

УДК 532.135

АНОМАЛЬНАЯ РЕОЛОГИЯ РАСТВОРОВ АГАР-АГАРА, ПРИГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДЫ, ПОДВЕРГНУТОЙ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

© *Б.П. Шипунов**, *В.И. Маркин*

*Алтайский государственный университет, пр. Ленина, 61, 656049 Барнаул
(Россия), e-mail: sbp@mc.asu.ru*

В работе представлены результаты исследования реологических свойств растворов агар-агара, приготовленных с использованием воды, подвергнутой воздействию электромагнитного поля частотой от 30 до 170 МГц. Исследования проводились при трех температурах: 25, 35, 45 °С, концентрация изменялась от 0.1 до 0.7%, скорость сдвига изменялась в интервале 100–1000 с⁻¹. В результате исследования обнаружено отчетливое влияние воздействия электромагнитного поля, при этом количественный отклик зависит от скорости сдвига, концентрации раствора, температуры и частоты электромагнитного поля. В подавляющем большинстве случаев наблюдается уменьшение вязкости растворов в результате воздействия электромагнитного поля. Количественная корреляция изменения вязкости с частотой практически отсутствует. Наблюдается сложная картина взаимовлияния концентрации раствора, частоты электромагнитного поля, температуры и скорости сдвига при измерении вязкости. Температурная зависимость вязкости для растворов, подвергнутых и не подвергнутых воздействию электромагнитного поля, носит разнонаправленный характер и существенно зависит как от концентрации раствора, частоты электромагнитного поля, так и от скорости сдвига, при которой происходили измерения.

Предложено объяснение наблюдаемым зависимостям, которое основывается на двухкомпонентности растворов агар-агара, что приводит к индивидуализации изменения реологических свойств, определяемых агарозой и агаропектином, соответственно.

Ключевые слова: агар-агар, раствор, реология, электромагнитное поле.

Введение

Реологические свойства полимеров, в том числе природных, таких как агар-агар, представляют интерес и с теоретических позиций, и с практической точки зрения как исходные реагенты для поручения капсул для фармацевтической промышленности, применения в кулинарии и пр. Известно, что растворы агар-агара обладают уникальными свойствами, что в частности выражается и в уникальных реологических свойствах их растворов [1]. Высокая гидратационная способность молекул агар-агара, позволяющая создавать устойчивые структуры с молекулами и агрегатами воды даже при концентрации менее 1%, позволяет рассматривать такой полимер в качестве индикатора изменения способности воды и водных растворов к гидратационным процессам после различных видов воздействия физическими полями. Вода как динамичная система отзывается на воздействие физических полей разной природы изменением своих свойств [2–7]. Меняются не только структурные признаки, но и реакционная способность веществ, растворенных в воде, подвергнутой воздействию электромагнитным полем [8–12]. Изучалось влияние электромагнитного поля и на изменение вязкости растворов некоторых природных полимеров, таких как карбоксиметилцеллюлоза [13, 14]. В обоих случаях авторы указывают на увеличение вязкости в результате использования воды, подвергнутой воздействию электромагнитным полем. Авторами этих публикаций отмечено специфическое, т.е. неодинаковое по эффективности, воздействие разных частот на изменение относительной вязкости. Учитывая разнообразие методов, с

Шипунов Борис Павлович – доцент кафедры физической и неорганической химии, кандидат химических наук,
e-mail: sbp@mc.asu.ru

Маркин Вадим Иванович – доцент кафедры органической химии, кандидат химических наук,
e-mail: markin@chemwood.asu.ru

помощью которых иллюстрируют изменение свойств воды и водных растворов в результате воздействия электромагнитного поля, в том числе таких специфических, как термогравиметрия [15], вольтамперомет-

* Автор, с которым следует вести переписку.

рия [16], можно с уверенностью утверждать, что вискозиметрия применительно к растворам биополимеров может быть не менее информативной в плане чувствительности к изменениям в структурной организации воды, подвергшейся воздействию электромагнитным полем. Предположение основывается на следующем допущении. Если в результате воздействия электромагнитным полем водная сетка укрепляется, то энергетические затраты для сдвига молекул полимера должны возрастать, или при той же прикладываемой энергии вязкость должна возрастать. Если же, наоборот, водная сетка слабеет, то вязкость должна уменьшаться. Это предположение базируется на общепринятом представлении о строении агар-агара. Вязкость в растворах с невысокой концентрацией объясняют особым строением агарозы, которая отличается высокой структурной организацией и образует большое число упорядоченных водородных связей своими гидроксильными группами с молекулами воды [17, 18].

Цель данного исследования – установление факта влияния электромагнитного излучения на реологические свойства растворов агар-агара и выявление зависимости изменения реологии растворов от частоты электромагнитного поля, концентрации и температуры.

Экспериментальная часть

В целом методика эксперимента повторяла условия проведения исследований, изложенные в [1]. Основное отличие заключалось в методике воздействия электромагнитным полем. Выбор частот полевого воздействия был обусловлен имеющимся для этого высокочастотным (ВЧ) генератором Г4-119А с необходимыми электрическими характеристиками: диапазоном частот, выходным напряжением и возможностью согласования с ячейкой. В связи с достаточно большой продолжительностью экспериментов количество частот было ограничено четырьмя: 30, 90, 110, 170 МГц. С учетом диапазона генератора – 30–200 МГц – выбранные частоты можно рассматривать как репрезентативные для данного диапазона. Выбор конкретных частот основывался на более ранних экспериментах, где обнаруживались заметные эффекты для данных частот воздействия электромагнитного поля [19]. Воздействию электромагнитным полем подвергалась деионизованная вода. Для этого пробу воды помещали в специальную ячейку. Конструкция ячейки приведена в работе [16] и позволяет подвергать воздействию электромагнитного поля одновременно весь объем воды. Под действием поля каждый образец находился в течение 2 ч. В течение одного дня воздействию ВЧ поля подвергались все пробы воды. После этого вода переливалась в герметичные колбы и выдерживалась в течение не менее 10 дней. Такая особенность воздействия электромагнитным полем, которая была обозначена как «время развития эффекта», была обнаружена ранее [18]. Растворы агар-агара готовились 0.1, 0.3, 0.5 и 0.7% концентрации на воде, подвергнутой электромагнитному воздействию. Кроме того, для сравнения изучались растворы агар-агара аналогичных концентраций на деионизованной воде без воздействия электромагнитным полем. Исследование реологических характеристик проводили с помощью ротационного вискозиметра Haake VT550. Измерительная система – ротор – стакан MV-DIN. Измерения проводились в режиме CS/CR-временная кривая (временная кривая при постоянной скорости сдвига) при скоростях 200, 500, 1000 см^{-1} ; в режиме CS/CR-стационарная кривая течения при скоростях сдвига в диапазоне от 100 до 1000 с^{-1} . Для определения влияния температуры измерения для каждого образца проводились при трех температурах 25, 35 и 45°C.

Обсуждение результатов

В первую очередь была проверена концентрационная зависимость вязкости для растворов, подвергшихся ВЧ воздействию электромагнитного поля разной частоты. На рисунке 1 приведены соответствующие зависимости.

Хорошо заметно, что растворов концентрацией менее 0.7% разница в вязкости растворов заметна слабо. Для самого концентрированного раствора 0.7% различия совершенно очевидны. При этом зависимость от частоты не является гладкой: для 30 и 170 МГц значения вязкости максимальны, без воздействия электромагнитного поля – минимально. Значения вязкости для частот 90 и 110 МГц мало отличаются для концентрации 0.7%, тогда как для растворов 0.3 и 0.5% вязкость для частоты 110 МГц несколько меньше, чем для раствора без воздействия электромагнитного поля. Таким образом, стало очевидно, что необходим анализ поведения всех концентраций и всех частот на предмет поиска зависимостей. Представленная на рисунке 2 зависимость вязкости от скорости сдвига наглядно иллюстрирует аномальное положение кривой для частоты 110 МГц по отношению к другим. Становится очевидным, что гладкая зависимость от частоты вряд ли проявится.

По аналогии с предыдущей публикацией [1] постарались сопоставить кривые зависимости вязкости от напряжения сдвига для разных концентраций и частот воздействия электромагнитного поля.

Представленные на рисунке 3 зависимости иллюстрируют заметное влияние воздействия электромагнитного поля на реологические характеристики растворов. Взаимное положение кривых не соответствует гладкой частотной зависимости, что особенно заметно в случае 0.7% раствора. В целом, наблюдается увеличение вязкости в результате воздействия электромагнитного поля. Однако расположение реологических кривых для средних значений напряжения сдвига представляет последовательность 0 – 90 – 110 – 30 – 170 МГц.

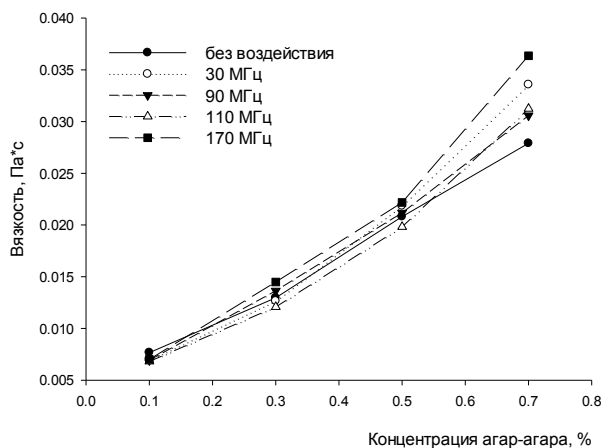


Рис. 1. Зависимость вязкости от концентрации для разных частот электромагнитного поля (25 °С, 1000 с⁻¹)

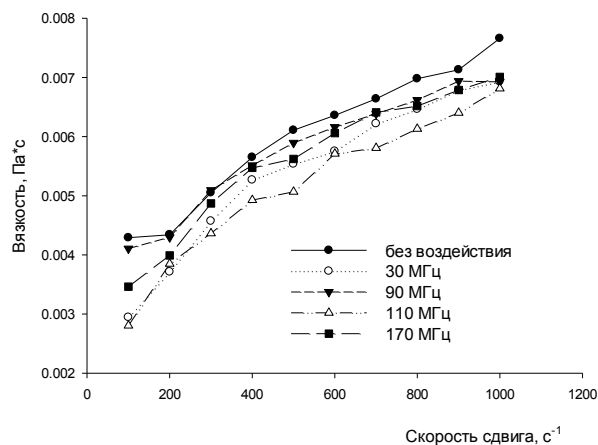
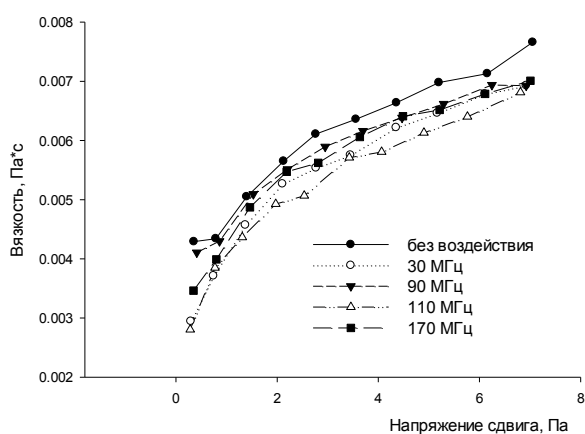
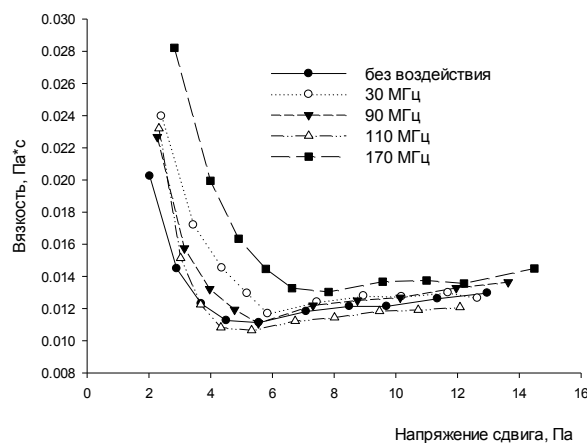


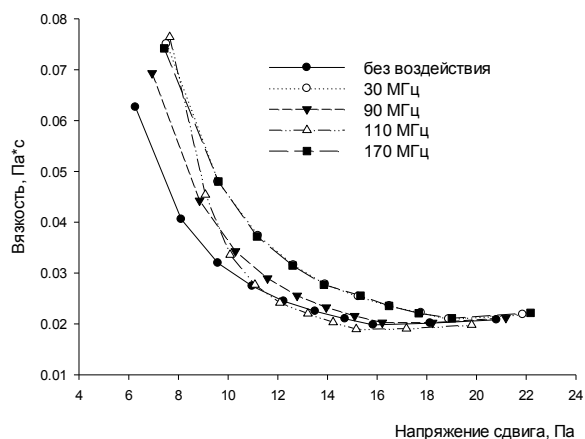
Рис. 2. Зависимость вязкости от скорости сдвига для раствора 0.1% и разных частот воздействия электромагнитного поля (25 °С)



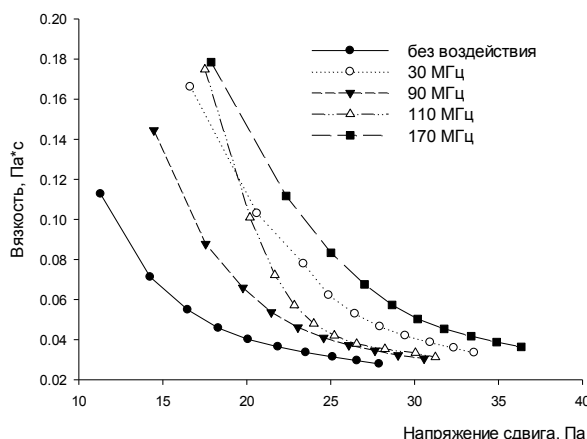
а



б



в



г

Рис. 3. Зависимость вязкости от напряжения сдвига для растворов с концентрацией: а – 0,1%; б – 0,3%; в – 0,5%; г – 0,7% (25 °С)

В области малых напряжений сдвига последовательность меняется: 0 – 90 – 30 – 110 – 170 МГц. Можно предположить, что если бы позволили возможности вискозиметра, то взаимное положение кривых 110 и 170 МГц могло измениться. Особенности поведения кривой для 110 МГц могут говорить о существенном отличии в структурной организации растворов агар-агара по сравнению с другими растворами. Большая крутизна кривой 110 МГц может служить доказательством наличия более жесткой структуры, особенно в области меньших значений напряжений сдвига. Подобное можно объяснить реализацией сильной связи между молекулами агар-агара за счет участия в такой связи большего числа молекул воды, и служить подтверждением появления в результате воздействия электромагнитного поля большего числа слабоагрегированных в водную сетку молекул воды. Анализ температурных зависимостей можно представить как очевидное проявление разрушения всех межмолекулярных связей в растворе с ростом температуры. Представленные на рисунке 4 кривые иллюстрируют сложную зависимость как от температуры, так и от скорости сдвига. На рисунке 4а заметный излом соответствует частоте 30 МГц, тогда как на рисунках 4б и в резкий излом соответствует частоте 110 МГц. Таким образом, структурные изменения, вызванные воздействием электромагнитного поля с частотой 30 МГц, проявляются при малых скоростях сдвига, в данном случае – 300 с^{-1} . Для скорости сдвига 1000 с^{-1} резкий излом температурной кривой соответствует частоте 110 МГц. Еще более сильная дифференциация наблюдается для разбавленного раствора. На рисунке 5а представлены температурные зависимости для 0,1% раствора при скорости сдвига 300 с^{-1} . В данном случае линейная зависимость проявляется для раствора без воздействия электромагнитного поля, тогда как для других частот зависимости не только не являются схожими, но и движутся разнонаправленно и для одной температуры проявляют существенно различные значения вязкости. Для растворов после воздействия поля частотой 110 МГц наблюдается излом с максимумом вязкости при $35 \text{ }^\circ\text{C}$, тогда как для раствора 30 МГц наблюдается вырождение температурной зависимости в интервале $35\text{--}45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Подобная зависимость заметна и для другой концентрации и скорости сдвига (рис. 5б), хотя и не столь ярко выраженная. При этом для частоты 30 МГц произошла инверсия температурной зависимости по сравнению с данными на рисунке 5а.

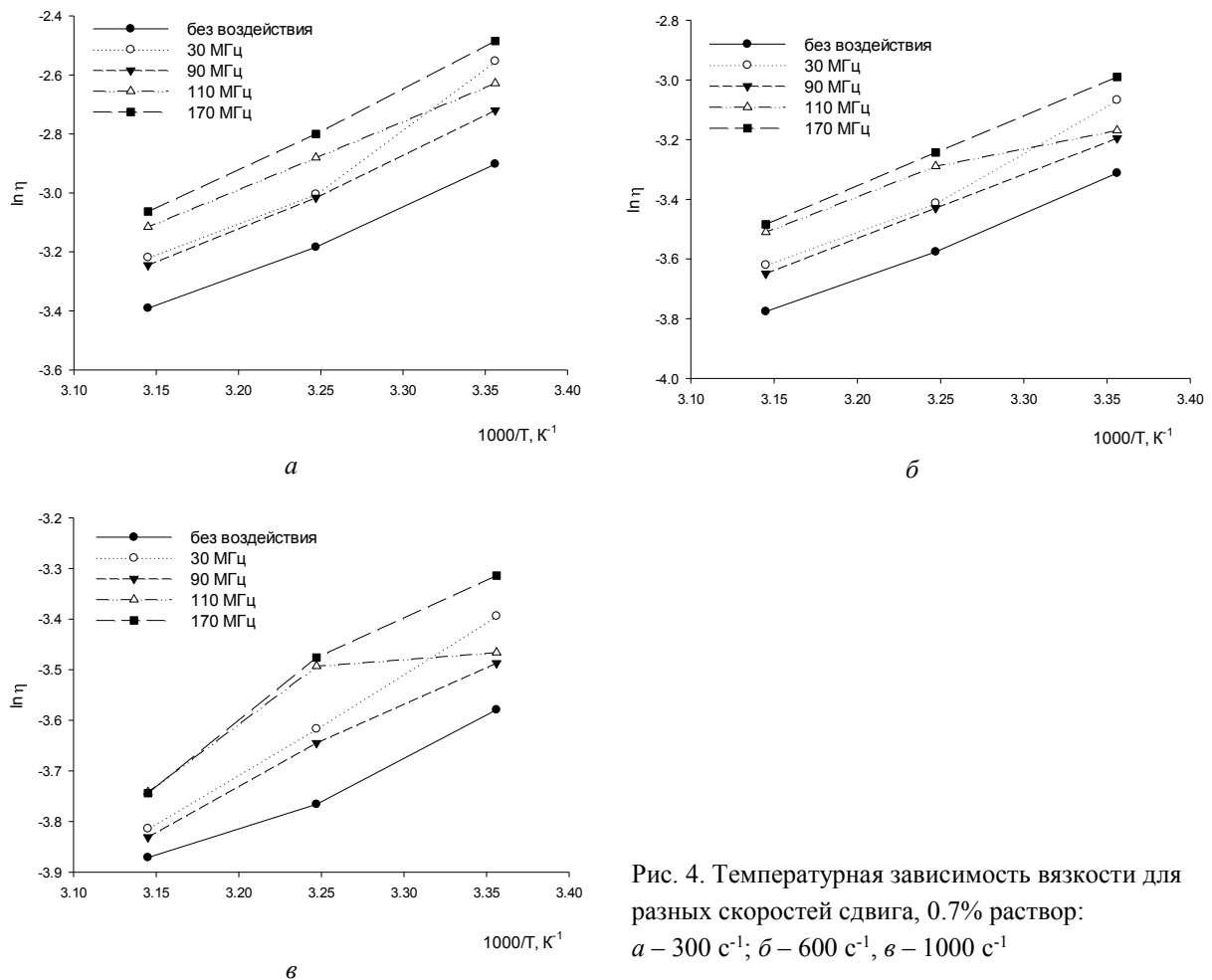


Рис. 4. Температурная зависимость вязкости для разных скоростей сдвига, 0,7% раствор: а – 300 с^{-1} ; б – 600 с^{-1} , в – 1000 с^{-1}

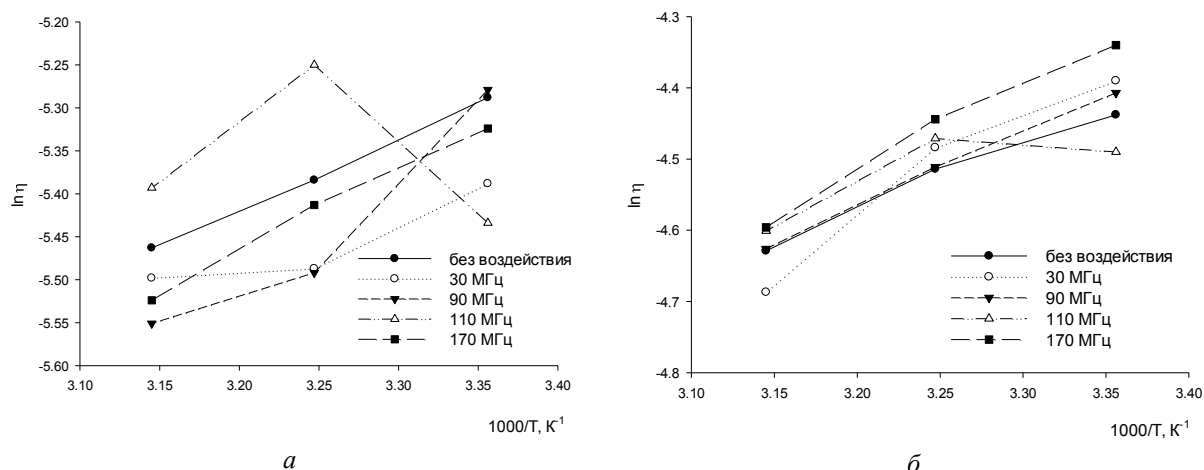


Рис. 5. Температурная зависимость вязкости для: *a* – 0.1% раствора, скорости сдвига 300 c^{-1} , *б* – 0.3%, скорость сдвига 600 c^{-1}

Увеличение скорости сдвига до 1000 c^{-1} вновь приводит к изменению взаимного положения температурных кривых для разных частот воздействия электромагнитного поля (рис. 6). Две зависимости для частот 170 и 90 МГц представляют почти идеальную прямую, тогда как остальные имеют отчетливый излом. При этом минимальной вязкостью при всех температурах обладают растворы, которые подверглись воздействию электромагнитного поля с частотой 30 МГц.

Частотная зависимость вязкости для разных концентраций и температур приведена на рисунке 7, который иллюстрирует влияние как частоты, так температуры и концентрации раствора агар-агара. При малой концентрации резко проявляется зависимость вязкости от частоты воздействия электромагнитного поля. С увеличением концентрации частотная зависимость выражена не столь резко. Вид кривых сходен для всех растворов, кроме 0,1%, что доказывает эффект воздействия электромагнитного поля. То, что зависимости становятся схожими при увеличении концентрации агар-агара, может быть вызвано разрушением собственной водной сетки и навязыванием определенных структурных особенностей компонентами агар-агара: агарозы и агаропектина. Тем не менее зависимость от частоты говорит в пользу возникновения очень устойчивых собственных агрегаций воды, вызванных воздействием электромагнитного поля.

Подобное поведение растворов агар-агара служит несомненным доказательством сложного многоуровневого строения раствора. Учитывая, что в растворе присутствует два вида полимеров – линейная агароза и сетчатый агаропектин, следует ожидать наличия двух реологических систем, относящихся к каждому из полимеров. Если рассматривать каждую систему, то поведение раствора можно объяснить аддитивностью вклада каждой системы в общие реологические зависимости. Однако можно предположить наличие и более сложного взаимодействия: при увеличении концентрации изменяются не только гидратационные взаимодействия внутри каждой подсистемы, но и межсистемные связи, приводящие к резким отклонениям в реологии раствора в результате образования сверхструктурных организаций. Воздействие электромагнитного поля, как предполагается в некоторых работах [20], может приводить либо к укреплению, либо к разрушению водной сетки.

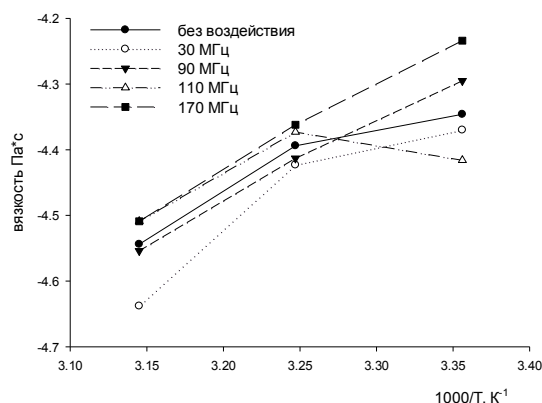


Рис. 6. Температурная зависимость вязкости для разных частот, раствор 0.3%, скорость сдвига 1000 c^{-1}

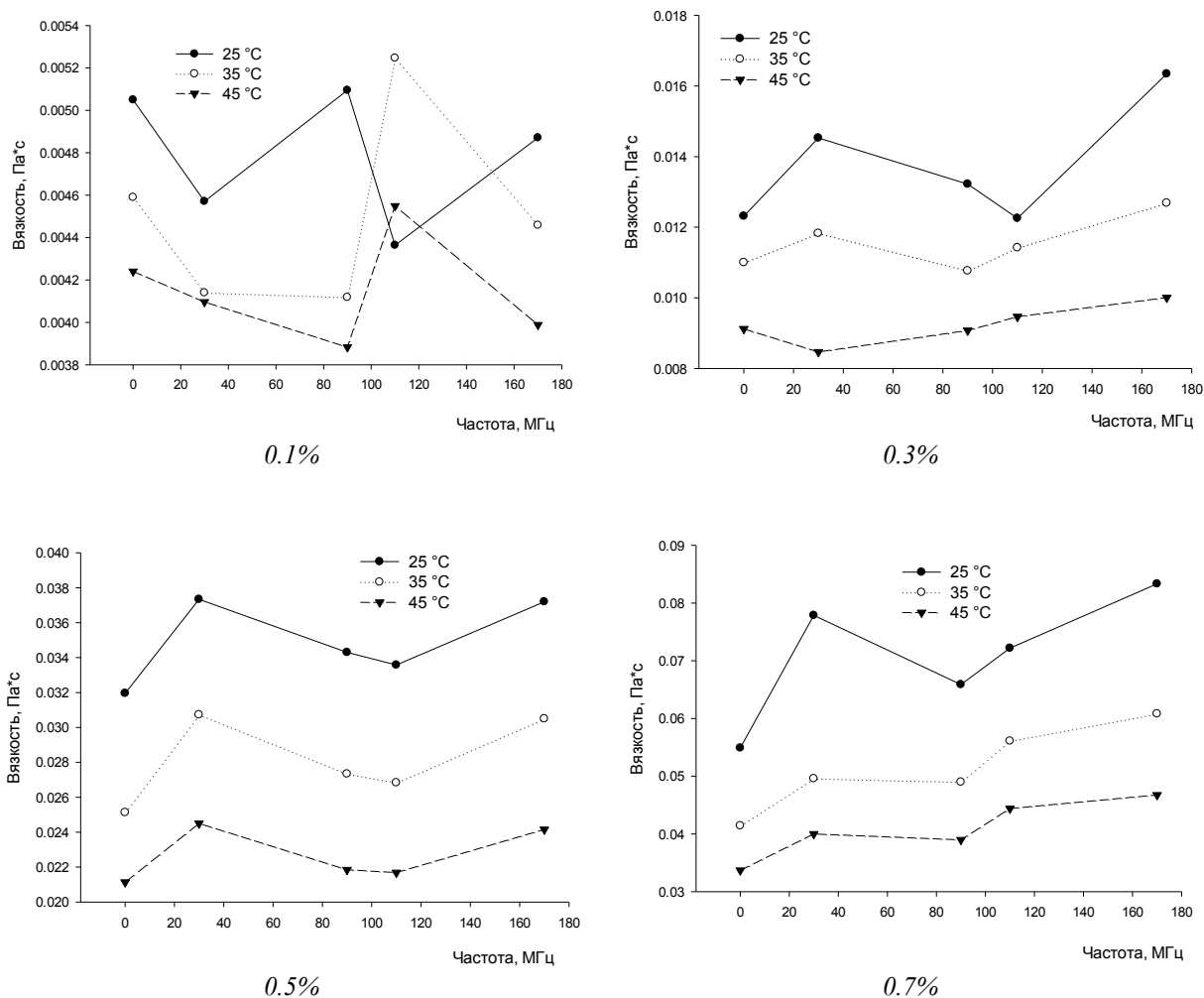


Рис. 7. Зависимость вязкости от частоты полевой обработки и температуры для разных концентраций раствора. Скорость сдвига – 300 с^{-1}

Выводы

1. Растворы агар-агара, приготовленные с использованием воды, подвергшейся воздействию электромагнитного поля, изменяют свои реологические свойства. При этом в подавляющем большинстве случаев наблюдается уменьшение вязкости растворов в результате воздействия электромагнитного поля. Количественная корреляция изменения вязкости с частотой практически отсутствует.

2. Наблюдается сложная температурная зависимость вязкости, как для разных частот полевого воздействия, так и для разных скоростей сдвига.

3. Предложено объяснение наблюдаемым зависимостям, которое основывается на двухкомпонентности растворов агар-агара, что приводит к индивидуализации изменения реологических свойств, определяемых агарозой и агаропектином, соответственно.

Поступила в редакцию 25 февраля 2019 г.

После переработки 10 октября 2019 г.

Принята к публикации 19 ноября 2019 г.

Список литературы

1. Шипунов Б.П., Маркин В.И., Коптев В.И. Особенности реологии растворов агар-агара // Химия растительного сырья. 2018. №1. С. 53–60. DOI: 10.14258/jcrpm.2018013720.
2. Стехин А.А., Яковлева Г.В. Структурированная вода: Нелинейные эффекты. М., 2008. 320 с.

3. Usanov A.D., Ulyanov S.S., Ilyukhina N.S. Monitoring of changes in cluster structures in water under AC magnetic field // *Optics and Spectroscopy*. 2016. Vol. 120, no. 1. Pp. 82–85. DOI: 10.1134/S0030400X16010239.
4. Esmaeilnezhad E., Choi H.J., Schaffie M., Gholizadeh M., Ranjbar M. Characteristics and applications of magnetized water as a green technology // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 161. Pp. 908–921. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.05.166.
5. Власов В.А. Анализ процессов, обуславливающих влияние магнитного поля на структуру и свойства воды // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2012. №81(07). С. 123–125.
6. Veselinovic D., Velikic Z. The pH measurement with glass electrode in an electromagnetic field // *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2016. Vol. 81, issue 12. Pp. 1407–1414. DOI: 10.2298/JSC160407082V.
7. Chirkova V.Yu., Sharlayeva Ye.A., Stas I.Ye. Boiling temperature and the enthalpy of water vaporization exposed to high frequency electromagnetic field // *Bulletin of the University of Karaganda-Chemistry*. 2019. N94. Pp. 51–55. DOI: 10.31489/2019Ch2/51-55.
8. Calabro E., Magazu S. Methyl and methylene vibrations response in amino acids of typical proteins in water solution under high-frequency electromagnetic field // *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2019. Vol. 38, no. 4. Pp. 271–278. DOI: 10.1080/15368378.2019.1641720.
9. Шипунов Б.П., Тимирязев А.В., Кондратова Е.В. Влияние маломощного высокочастотного электромагнитного поля на скорость химических реакций и константу равновесия реакции мутаротации сахарозы и гидролиза ацетоуксусного эфира // *Бутлеровские сообщения*. 2011. Т. 24, №1. С. 105–109.
10. Шипунов Б.П. Структурная организация и гомогенное равновесие в водных растворах. Влияние электромагнитного поля. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 104 с.
11. Wang G., Yan Y.-J., Zhang Y., Zhou H., Cao S.-X., Wang J.-G. Effects of high-frequency electric field on microbial mass transfer in static state // *Huaxue Gongcheng/Chemical Engineering (China)*. 2014. Vol. 42, no. 12. Pp. 6–10. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9954.2014.12.002.
12. Шипунов Б.П., Рябых А.В. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на мутаротацию водных растворов глюкозы и фруктозы // *Химия растительного сырья*. 2019. №3. Pp. 235–240. DOI: 10.14258/jcrpm.2019034456.
13. Стась И.Е., Михайлис А.В. Влияние обработки воды электромагнитным полем ультравысоких частот на относительную вязкость водных растворов Na-карбоксиметилцеллюлозы // *Известия Алтайского государственного университета*. 2018. №4(102). С. 31–35. DOI: 10.14258/izvasu(2018)4-05.
14. Стась И.Е., Батищева И.Е. Относительная вязкость водных растворов Na-карбоксиметилцеллюлозы и ее изменение в зависимости от кислотности среды, температуры и воздействия электромагнитного поля // *Химия растительного сырья*. 2018. №3. С. 23–31. DOI: 10.14258/jcrpm.2018033695.
15. Шипунов Б.П., Чашева Ю.М. Влияние ВЧ поля на термодинамическую устойчивость кристаллогидратов хлорида кобальта // *Известия вузов. Физика*. 2014. Т. 57, №7/2. С. 202–204.
16. Stas I.E., Ivonina T.S., Shipunov B.P. The Stripping Voltammetry in High Frequency Electromagnetic Field // *Electroanalysis*. 2005. Vol. 17, no. 5. Pp. 794–799. DOI: 10.1002/elan.200303146.
17. Usov A.I. Sulfated polysaccharides of the red seaweeds // *Food Hydrocolloids*. 1992. N1. Pp. 9–23. DOI: 10.1016/S0268-005X(09)80055-6.
18. Usov A.I. Structural analysis of red seaweed galactans of agar and carrageenan groups // *Food Hydrocolloids*. 1998. Vol. 12, N3. Pp. 301–308. DOI: 10.1016/S0268-005X(98)00018-6.
19. Шипунов Б.П., Кондратова Е.В., Тимирязев А.В. Влияние электромагнитного поля на гомогенное равновесие в водных растворах. Барнаул, 2014. 99 с.
20. Хан В.А., Власов В.А., Мышкин В.Ф., Ижойкин Д.А., Рахимжанова Л.А. Исследование влияния электромагнитных полей на структуру и свойства воды // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2012. №81(07). С. 115–127.

Для цитирования: Шипунов Б.П., Маркин В.И. Аномальная реология растворов агар-агара, приготовленных с использованием воды, подвергнутой воздействию электромагнитного поля // *Химия растительного сырья*. 2020. №1. С. 73–80. DOI: 10.14258/jcrpm.2020017373.

*Shipunov B.P.**, *Markin V.I.* ABNORMAL RHEOLOGY OF AGAR-AGAR SOLUTIONS PREPARED USING WATER EXPOSED TO AN ELECTROMAGNETIC FIELD

Altai State University, Lenina av., 61, Barnaul (Russia), e-mail: sbp@mc.asu.ru

The paper presents the results of a study of the rheological properties of agar-agar solutions prepared using water exposed to an electromagnetic field with a frequency of 30 to 170 MHz. The studies were carried out at three temperatures: 25, 35, 45 °C, the concentration varied from 0.1 to 0.7%, and the shear rate varied in the range of 100–1000 s⁻¹. As a result of the study, a distinct influence of the electromagnetic field was found, and the quantitative response depends on the shear rate, solution concentration, temperature and frequency of the electromagnetic field. In the vast majority of cases, a decrease in the viscosity of solutions is observed as a result of exposure to an electromagnetic field. There is practically no quantitative correlation of viscosity changes with frequency. There is a complex picture of the mutual influence of the solution concentration, the frequency of the electromagnetic field, temperature and shear rate when measuring viscosity. The temperature dependence of viscosity for solutions subjected to and not exposed to an electromagnetic field is multidirectional in nature and substantially depends on both the concentration of the solution, the frequency of the electromagnetic field, and the shear rate at which measurements were taken.

An explanation of the observed dependencies is proposed, which is based on the two-component agar-agar solutions, which leads to individualization of the changes in the rheological properties determined by agarose and agaropectin, respectively.

Keywords: agar-agar, solution, rheology, electromagnetic field.

References

1. Shipunov B.P., Markin V.I., Koptev V.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 1, pp. 53–60. DOI: 10.14258/jcprm.2018013720 (in Russ.).
2. Stekhin A.A., Yakovleva G.V. *Strukturirovannaya voda: Nelineynyye efekty*. [Structured Water: Nonlinear Effects]. Moscow, 2008, 320 p. (in Russ.).
3. Usanov A.D., Ulyanov S.S., Ilyukhina N.S. *Optics and Spectroscopy*, 2016, vol. 120, no. 1, pp. 82–85. DOI: 10.1134/S0030400X16010239.
4. Esmailnezhad E., Choi H.J., Schaffie M., Gholizadeh M., Ranjbar M. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 161, pp. 908–921. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.05.166.
5. Vlasov V.A. *Politematicheskiiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, no. 81(07), pp. 123–125 (in Russ.).
6. Veselinovic D., Velikic Z. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 2016, vol. 81, issue 12, pp. 1407–1414. DOI: 10.2298/JSC160407082V.
7. Chirkova V.Yu., Sharlayeva Ye.A., Stas I.Ye. *Bulletin of the University of Karaganda-Chemistry*, 2019, no. 94, pp. 51–55. DOI: 10.31489/2019Ch2/51-55.
8. Calabro E., Magazu S. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 2019, vol. 38, no. 4, pp. 271–278. DOI: 10.1080/15368378.2019.1641720.
9. Shipunov B.P., Timiryazev A.V., Kondratova Ye.V. *Butlerovskiyee soobshcheniya*, 2011, vol. 24, no. 1, pp. 105–109 (in Russ.).
10. Shipunov B.P. *Strukturnaya organizatsiya i gomogennoye ravnovesiye v vodnykh rastvorakh. Vliyaniye elektromagnitnogo polya*. [Structural organization and homogeneous equilibrium in aqueous solutions. The influence of the electromagnetic field]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, 104 p. (in Russ.).
11. Wang G., Yan Y.-J., Zhang Y., Zhou H., Cao S.-X., Wang J.-G. *Huaxue Gongcheng/Chemical Engineering (China)*, 2014, vol. 42, no. 12, pp. 6–10. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9954.2014.12.002.
12. Shipunov B.P., Ryabykh A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 235–240. DOI: 10.14258/jcprm.2019034456 (in Russ.).
13. Stas' I.Ye., Mikheylyis A.V. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, no. 4(102), pp. 31–35. DOI: 10.14258/izvasu(2018)4-05 (in Russ.).
14. Stas' I.Ye., Batishcheva I.Ye. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 23–31. DOI: 10.14258/jcprm.2018033695 (in Russ.).
15. Shipunov B.P., Chashchevaya YU.M. *Izvestiya vuzov. Fizika*, 2014, vol. 57, no. 7/2, pp. 202–204 (in Russ.).
16. Stas I.E., Ivonina T.S., Shipunov B.P. *Electroanalysis*, 2005, vol. 17, no. 5, pp. 794–799. DOI: 10.1002/elan.200303146.
17. Usov A.I. *Food Hydrocolloids*, 1992, no. 1, pp. 9–23. DOI: 10.1016/S0268-005X(09)80055-6.
18. Usov A.I. *Food Hydrocolloids*, 1998, vol. 12, no. 3, pp. 301–308. DOI: 10.1016/S0268-005X(98)00018-6.
19. Shipunov B.P., Kondratova Ye.V., Timiryazev A.V. *Vliyaniye elektromagnitnogo polya na gomogennoye ravnovesiye v vodnykh rastvorakh*. [The influence of the electromagnetic field on the homogeneous equilibrium in aqueous solutions]. Barnaul, 2014, 99 p. (in Russ.).
20. Khan V.A., Vlasov V.A., Myshkin V.F., Izhoikin D.A., Rakhimzhanova L.A. *Politematicheskiiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, no. 81(07), pp. 115–127 (in Russ.).

Received February 25, 2019

Revised October 10, 2019

Accepted November 11, 2019

For citing: Shipunov B.P., Markin V.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 73–80. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020017373.

* Corresponding author.