

УДК 538.9; 544.773.432; 537.612.2

Вергун Л. Ю.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, фізичний факультет

В'язкопружність желатинових гідрогелів під дією постійного магнітного поля

Досліджується вплив магнітного поля на властивості гідрогелів желатину різної концентрації від 5 до 25% з метою застосування результатів досліджень для встановлення молекулярних механізмів регенерації пошкодженої сполучної тканини в процесі стабілізації конфігураційних змін клубкоподібних та спіралеподібних доменів при комплексоутворенні з біомолекулами. Для експериментальної реалізації поставленої задачі використовується крутильний маятник, за допомогою якого визначаються реологічні характеристики системи, що досліджується. Використовується експериментальна методика для визначення модуля зсуву рідинних систем, що містять рідку та жорстку фазу. Суть зазначеної методики полягає в тому, що в процесі експерименту вимірюється частота коливань системи із порожньою трубкою і частота коливань системи із трубкою, яка заповнена досліджуваною рідинною системою. При співставленні отриманих результатів визначається модуль зсуву. Отримано концентраційні залежності модуля зсуву гідрогелів желатину, які були попередньо оброблені постійним магнітним полем з індукцією 0.43 мТл, та гідрогелів, що не перебували в магнітному полі. Встановлено, що обробка гідрогелів магнітним полем впливає на величину модуля зсуву порівняно з гідрогелями, які не перебували в магнітному середовищі. Запропоновано механізм щодо зміни структури досліджуваної системи під дією магнітного поля, який полягає в можливості переорієнтації комірок сітки в структурі гідрогелю. За допомогою оптичного мікроскопу для співставлення отриманих результатів отримано зображення поверхневих шарів об'єктів дослідження. Наведено схеми ділянок структури гелів, що відповідають структурі рідкої сітки (концентрація желатину від 0% до 15%) та структурі твердого розчину заміщення (концентрація желатину від 15% до 25%). Висунуто гіпотезу, що під дією магнітного поля збільшення вмісту розчиненої речовини змінює об'єм комірки, заповненої молекулами розчинника.

Ключові слова: *гідрогель желатину, крутильний маятник, модуль зсуву, магнітне поле, поверхневий шар, твердий розчин заміщення*

Вступ. На даний час желатинові гідрогелі використовуються при лікуванні пошкоджень сполучної тканини [1]. Так, наприклад, застосування гелів на основі желатину, має місце в отоларингології для регенерації пошкоджених ділянок гортані та голосових зв'язок після проведення хірургічних процедур [2]. Оскільки застосування зазначених гідрогелів є фактором васкуляризації нової тканини, одним із завдань в цьому напрямку є отримання гелевої структури, яка б забезпечувала оптимальні біомеханічні властивості під час взаємодії з живою системою [2].

Як відомо, желатин – це матеріал з матричною структурою, яка відіграє важливу роль при стабілізації конфігураційних змін клубкоподібних та спіралеподібних доменів при комплексоутворенні з біомолекулами [3]. Матриця такого виду гідрогелів характеризується наявністю пор, кількість і величина яких

впливає на біомеханічні властивості, а саме модуль зсуву [4]. В процесі утворення сітчастої структури можливо протікання цього процесу при наступних умовах, а саме, впродовж формування гелю відбувається зменшення розміру комірок(пор), що призводить до збільшення модуля зсуву, а також гелеутворення може супроводжуватись збільшення розміру комірок, що призводить до зменшення модуля зсуву [4]. Відомо, що в'язкопружністьгідрогелю желатини пов'язана із ефектами стану спинового скла [5].

Зважаючи на вищезазначене метою даної роботи було експериментальне дослідження в'язкопружностігідрогелів желатини різної концентрації, що сформувались під дією постійного магнітного поля, та встановлення на їх основі молекулярних механізмів взаємодії магнітного поля із структурою гідрогелю желатину.

Методика та результати експерименту. Для експериментальної реалізації поставленої задачі було використано крутильний маятник, описаний в роботах [див., напр. 6, 7] Об'єктами досліджень слугували гідрогелі желатину з концентраціями 5, 8, 10, 12, 15, 17, 20, 22, 25%. Результатом експерименту є визначення модуля зсуву гідрогелів, що досліджуються. Суть використаного експериментального методу полягає в тому, що вимірюється частота коливань системи із порожньою трубкою і частота коливань системи із трубкою, яка заповнена досліджуваною рідинною системою.

Підготовка досліджуваного зразка для вимірювання модуля зсуву провадилась наступним чином. Пробірка, наповнена гідрогелем желатину, розміщувалась в постійне магнітне поле з індукцією 0.43мТл, що створювалось за рахунок кілецьГельмгольца, та витримувалась на протязі 15 хвилин. Після витримки

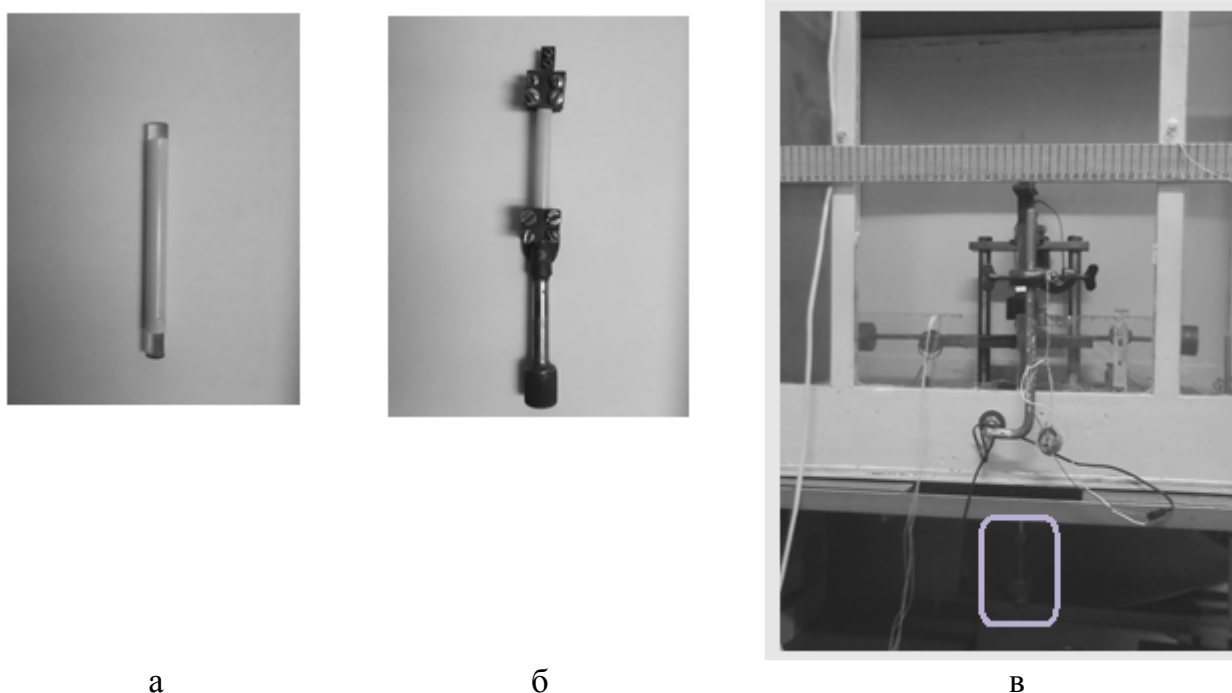


Рис. 1. Зображення циліндричної кювети (рис.1а), кювети в затискачах (рис.1б) , експериментальної установки (рис.1в)

в магнітному полі, досліджуваною рідинною системою наповнювалась поліетиленова циліндрична кювета (рис. 1а), яка надалі затискалась в затискачах (рис. 1б) і розміщувалась в захватах крутильного маятника (рис. 1в). На рис.1 наведено зображення циліндричної кювети (рис.1а), кювети в затискачах (рис. 1б) та експериментальну установку (рис. 1в). На рис. 1в місце кріплення кювети обведено світлим кольором.

На рис. 2. наведено концентраційні залежності модулів зсуву намагніченого та немагніченого гідрогелю желатини, розраховані за методикою [6].

На рис. 3 наведені зображення поверхневого шару досліджуваних гідрогелів желатини, отриманих за допомогою оптичного мікроскопу (збільшення в 4 рази)

Обговорення результатів. Як видно з рис.2та рис.3 концентраційна залежність модуля зсуву гідрогелю желатину, що попередньо був витриманий в постійному магнітному полі та зображення поверхневих шарів відрізняється від концентраційної залежності та зображень поверхневих шарів необробленого гідрогелю желатину. Пояснення цьому ефекту може полягати в наступному. Як відомо, при застиганні желатинового гелю структура являє собою сітку, вузли якої з'єднують переплутані потрійні спіралі. При малих концентраціях комірки сітки мають більші розміри, тобто в структурі переважає м'яка фаза. При перевищенні деякої концентрації співвідношення між фазами змінюється і структуру можна віднести до твердого розчину заміщення, в якому кількість твердої фази перевищує кількість м'якої[8,9]. Як видно з рис.1.такий умовний поділ характерний для ділянок від 0 до15% та від 15%до 25%. Схема гідрогелю желатину, що відноситься до рідкої сітки (рис.4а), так і до твердого розчину заміщення (рис.4б) наведено на малюнках.

Перебування гідрогелю желатину в магнітному полі сприяє переорієнтації розмірів комірок за рахунок вільних кінців ланцюгів, що знаходяться в комірці. Під дією магнітного поля змінюється кут розвороту сегмента ланцюга, що знаходиться в спин-склоподібному стані [5]. Зміна форми комірки приводить до зростання модуля зсуву. На рис.5. схематично зображено структури гідрогелю желатину, обробленого магнітним полем: а – рідка сітка (концентрація 5-15%), б- твердий розчин заміщення (концентрація 15-25%).

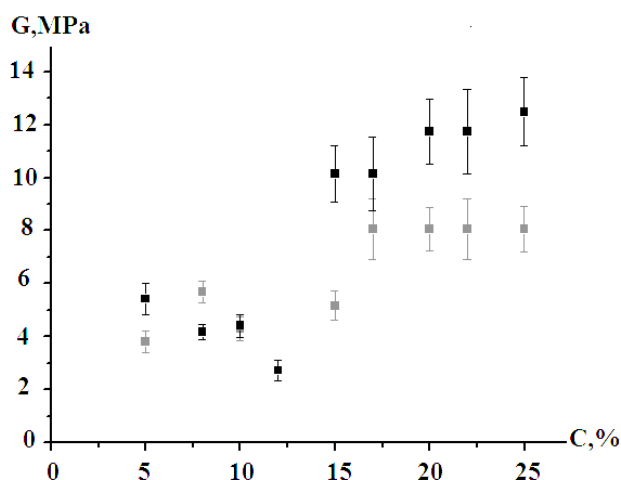


Рис. 2. Концентраційна залежність модуля зсуву гідрогелю желатини G , що був оброблений (чорні квадрати) та необроблений (сірі квадрати) магнітним полем

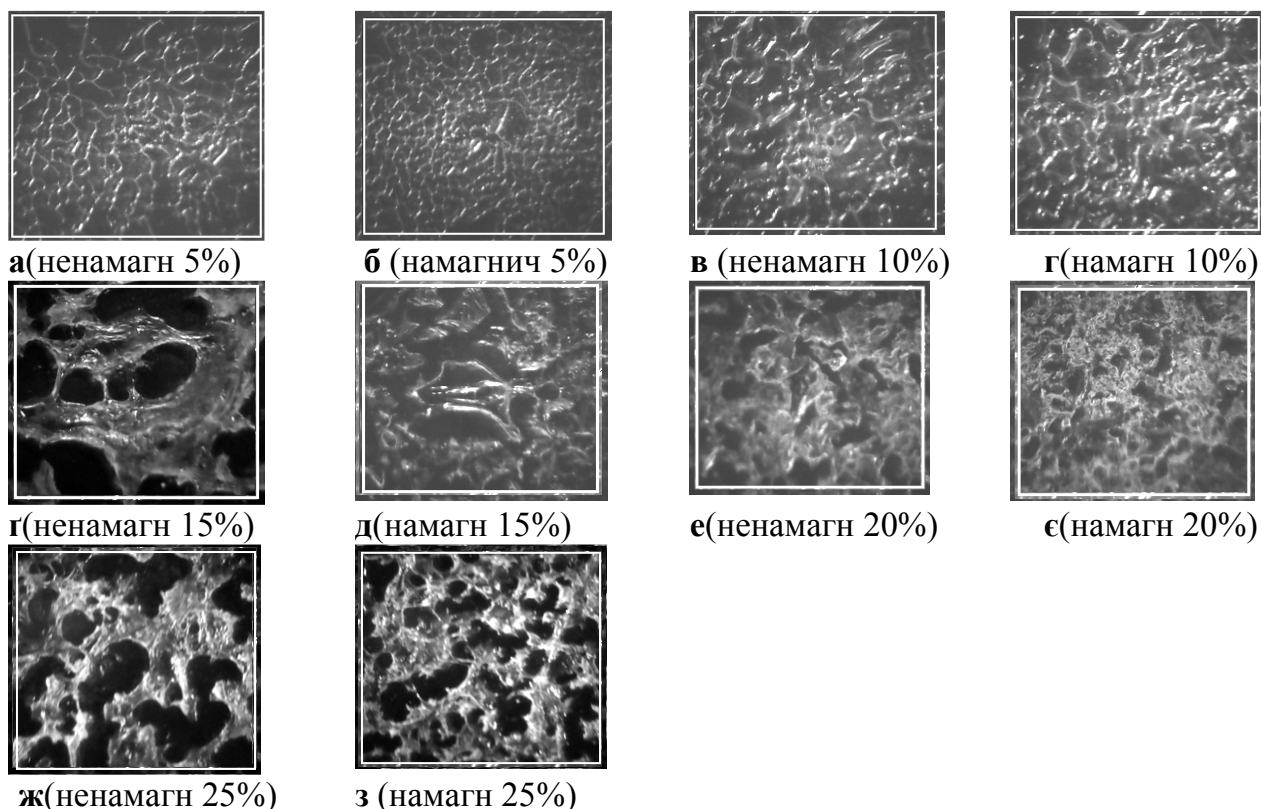


Рис. 3. Зображення поверхневого шару досліджуваних гідрогелів желатину, отриманих за допомогою оптичного мікроскопу: а, в, г, е, ж – ненамагнічені зразки, б, г, д, є, з – намагнічені зразки (збільшення в 4 рази)

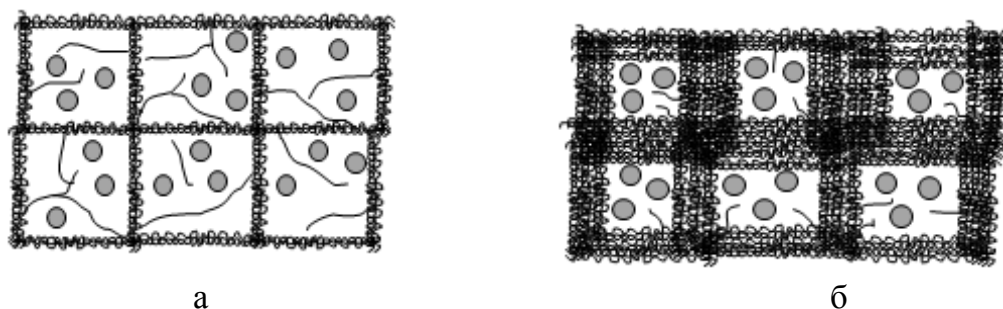


Рис. 4. Схеми структури гідрогелю желатину: рідка сітка (а), твердий розчин заміщення (б)

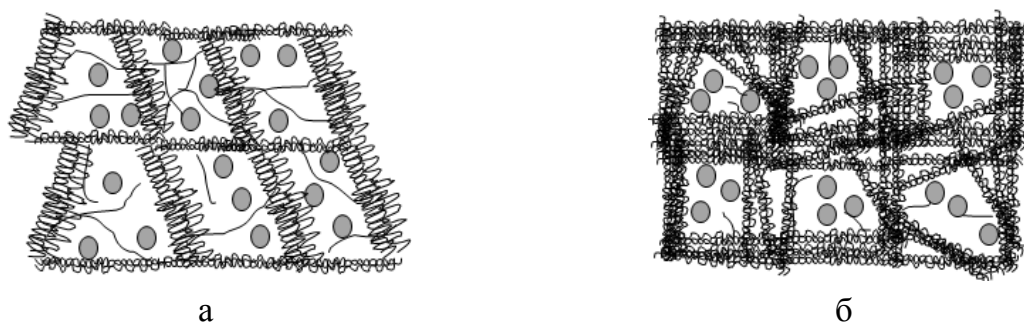


Рис. 5. Схема структури гідрогелю желатину, обробленого магнітним полем: а – рідка сітка (концентрація 5-15%) ; б- твердий розчин заміщення (концентрація 15-25%)

Висновки. В роботі експериментально досліджені концентраційні залежності модуля зсуву гідрогелів желатину, що були попередньо оброблені та необроблені в постійному магнітному полі.

Запропоновано молекулярний механізм утворення гелевої структури в магнітному полі, що пов'язаний із зміною форми комірки за рахунок подібності геля желатину до структури спинового скла. Результати досліджень можуть бути використані при розробці регенеруючих засобів, що використовуються в отоларингології.

Література:

1. *Balakrishnan B, Mohanty M, Umashankar PR, Jayakrishnan A.* Evaluation of an in situ forming hydrogel wound dressing based on oxidized alginate and gelatin// *Biomaterials.* – 2005. – № 26(32). – P.6335-42.
2. *Dufalo S., Thibeault S., Wenhua LI, Xiao Zheng Shu, Prestwich G.* Vocal Fold Tissue Repair in Vivousing Suntheticextracellular Matrix // *Tissue Engineering.* – 2006. – Vol. 12.(8). – P.2171-2180.
3. *Diar – Calderon P., Caballero L., Melo F., Enrione J.* Molecular configuration of gelatin-water suspensions at Low concentration// *Food Hydrocolloids.* – 2014. – №39. – P. 171-179.
4. *Conroy J., Power M., Norris P.* Application for Sol-Gel- Derived Materials in Medicine and Biology// *Journal of Laboratory Automation.* – 2000. – Vol. 5(1). – P. 52-57.
5. *Parker A., Normand V.* Glassy dynamic of gelatin gels // *Soft Matter.* – 2010. – №6. – P. 4916-4919.
6. Булавін Л. А., Актан О. Ю., Забаїшта Ю. Ф., Ніколаєнко Т. Ю. Пат. 78094 Україна, МПК ⁷ G01N11/16. Спосіб визначення реологічних характеристик консистентних рідин // Опубл.15.02.2007, Бюл.№2.
7. Булавін Л. А., Актан О. Ю., Ніколаєнко Т. Ю., Шейко Н. Л., Мягченко Ю. О. Компьютеризация метода крутильныхколебаний // *Приборы и техника эксперимента.* – 2007. – № 3. – С. 164 – 165.
8. Булавін Л. А., Актан О. Ю. Механизм растворения полимерных кристаллов, приводящий к образованию коллоидного раствора // *Дисперсные системы. XXI научная конференция стран СНГ, 20-24 сент.2004г., Одесса, Украина // Тез.докл.-Одесса: Астропринт, 2004. – С. 65-66.*
9. *Актан О. Ю., Сердюк Н. П., Шейко Н. Л.* Мікроскопічний механізм утворення полімерного колоїдного розчину// *Вісник Київського університету. Серія: фізико-математичні науки.* – 2006. – Вип. 3. – С.395-398.

Vergun L. Yu.

Viscoelastic of gelatine hydrogels under the action of a constant magnetic field

SUMMARY

The influence of the magnetic field on the properties of gelatinhydrogels with different concentrations from 5 to 25% is studied for the purpose of application of research results for the establishment of molecular mechanisms of regeneration of damaged connective tissue in the process of stabilization of the configurational changes of the helical and spiral domains during complexation with biomolecules. The torsion pendulum is used to determine the rheological characteristics of the investigated system for the experimental realization of such problem. An experimental method is used to determine the shear modulus of liquid systems containing liquid and rigid phase. The essence of this method is that in the process of experiment, the frequency of oscillations of the system with a hollow tube and the frequency of oscillations of the system with a tube, which is filled with the investigated liquid system, is measured. The shear modulus is determined at comparing the obtained results,. The concentration dependences of the shear modulus of gelatine hydrogels, which were previously treated with a constant magnetic field with an induction of 0.43 mT, and hydrogels not in the magnetic field were obtained. It was established that the treatment of hydrogels by a magnetic field affects the value of the shear modulus in comparison with hydrogels which were not in a magnetic medium. The mechanism for changing the structure of the investigated system under the action of a magnetic field is proposed, which consists in the possibility of reorientation of the grid cells in the structure of the hydrogel. Using an optical microscope to compare the obtained results, an image of the surface layers of the objects of study was obtained. The diagrams of sections of the structure of gels corresponding to the structure of the liquid network (concentration of gelatine from 0% to 15%) and the structure of the solid solution of substitution (concentration of gelatine from 15% to 25%) are presented. The hypothesis that under the influence of a magnetic field an increase in the contents of a dissolved substance changes the volume of a cell filled with solvent molecules.

Keywords: hydrogel gelatin, torsion pendulum, shear modulus, magnetic field, surface layer, solid solution of substitution

Вэргун Л. Ю.

Вязкоупругость желатиновых гидрогелей под действием постоянного магнитного поля

АНОТАЦІЯ

Експериментально досліджуються вязкоупругі властивості желатинових гідрогелів з концентраціями від 5 до 25% , які були попередньо оброблені постійним магнітним полем з індукцією 0.43 мТл. Показано, що обробка гідрогелів магнітним полем впливає на величину модуля сдвига по порівнянню з гідрогелями, які не перебували в магнітній середі. Висунута гіпотеза про те, що під дією магнітного поля збільшення вмісту розчиненого речовини змінює об'єм ячеї, заповненої молекулами розчинника.

Ключевые слова: гидрогель желатина, крутильный маятник, модуль сдвига, магнитное поле, твёрдый раствор замещения