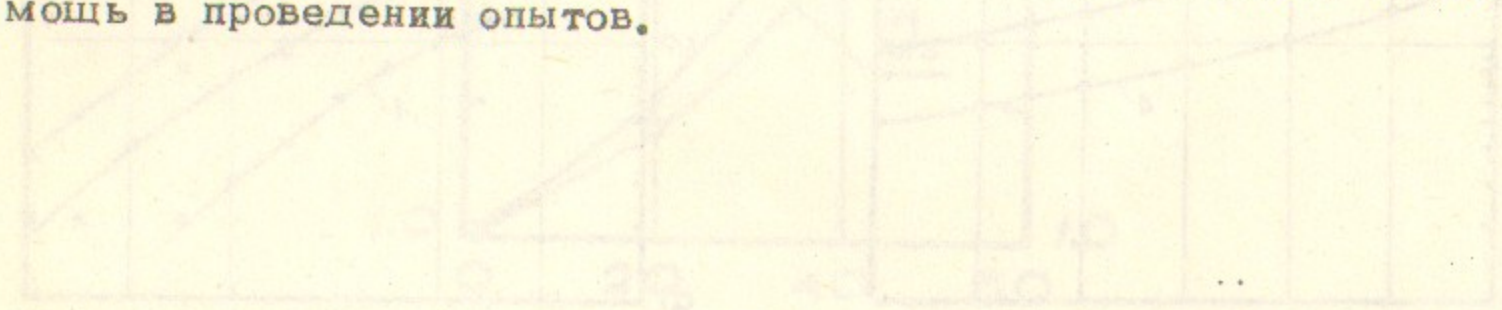
1. Увеличение числа кавитирующих центров, т.е. интенсивности свечения  $I_s$  за счет уменьшения сжимаемости ("разрых-

ление" структуры жидкости при образовании вышеупомянутого комплекса).

2. Уменьшение амплитуды соновспышек при возрастании давления насыщенных паров. Этот эффект в реальных условиях измерений (наличие определенного порога дискриминации) приводит к резкому снижению  $I_s$ .  
 Итак, несмотря на кажущееся различие в поведении концентрационно-температурных зависимостей интенсивности СЛ обоих исследованных систем, можно видеть и некоторые общие черты.

При низких температурах (до 30°C) структурные свойства жидкости  $\beta$  и  $\beta_0$  оказывают существенное влияние на интенсивность Сл. При повышении температуры все большую роль начинает играть возрастающее давление паров, приводящее к тушению свечения. Сонолюминесценция практически не возникает при температурах выше 65°C.

В заключение авторы выражают признательность А.Н.Лукину и В.А.Филимоненко за ценные обсуждения и практические советы, а также благодарят Г.Т.Шепель и Г.А.Савинова за помощь в проведении опытов.



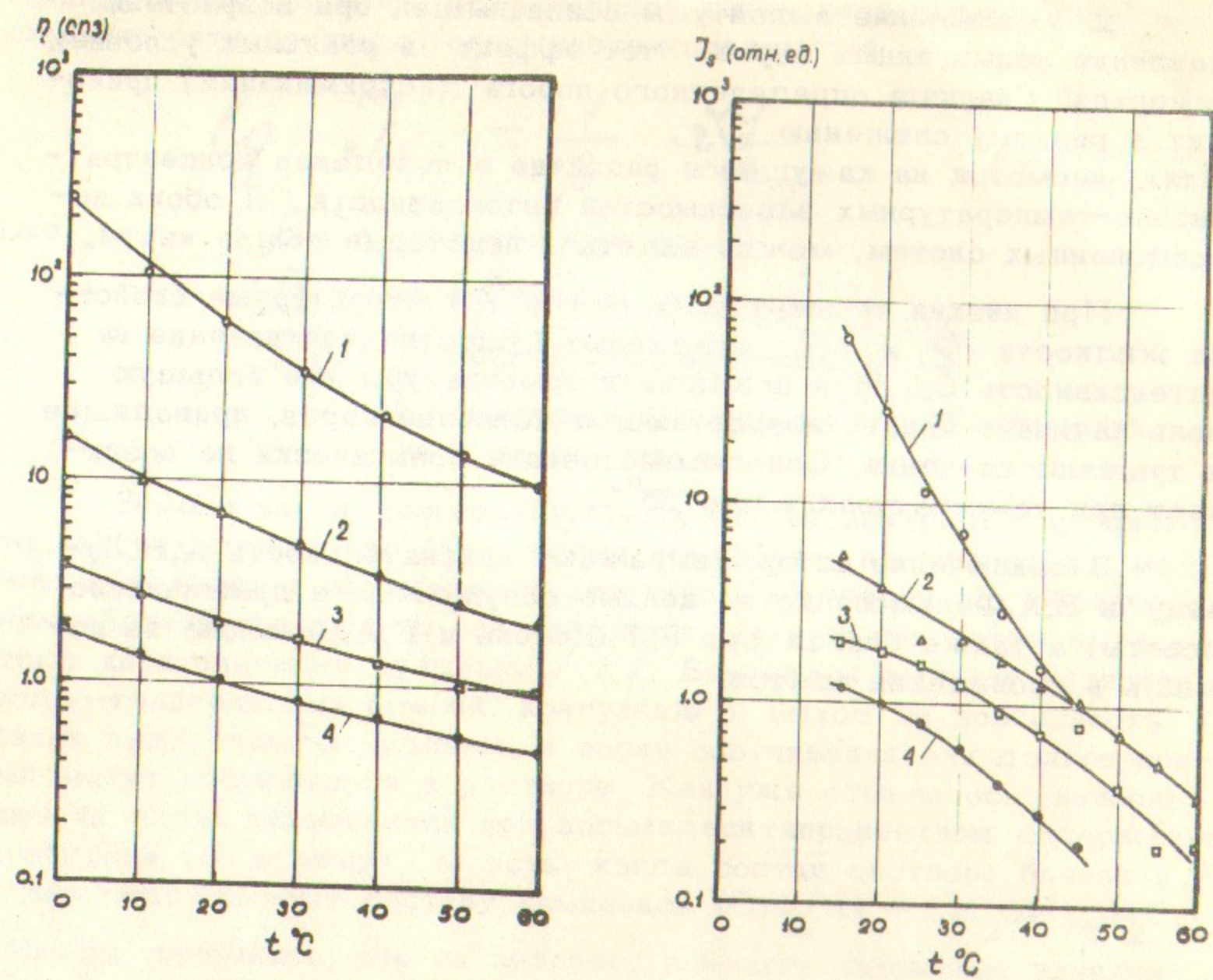


Рис.1. Зависимость а) вязкости ( $\eta$ ), б) интенсивности сонолюминесценции ( $J_s$ ) от температуры для растворов сахарозы различной концентрации: 1-60%, 2-40%, 3-20%, 4-0%.

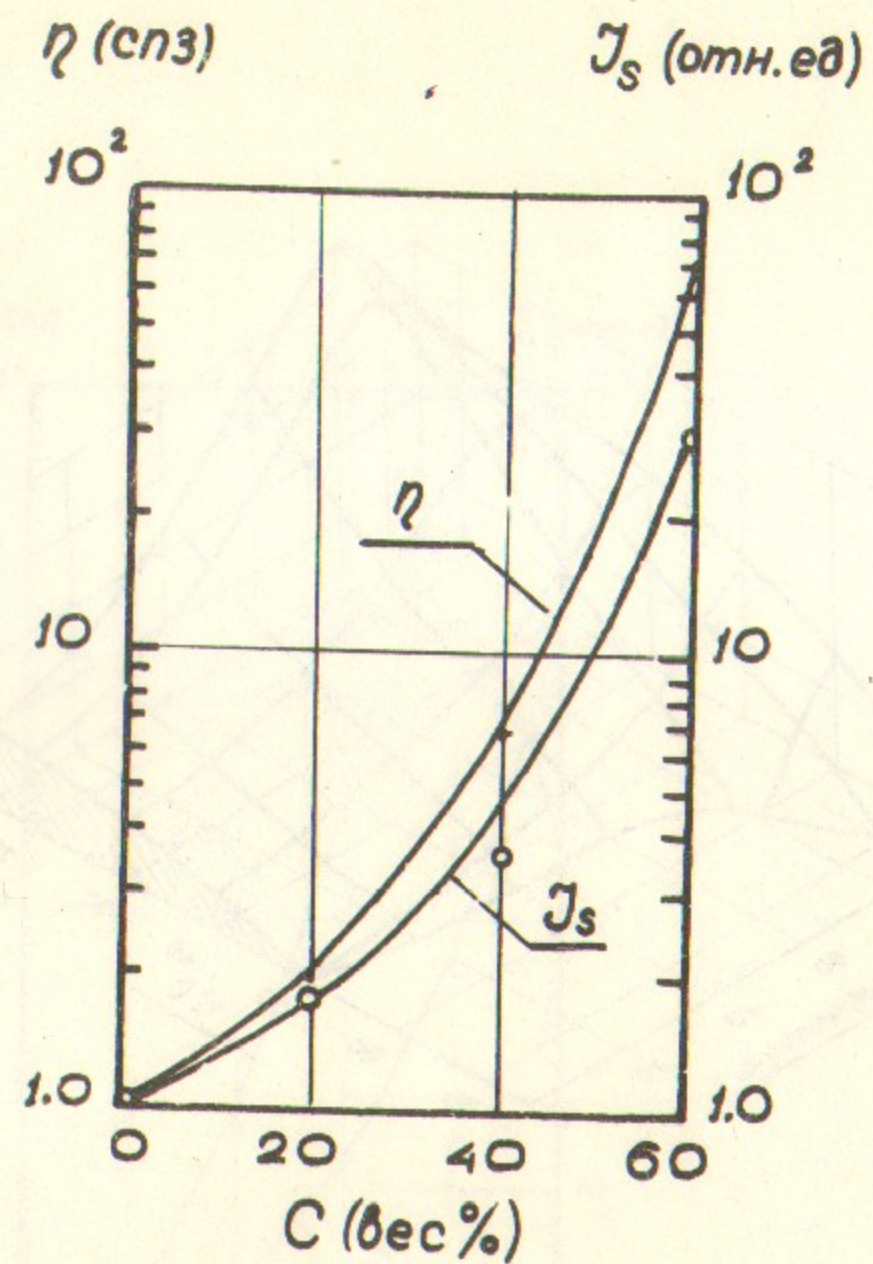


Рис.2. Зависимость вязкости ( $\eta$ ) и интенсивности сонолюминесценции ( $J_s$ ) от концентрации раствора сахарозы в воде при 20°C.

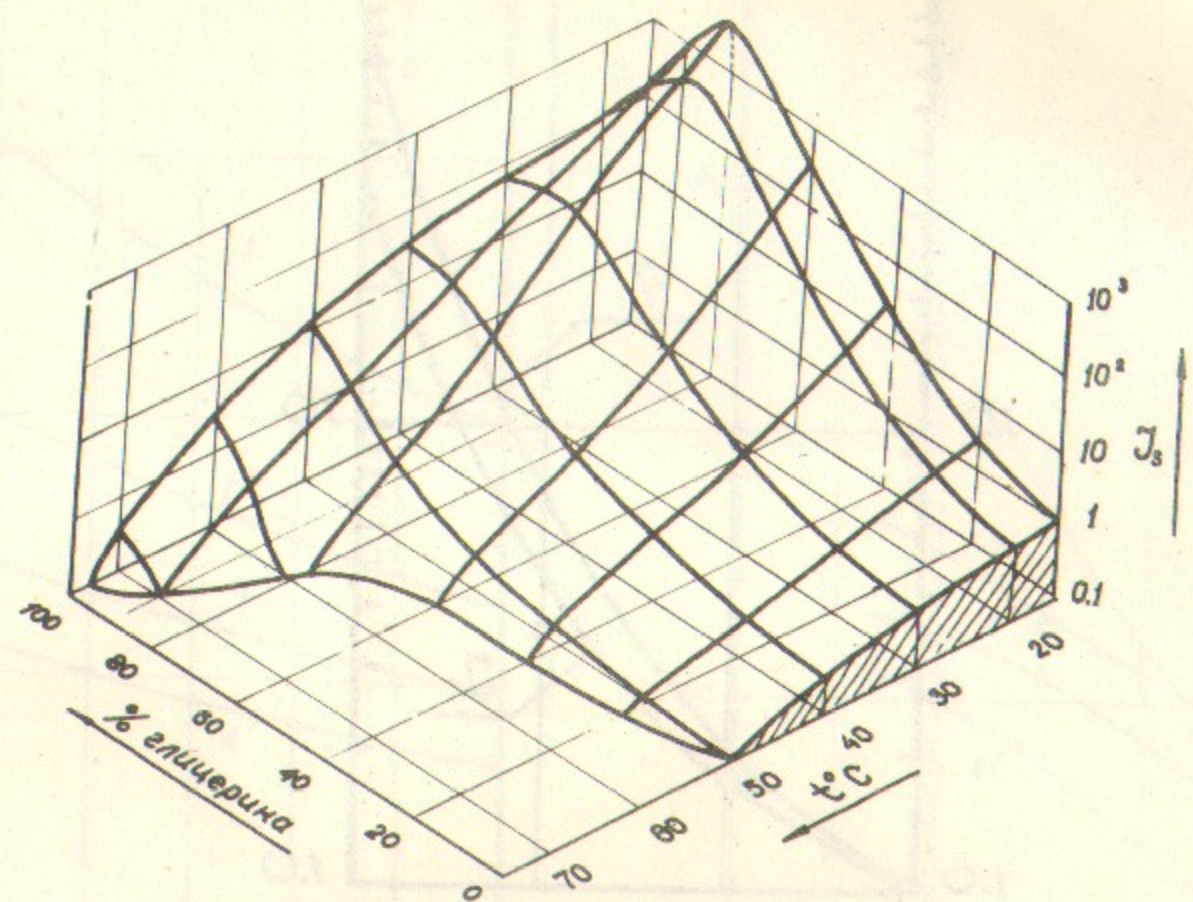


Рис.3. Концентрационно-температурная зависимость интенсивности солюлюминесценции водно-глицериновых смесей.

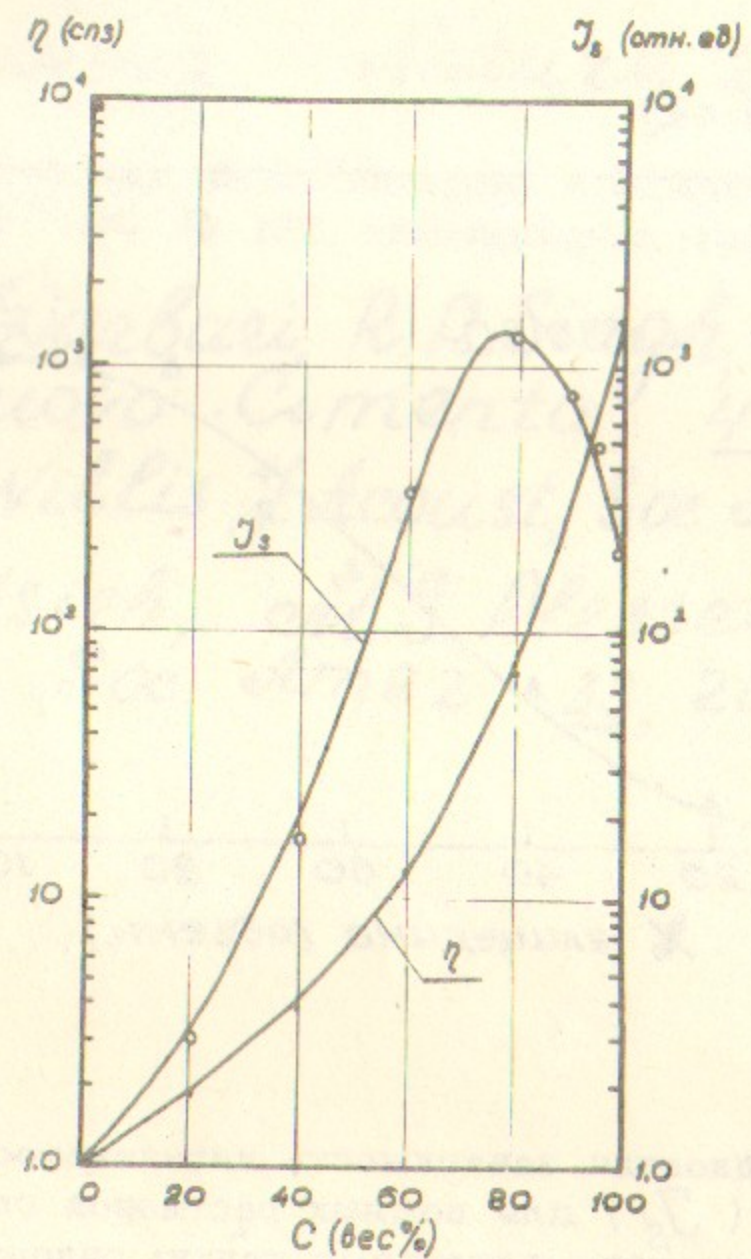


Рис.4. Зависимость вязкости ( $\eta$ ) и интенсивность солюлюминесценции ( $J_s$ ) от концентрации в воде при  $20^\circ\text{C}$ .

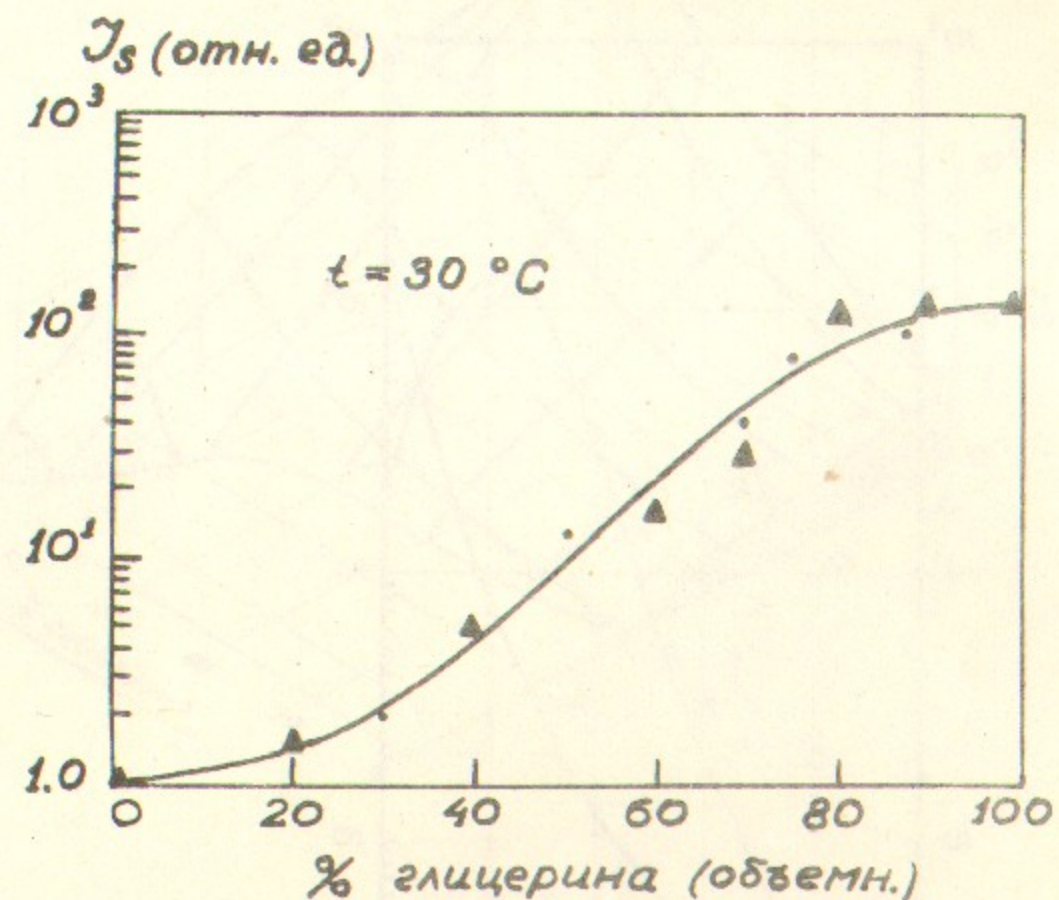


Рис.5. Концентрационная зависимость интенсивности сонолюминесценции ( $J_s$ ) для водных растворов глицерина при  $30^\circ\text{C}$ .  $\blacktriangle$  - экспериментальные точки; сплошная линия - расчетное значение по формуле ( $*$ ), приведенной в тексте.

Л и т е р а т у р а

1. P. Jarman Proc. Phys Soc 73, 628 (1959)
2. П.И.Голубничий, В.Д.Гончаров, Х.В.Протопопов. Препринт ИЯФ № 188, Новосибирск, 1968 г. (направлено в "Акустический журнал").
3. F.R. Young Nature 206, 706 (1965)
4. П.И.Голубничий, В.Д.Гончаров, А.Н.Лукин, Х.В.Протопопов. Препринт ИЯФ № 187, Новосибирск, 1968г. (Направлено в ПТЭ)
5. G.S. Darbari, R.P. Singh, G.S. Verma Nuovo Cimento 41B, 15 (1966)
6. F.H. Willis J. Acoust. Soc. Amer 19, 242 (1947)
7. D.Y. Hsieh, M.S. Plesset, J. Acoust. Soc. Amer 33, 206 (1961)

---

Ответственный за выпуск ГОЛУБНИЧИЙ П.И.  
Подписано к печати 20.У.1968г.  
Усл. 0,4 печ.л., тираж 150 экз.  
Заказ № 210, бесплатно.

---

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР