

## ВЯЗКОСТЬ РАСТВОРОВ ЖЕЛАТИНА, ПРИГОТОВЛЕННЫХ НА ОБЛУЧЕННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ВОДЕ

И. Е. Стась, В. Ю. Чиркова, М. И. Минин

ФГБОУ ВПО «Алтайский Государственный Университет»

Поступила в редакцию 11.03.2016 г.

**Аннотация.** Установлено увеличение кинематической вязкости растворов желатина при использовании в качестве растворителя воды, подвергшейся воздействию высокочастотного электромагнитного поля. Показано, что степень увеличения вязкости растворов зависит от их концентрации, температуры и частоты электромагнитного воздействия. На основе температурной зависимости рассчитаны значения энергии активации вязкого течения, которые оказались выше для растворов желатина, приготовленных на облученной воде. Наблюдаемые явления могут быть обусловлены изменением степени и характера взаимодействия реорганизованного растворителя с макромолекулами полимера.

**Ключевые слова:** растворы желатина, вязкость, высокочастотное электромагнитное поле, энергия активации.

**Abstract.** The increase the kinematic viscosity of the gelatin solution using water as a solvent, the exposed high-frequency electromagnetic field. The degree of increase in viscosity of the solutions depends on their concentration, the temperature and the frequency of the electromagnetic effects. On the basis of the temperature dependence of the calculated values of the activation energy of viscous flow, which was higher for the gelatin solutions prepared on the irradiated water. The observed phenomenon may be due to a change in the degree and nature of the interaction of the reorganized solvent polymer macromolecules.

**Keywords:** gelatin solution viscosity, high-frequency electromagnetic field, the energy of activation.

Благодаря уникальной структуре жидкой воды, она способна откликаться на даже слабые внешние воздействия, приобретая свойства, отличные от ее первоначальных свойств. В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал, свидетельствующий о существенном изменении физико-химических свойств воды и водных растворов в результате воздействия на них электромагнитного поля радиочастотного диапазона. Показано, что эффективность полевого воздействия зависит от частоты и времени облучения [1-3].

Согласно современным представлениям наблюдаемые изменения свойств воды обусловлены реорганизацией ее надмолекулярной структуры [4]. Поскольку в настоящее время отсутствует единая общепринятая модель структуры воды, то и предлагаемые механизмы полевого воздействия на нее также не дают однозначного ответа о природе процессов, приводящих к столь значимым эффектам. Остается невыясненным вопрос

о причинах длительного сохранения измененных свойств воды. Во многих экспериментах после прекращения воздействия свойства воды не только не возвращаются к исходным значениям, но их изменения продолжают нарастать со временем. Поэтому для выяснения механизма активации воды в результате внешних воздействий необходимо накопление экспериментального материала.

Усиление или ослабления водородных связей между молекулами воды должно изменять степень их взаимодействия с молекулами растворенного вещества, что, в свою очередь, должно сказаться на свойствах растворов. Так, проведенные нами исследования позволили установить увеличение электропроводности растворов хлоридов щелочных металлов в результате полевого воздействия, в различной степени выраженное для положительно и отрицательно гидратированных ионов [5]. Кроме того, установлено увеличение поверхностной активности спиртов и мицеллообразующих ПАВ, снижение ККМ последних [6,7]. Следовательно, можно ожидать изменения также

вязкости растворов высокомолекулярных соединений, зависящей от природы и свойств растворителя [8]. Изучение вязкостных характеристик водных растворов полимеров весьма информативно, поскольку именно реологические свойства наиболее чувствительны к изменениям молекулярной структуры полимерных матриц и степени их взаимодействия с молекулами растворителя. В качестве объекта исследования был выбран желатин – белковый материал, полидисперсная смесь полипептидов (молекулярная масса до 300 тыс.).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Источником электромагнитного поля служил генератор высокочастотных сигналов УКВ-1 с варьируемым напряжением от 1 до 15 В и диапазоне частот 170-265 МГц. Для облучения воды ЭМ полем использовали стеклянную ячейку емкостного типа вместимостью 200 мл. Внутренний ВЧ электрод, запаянный в стекло, был вставлен в нее через боковую поверхность. Внешний ВЧ электрод – алюминиевая фольга, плотно примыкающая к поверхности ячейки. Электроды были присоединены к генератору с помощью ВЧ кабеля длиной 15 см.

В работе использовали деионизованную воду, очищенную с помощью ионного обмена и обратного осмоса. Образцы воды облучали в течение 3 часов полем заданной частоты в интервале 178-260 МГц с шагом 5-10 МГц. Напряжение на ВЧ электродах поддерживали равным 11 В. Облученную воду перед приготовлением растворов желатина выдерживали в течение суток в герметично закрытых колбах.

Исходные растворы готовили следующим образом: навеску пищевого желатина (ГОСТ 11293-

89) помещали в колбы (50.0 мл) заливали 30 мл облученной или необлученной холодной воды и оставляли набухать на 30-40 минут. Затем смесь ставили на водяную баню (температура 60-70°C) и растворяли при перемешивании до получения прозрачного раствора. После растворения навески, полученные растворы доводили водой до метки и остужали.

Кинематическую вязкость измеряли с помощью вискозиметра марки ВПЖ-2 ( $d = 1.31$  мм) по времени истечения жидкости из капилляра, которое определяли с помощью электронного секундомера с точностью  $\pm 0.01$  с. Для нахождения энергии активации вязкого течения жидкости измерения проведены при температурах 298, 308 и 318 К. Температуру поддерживали с помощью термостата ТЖ-ТБ-01 с точностью  $\pm 0.1$  К. Энергию активации рассчитывали из наклона кривых  $\ln \eta - 1000/T$ . Каждое измерение проведено не менее 10 раз в 3-х сериях параллельных экспериментов.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Было установлено, что вязкость растворов желатина, полученных с использованием облученной воды, выше вязкости контрольных образцов. Максимальное значение  $\eta$  наблюдается для 5%-ых растворов, полученных на воде, облученной полем частотой 180 МГц - 41.8%. При более низких концентрациях максимальный эффект достигается при использовании воды, облученной полем 220 и 240 МГц (табл. 1).

Для дальнейших исследований были выбраны 2% растворы желатина, т.к. для растворов более высокой концентрации в ходе эксперимента наблюдалось заметное повышение вязкости

Таблица 1.

Кинематическая вязкость растворов желатина различной концентрации, приготовленных на облученной и необлученной воде ( $f=0$ )

C, %	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
$\eta$ , мм <sup>2</sup> /с $f=0$ МГц	1.46±0.02	1.68±0.02	2.10±0.02	2.41±0.01	3.28±0.02	7.9±0.3
$\eta$ , мм <sup>2</sup> /с $f=180$ МГц	1.48±0.01	1.74±0.01	2.24±0.02	2.71±0.02	3.81±0.02	11.2±0.3
$\Delta\eta$ , %	1.40	3.60	6.67	12.5	16.2	41.8
$\eta$ , мм <sup>2</sup> /с $f=220$ МГц	1.54±0.02	1.86±0.02	2.32±0.01	2.66±0.02	3.76±0.01	8.38±0.3
$\Delta\eta$ , %	5.5	10.7	10.2	10.4	14.6	6.1
$\eta$ , мм <sup>2</sup> /с $f=240$ МГц	1.55±0.01	1.89±0.02	2.37±0.02	2.66±0.03	3.76±0.02	8.69±0.2
$\Delta\eta$ , %	6.20	12.5	12.8	10.4	14.6	10.0

вплоть до застудневания. Определены значения вязкости 2%-ых растворов желатина, приготовленных с использованием воды, облученной полем различной частоты (табл. 2). Все растворы на облученной воде имеют более высокую вязкость, однако степень ее возрастания зависит от частоты - максимальное значение наблюдается для  $f = 178$  МГц, а минимальное – для  $f = 215$  МГц.

Установлено, что при повышении температуры эффективность ЭМ воздействия снижается – при  $T = 308$  и  $318$  К различия в вязкости облученного и контрольного образцов не превышают 2-4%. Из температурной зависимости вязкости (табл. 3) рассчитана энергия активации вязкого течения жидкости. Своего максимального значения она достигает для растворов, приготовленных с использованием воды, облученной полем 180 МГц –  $E_A$  возрастает более чем в 2 раза. Увеличение энергии активации в облученных растворах свидетельствует об упрочнении в них структуры полимерной матрицы.

На форму макромолекул в растворе существенным образом влияет природа растворителя. В одном растворителе молекулы полимеров могут быть более или менее вытянуты, в другом – более свернуты в клубок.

Желатин относится к полиэлектролитам, а именно, к амфолитам, т.к. содержит ионогенные группы, способные диссоциировать как по кислотному, так и по основному типу. Полиэлектролит — это полимерное соединение, имеющее в своем составе специфические функциональные группы, которые влияют на внутри- и межмолекулярные связи и способны в определенных условиях ионизироваться, в результате чего за счет

энергии электростатического взаимодействия изменяется общая свободная энергия системы. При растворении полиэлектролита в ионизирующем растворителе происходит диссоциация ионогенных групп с образованием заряженных полиионов. Конформация полииона будет определяться величиной и распределением зарядов вдоль макромолекулярной цепи, то есть являться функцией степени ионизации. Возникающий на отдельных участках цепи заряд вследствие ионизации и дальнейшей диссоциации полиэлектролита в растворе приводит к электростатическому взаимодействию внутри макромолекулярного клубка, что вызывает явление полиэлектролитного набухания. Электростатическое отталкивание одноименно заряженных звеньев цепи приводит к разворачиванию клубков и увеличению их размеров, тогда как в результате теплового движения полимерная цепь стремится свернуться. Меняя степень диссоциации, можно легко изменить форму макромолекулы полиэлектролита в растворе [9].

Наличие ионогенных групп в макромолекуле желатина обуславливает зависимость конформации полиионов от степени диссоциации amino- и карбоксильных групп. А изменение конформации полиионов проявляется в изменении степени набухания и вязкости растворов желатина. В кислых и щелочных растворах, в которых сильно подавлена диссоциация групп одного вида, силы отталкивания одноименных зарядов приводят к разворачиванию клубков макромолекул, и вязкость растворов возрастает [8]. Исходя из сказанного выше, можно предположить следующее объяснение наблюдаемым эффектам.

Таблица 2.

Относительная вязкость 2%-ых растворов желатина, приготовленных с использованием воды, облученной полем различных частот (время полевого воздействия – 3 часа,  $T = 25^\circ\text{C}$ )

$f$ , МГц	0	178	180	190	200	210	215	220	230	250	260
$\eta_{\text{отн}}$	1.84	2.23	2.07	2.10	2.09	2.15	1.98	2.15	2.03	2.14	2.14
$\Delta\eta$ , %	-	21.2	12.5	14.1	13.6	16.8	7.60	16.8	10.3	16.6	16.6

Таблица 3.

Относительная вязкость и энергия активации вязкого течения 2% растворов желатина при различных температурах

$T$ , К	298	308	318	$E_A$ , кДж/моль
$\eta_{\text{отн}}$ необл	1.83±0.02	1.60±0.01	1.32±0.01	12.6
$\eta_{\text{отн}}$ $f=180$ МГц	2.63±0.03	1.63±0.01	1.37±0.01	26.3
$\eta_{\text{отн}}$ $f=200$ МГц	2.08±0.03	1.55±0.02	1.34±0.02	17.5
$\eta_{\text{отн}}$ $f=220$ МГц	1.98±0.02	1.52±0.01	1.28±0.01	17.1
$\eta_{\text{отн}}$ $f=240$ МГц	1.98±0.03	1.53±0.02	1.30±0.01	16.7

В результате облучения воды изменяется ее надмолекулярная организация, что проявляется в усилении межмолекулярного взаимодействия. Усиление когезионного взаимодействия в водной фазе подтверждается проведенными ранее измерениями поверхностного натяжения, теплоты и скорости ее испарения. Экспериментально установлено увеличение поверхностного натяжения и теплоты испарения на 5-10%, а также замедление испарения облученной воды по сравнению с контрольными образцами [3] свидетельствует о возрастании работы выхода молекулы воды на поверхность или в фазу пара, что может быть обусловлено только усилением межмолекулярного взаимодействия. Основным видом взаимодействия в водной фазе является взаимодействие между атомами водорода и кислорода, приводящее к образованию водородных связей. Поэтому можно предположить, что полевое воздействие приводит к упрочнению сетки водородных связей в воде, что ослабляет ее взаимодействие с ионогенными группами полимеров (их сольватацию) и приводит к снижению степени их диссоциации. В результате уменьшаются силы притяжения между разноименно заряженными участками макроионов, происходит увеличение размеров макромолекулярных клубков, вязкость растворов возрастает. Повышение температуры раствора приводит к усилению теплового движения молекул, которое частично или полностью разрушает упрочнившуюся в результате полевого воздействия структуру воды. В результате эффект полевого воздействия на растворы желатина снижается.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессонова А.П. Частотная дисперсия физико-химических свойств воды, подвергшейся электромагнитному воздействию / А.П. Бессонова, И.Е. Стась // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. — 2006. — Т.53(4). — С.48–50.
2. Чиркова В.Ю. Изменение поверхностного натяжения воды и водных растворов бутанола в результате воздействия электромагнитного поля / В.Ю. Чиркова, И.Е. Стась, А.П. Бессонова // Известия АлтГУ. — 2012. — №3(1). — С.150–153.
3. Чиркова В.Ю. Увеличение поверхностного натяжения и теплоты испарения воды как результат воздействия высокочастотного электромагнитного поля / В.Ю. Чиркова, И.Е. Стась // Известия АлтГУ. — 2014. — №3(2). — С.187–191.
4. Стехин А.А. Структурированная вода: Нелинейные эффекты / А.А. Стехин, Г.В. Яковлева. — Москва: Изд-во ЛКИ, 2008. — 320 с.
5. Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды / И.Е. Стась, А.П. Бессонова // Материалы международной научной конференции «Химия, химическая технология и биотехнология». — 2006. — Т.2. — С.301–305.
6. Стась И.Е. Влияние электромагнитного поля высокой частоты на критическую концентрацию мицеллообразования водного раствора додецилсульфата натрия / И.Е. Стась, О.П. Михайлова // Журнал физической химии. — 2009. — Т.83(2). — С.324–325.
7. Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на адсорбционную способность ионогенных ПАВ / И.Е. Стась, Б.П. Шипунов, О.П. Михайлова // Журнал физической химии. — 2010. — Т.84(12). — С.2128–2132.
8. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. — Москва: Изд-во Химия, 1975. — 512 с.
9. Стась И.Е. Набухание биополимеров в облученной электромагнитным полем воде / И.Е. Стась, Р.С. Тхоренко, В.Ю. Чиркова // Материалы всероссийской научной конференции «Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья». — 2014. — С.109–111.

*Алтайский Государственный Университет*

*Чиркова В. Ю., аспирантка кафедры физической и неорганической химии*

*E-mail: varvara.chirkova@gmail.com*

*Тел.: 8-913-218-47-06*

*Стась И. Е., доцент кафедры физической и неорганической химии*

*E-mail: irinastas@gmail.com*

*Тел.: 8-913-368-11-94*

*Altai State University*

*Chirkova V. Yu., post-graduate student of the Physical and Inorganic Chemistry Department*

*E-mail: varvara.chirkova@gmail.com*

*Ph.: 8-913-218-47-06*

*Stas I. E., assistant professor of the Physical and Inorganic Chemistry Department*

*E-mail: irinastas@gmail.com*

*Ph.: 8-913-368-11-94*

*Стась И. Е., Чиркова В. Ю., Минин М. И.*

*Минин М. И., магистрант кафедры физической и неорганической химии*

*E-mail: minin2344@mail.com*

*Тел.: 8-923-160-70-38*

*Minin M. I., student of the Physical and Inorganic Chemistry Department*

*E-mail: minin2344@mail.com*

*Ph.: 8-923-160-70-38*