

# ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Inagamov S. Y.*

*Doctor of Chemical Sciences, Professor  
The Tashkent pharmaceutical Institute*

*Mukhamedov G. I.*

*Doctor of Chemical Sciences, Professor  
Rector of the Chirchik State Teachers' Institute*

## STRUCTURE AND REOLOGICAL PROPERTIES OF POLYCOMPLEX GELS CARBOXYMETHYL CELLULOSE WITH UREINOFORMALDEHYDE OLIGOMERS

*Инагамов Сабитджан Якубжанович*

*Доктор технических наук, профессор  
Ташкентский фармацевтический институт*

*Мухамедов Гафуржан Исраилович*

*Доктор химических наук, профессор  
Ректор Чирчикского Государственного педагогического институт*

## СТРУКТУРА И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКОМПЛЕКСНЫХ ГЕЛЕЙ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ С МОЧЕВИНОФОРМАЛЬДЕГИДНЫМИ ОЛИГОМЕРАМИ

**Summary.** The rheological properties of polycomplex gels of sodium carboxymethylcellulose with urea-formaldehyde oligomers with different ratios of components and the structural properties of polycomplexes are studied. The physicochemical and technological properties of polycomplex gels with the possibility of their application in pharmacy are evaluated.

The nature of the formation of polycomplexes is investigated by IR spectroscopy. The possibility of regulating the structure of supramolecular formations of PC and PCG based on Na-CMC and MFO by varying the ratio of components, when as a result of self-organization of macromolecules in the process of PC formation, nanostructures with regulated nanoscale sizes are formed. The rheological properties of PKG water systems under high shear stresses are studied. The formation of a PC Na-CMC with MFO leads to a significant change in the rheological properties of water systems Na-CMC: the degeneration of the thixotropic effect, a decrease in structural strength properties, and a change in the size of structural elements.

**Аннотация.** Изучены реологические свойства поликомплексных гелей натрия карбоксиметилцеллюлозы с мочевиноформальдегидными олигомерами с различным соотношением компонентов и структурные свойства поликомплексов. Оценены физико-химические и технологические свойства поликомплексных гелей с возможностью применения их в фармации.

Методом ИК-спектроскопии исследована природа формирования поликомплексов. Показана возможность регулирования строения надмолекулярных образований ПК и ПКГ на основе Na-КМЦ и МФО путем варьирования соотношения компонентов, когда в результате самоорганизации макромолекул в процессе формирования ПК образуются наноструктуры с регулируемыми наноразмерами. Изучены реологические свойства водных систем ПКГ в условиях высоких напряжений сдвига. Формирование ПК Na-КМЦ с МФО приводит к существенному изменению реологических свойств водных систем Na-КМЦ: вырождению тиксотропного эффекта, снижению структурных прочностных свойств, изменению размеров структурных элементов.

*Key words: polycomplex, polycomplex gels, sodium carboxymethylcellulose, urea-formaldehyde oligomer, structure, properties, rheology.*

*Ключевые слова: поликомплекс, поликомплексных гелей, натрийкарбоксиметилцеллюлозы, мочевиноформальдегидный олигомер, структура, свойства, реология.ческие*

В настоящее время большой научный и практический интерес представляет изучение способности многих водорастворимых природных и синтетических полимеров образовывать устойчивые продукты кооперативных реакций между разнородными полимерами, называемые полимерными комплексами (ПК) [1-3]. В аспекте решения этой проблемы наибольший интерес представляют продукты взаимодействия природных полимеров с олигомерами, формирующие поликомплексные гели (ПКГ). ПКГ

являются перспективными продуктами в фармации и находят все более широкое применение в качестве загустителей и стабилизаторов суспензий, пролонгаторов действия лекарственных веществ, пленкообразователей для капсул и таблеток, в качестве основы для мазей и других мягких лекарственных форм, поскольку обнаруживают ряд уникальных и наиболее ценных свойств [4-11].

Возможность независимой вариации условий формирования, соотношения реагентов и их молекулярного строения по существу является

основой для управления процессом формирования и получения ПКГ с заданным комплексом свойств [12-16].

Весьма интересными и перспективными в этом аспекте представляют макромолекулярные комплексы на основе натрий карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) (полианиона) и синтетических мочевиноформальдегидных олигомеров (МФО) линейного строения (поликатионов), формирующие в водных системах ПКГ. Строение производного природного полисахарида целлюлозы – Na-КМЦ, наличие в его макромолекулах полярно-функциональных групп, обуславливающих интенсивные межмолекулярные взаимодействия, высокая степень ориентации этого жесткоцепного полимера определяет его способность проявлять свойства матричного носителя и комплексообразователя с мочевиноформальдегидными олигомерами.

Большой интерес вызывает уникальная особенность строения систем ПКГ на основе Na-КМЦ и МФО систем, где в результате самоорганизации макромолекул в процессе формирования ПК образуются наноструктуры с регулируемыми наноразмерами [17]. Такая особенность систем ПК создает возможность молекулярного проникновения их лекарственных соединений на клеточном уровне, что позволяет использовать их в качестве носителей лекарственных систем с направленными транспортными свойствами. Консистенция и нормальность структурно-механических параметров основ на базе ПКГ обеспечивает оптимальную биологическую доступность лекарственных веществ, легкое, безболезненное нанесение мази на кожу, слизистые и др [18]. Необходимо отметить, что составляющие компоненты ПК и ПКГ являются

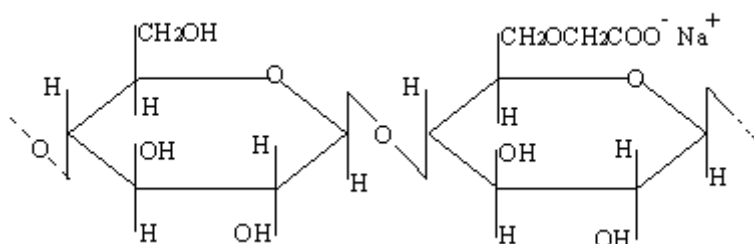
крупнотоннажными, доступными и дешевыми полимерами местного происхождения [19].

В научном плане интерес к данным объектам объясняется сложностью строения комплекса систем этих полимеров, а в практическом плане эти исследования актуальны в связи с возможностью применения их в фармации в качестве основ для мазей и мягких лекарственных форм [20, 21].

В связи с этим представляет интерес изучение целого комплекса свойств ПК и ПКГ, который обусловлен специфическими взаимодействиями в высокомолекулярных матрицах. В этом аспекте наиболее интересным явилось исследование структуры ПК и структурно-механических, реологических свойств концентрированных водных систем поликомплексных гелей «Na-КМЦ и МФО», исследование поведения ПКГ в условиях высоких напряжений сдвига, изучение влияния состава ПКГ на процесс вязкого течения, поскольку именно реологические параметры наиболее чувствительны к изменениям структуры ПКГ.

**Цель статьи.** Целью настоящего исследования явилось изучение структуры и свойств ПК и ПКГ на основе «Na-КМЦ-МФО» при варьировании соотношения компонентов, а также реологических свойств концентрированных водных систем ПКГ, изучение изменения размеров структурных нанобразований ПК и ПКГ при изменении состава и в процессе деструктурирования их концентрированных систем в условиях высоких напряжений сдвига, изучение физико-химических и технологических свойств ПКГ.

В качестве основного объекта исследования использовали очищенную Na-КМЦ Наманганского химического завода, полученную методом гетерогенной твердофазной этерификации сульфитной древесной целлюлозы монохлоруксусной кислотой (МХУК) следующего строения:



со степенью замещения (СЗ) 70 и степенью полимеризации (СП) 450, по ГОСТ 5.588-79. При использовании Na-КМЦ повторно очищали от низкомолекулярных солей по методике, приведенной в работе [17].

Na-КМЦ – слабая поликислота, константа диссоциации ее зависит от СЗ. При изменении СЗ от 10 до 80 константа диссоциации изменяется от  $5,25 \cdot 10^{-7}$  до  $5 \cdot 10^{-5}$ . Na-КМЦ представляют собой белый или слегка желтоватый порошкообразный или волокнистый продукт без запаха с насыпной массой 400 – 800 кг/м<sup>3</sup>, плотностью 1,59 г/см<sup>3</sup>.

Показатель преломления равен 1,515. Температура размягчения Na-КМЦ 170°C, при более высокой температуре она разлагается. Na-КМЦ растворима в холодной и горячей воде. Образуют высоковязкие водные растворы. В водных растворах является полиэлектролитом. Na-КМЦ разрешена для широкого применения в медицине и фармации [17,18].

В работе использовали мочевины марки чистый для анализа (ч. д. а.), без дополнительной очистки, ГОСТ 6691-77. В работе был использован формалин марки «ФМ» (30-40%-ный раствор

формальдегида в воде содержание метанола 7-12%), концентрацию формальдегида в растворе определяли методом оксимного титрования [14].

Использованы промышленные мочевино-формальдегидные олигомеры марки КФМТ (карбамидно-формальдегидная малотоксичная смола) и КФЖ (карбамидно-формальдегидная жизнеспособная смола) представляющая собой 60-70 % -ный раствор, содержащий продукты конденсации мочевины и формальдегида. Продукт соответствует ГОСТу 14231 – 78.

Реакцию между мочевиной и формальдегидом проводили в интервале рН от 3,3 до 8,8 вводя мочевины и формальдегид при мольном соотношении 1:1,3 – 2, соответственно. Для этого к раствору формальдегида (рН =3,3) добавляли аммиак (NH<sub>4</sub>СН, 0,1-0,3 моля по отношению к мочеvine) до значения, равного 6 рН среды, затем добавляли мочевины при температуре 35-400С.

Использовали растворы Na-КМЦ в бидистиллированной воде концентрации от 0,01 до 0,4 осн.моль/л. Реакционные смеси требуемых концентраций готовили смешением растворов реагентов в соответствующей пропорции при комнатной температуре и рН 7,5-7,8. В этих условиях в течении длительного времени не наблюдается поликонденсации мочевины и формальдегида в присутствии Na-КМЦ. В то же время при добавлении низкомолекулярных кислот, например, фосфорной или соляной кислоты при рН от 2 до 3, наблюдается образование ПК и ПКГ.

Плѐнки из поликомплексов получали смешиванием водных растворов компонентов Na-КМЦ и МФО в эквинормальных соотношениях при различных содержаниях компонентов и рН среды. Растворы выливали на подложку из оптического стекла и испаряли при комнатной температуре. Твердые сухие плѐнки промывали бидистиллированной воде до нейтрального значения рН, затем сушили при комнатной температуре.

Структуру полученных продуктов устанавливали, используя методы ИК-спектроскопии и электронной микроскопии. ИК-спектры в интервале 400–4000 см<sup>-1</sup> регистрировали на спектрофотометрах «NIKOLET Magna- 560 IR» и «Specord-75IR» (Карл Цейс, ГДР). Образцы для ИК-спектроскопии готовили в виде таблеток с KBr, пленок на пластинке KRS-5 и пленок толщиной 8–12 мкм. Пленки на пластинке KRS-5 получали испарением растворителя (воды) при комнатной температуре (22–24оС).

Исследование реологических свойств концентрированных систем поликомплексных гелей проводили на ротационном вискозиметре «Реотест-2» (Германия) в системе коаксиальных цилиндров в интервале напряжений 2-380 Па и скоростей сдвига от 1,5 до 13\*10 см<sup>-1</sup> при различных температурах. По результатам реологических исследований определялся «вязкостный объем» V\* . V\* рассчитывали по формуле [23]:

$$V^* = \{2K[E_k/R - (1g\eta - 1gA_\tau)T]\}/\tau$$

где К-константа Больцмана, R-универсальная газовая постоянная, τ-напряжения сдвига, T- абсолютная температура, A<sub>τ</sub>- предэкспоненциальный множитель, E<sub>k</sub> - кажущаяся энергия активации определяемая из тангенса угла наклона зависимости lgη =f(T). Величиной A<sub>τ</sub> пренебрегают из-за очень маленького значения.

**Результаты и их обсуждение.** Анализ ИК-спектров Na-КМЦ и МФО показывает, что компоненты поликомплексов являются полифункциональными, присутствие в их макромолекулах -NH<sup>+</sup> (1290 см<sup>-1</sup>), -NH<sub>2</sub> (1590 см<sup>-1</sup>) (МФО); -COO (1410, 1600 см<sup>-1</sup>), -COOH (Na-КМЦ) групп придаёт этим полимерам характерные свойства полиэлектролитов [24,25]. При смешении водных растворов Na-КМЦ и МФО образуются поликомплексы, а в более концентрированных растворах (0,4 осн.моль/л) образуются ПКГ стабилизированные ионными связями между карбоксилатанионами Na-КМЦ и аминогруппами МФО, о чем свидетельствует смещение полос поглощения 1600 см<sup>-1</sup> и 1410см<sup>-1</sup> на 10-20 см<sup>-1</sup> [14].

Наблюдаемые изменения надмолекулярной структуры пленок на основе полученных ПК (с 9%-ным содержанием влаги) по мере увеличения в них содержания МФО можно особенно наглядно проследить методом электронной микроскопии [2]. Фибриллярная структура Na-КМЦ с введением МФО претерпевает изменения, сопровождающиеся образованием протяженных клубкообразных пористых структур, соответствующих продукту взаимодействия из нескольких десятков макромолекул. Размер клубкообразных сферических частиц колеблется в пределах от 200 А° до 400 А°. Дальнейшее увеличение содержания МФО в ПК приводит к формированию гетерогенной структуры, свидетельствующей об образовании двух фаз – поликомплекса и МФО [2].

Для описания течения ПКГ, изучения их реологических свойств использовались характеристики, получаемые в условиях сдвигового течения: определение функциональной зависимости lgη=f(lgτ), где η-динамическая вязкость системы, τ-напряжение сдвига [26]. Графически указанная функция выражается кривой течения при температурах (298-343 К) и напряжениях сдвига до 380 Па. Изучены кривые течения водных растворов Na-КМЦ и ее ПКГ с МФО с соотношением компонентов (4:1) и (1:1).

Для исследования структурно-механических свойств растворов Na-КМЦ и систем ПКГ с помощью ротационного вискозиметра (сначала при увеличении, затем при уменьшении скорости вращения) были получены реограммы, приведенные на рис.1 и 2.

Как видно, растворы Na-КМЦ проявляют тиксотропные свойства - явно выраженный характер неньютоновского вязкого течения. С позиций современных представлений о растворах производных целлюлозы в различных

растворителях тиксотропные свойства растворов этих веществ обусловлены особенностью получения и спецификой структуры исходной целлюлозы, на основе которой они приготовлены [27].

Необходимо отметить, что такой тиксотропный эффект в этих условиях для исследуемых систем является функцией времени, поэтому для получения сравнимых результатов все условия опыта были стандартизованы [17].

Как видно из рисунков (рис.1 и 2) на реограммах проявляется четкий «гистерезисный эффект», что также свидетельствует о тиксотропии раствора Na-КМЦ. Концентрированные растворы исследуемой Na-КМЦ, как и растворы многих других высокополимерных соединений, являются неньютоновскими жидкостями. Процесс комплексообразования макромолекул Na-КМЦ с МФО приводит к существенным изменениям структуры полимерной матрицы производных целлюлозы, что приводит соответственно, к изменению реологических свойств системы водных растворов (рис.3 и 4). Для эквиконцентрированных растворов ПКГ вязкостные параметры и величины критических напряжений сдвига существенно уменьшаются. Причем для систем ПКГ Na-КМЦ с МФО с соотношением компонентов 1:1 эти параметры уменьшаются в большей степени, чем для систем с соотношением 4:1. Эти системы ведут себя в большей степени как обычные псевдопластики. Исследуемые полимерные комплексы получены путем смешения готовых взаимодействующих компонентов в общем растворителе (воде). В результате образуются так называемые комплексы смешения. При смешении Na-КМЦ (жесткоцепного высокоориентированного полимера) с олигомером

(значительно более низкомолекулярным компонентом комплекса) образуются высокоориентированные полимерные комплексы, в которых высокомолекулярная матрица «контролирует» организацию полимерных ассоциирующих систем и их комплиментарность. Важной чертой систем «матрица-олигомер» является способность к самоорганизации [27], которая выражается в нестатистическом распределении цепочек олигомера между матрицами, стремлении коротких цепей по возможности более плотно упаковаться вдоль длинной макромолекулы матрицы. Это ведет к тому, что в предельном случае часть матриц будет полностью занята. Такой эффект, по всей видимости, определяет различие в реологическом поведении систем ПКГ с соотношением компонентов (1:1) и (4:1). Так для систем состава (4:1) избыток содержания Na-КМЦ приводит к частичному, очень малому сохранению тиксотропного эффекта и к некоторому повышению вязкостных свойств по сравнению с системами (1:1). Как показывают результаты, ПКГ обнаруживают новые свойства, отличные от свойств составляющих компонентов (рис. 3 и 4). Так для ПКГ, исследованных в настоящей работе, тиксотропные свойства практически вырождаются при одновременном заметном снижении вязкостных характеристик (рис.3,4). Температурная зависимость вязкости для систем Na-КМЦ и ПКГ для исследованных соотношений компонентов в диапазоне температур (298-343 К) описывается уравнением Аррениуса-Френкеля [25,26] :  $\eta = A * e^{\Delta E_k / R}$ , где  $\Delta E_k$  - кажущаяся энергия активации вязкого течения; R- универсальная газовая постоянная (рис.5).

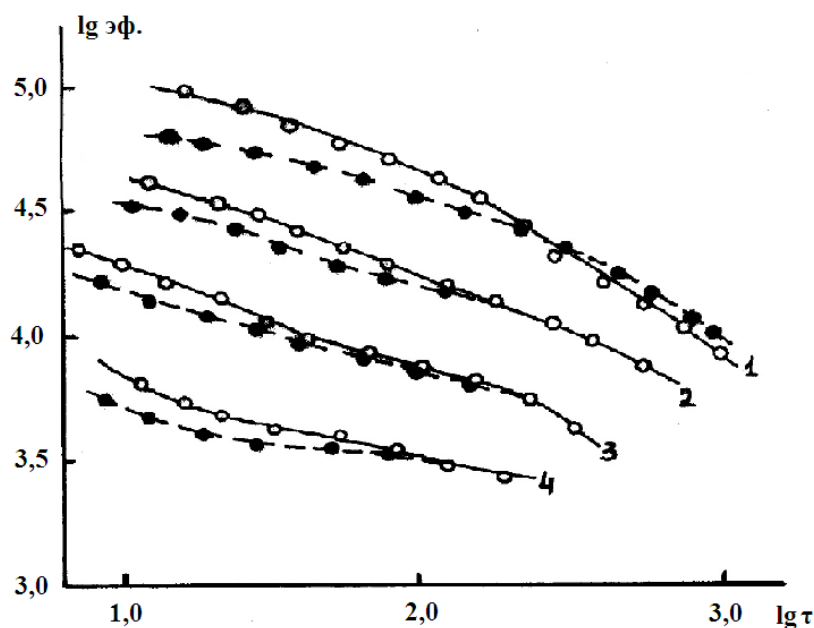


Рис. 1. Кривые течения водных растворов Na-КМЦ при различной температуре T(K): 1 - 298, 2 - 313, 3 - 328, 4 - 343.

(Штриховые линии - гистерезисные отклонения вязкости, то же для рис.3,4,5).

$\eta_{эф}$  - вязкость (Па·с),  $\tau$  - напряжение сдвига (Па).

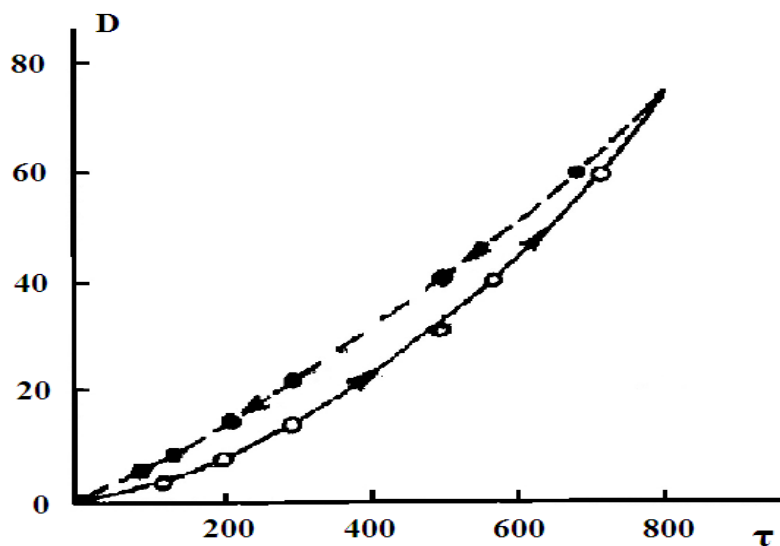


Рис.2 Реограмма концентрированного раствора Na-КМЦ.  
D - скорость сдвига ( $s^{-1}$ ),  $\tau$  - напряжение сдвига (Па).

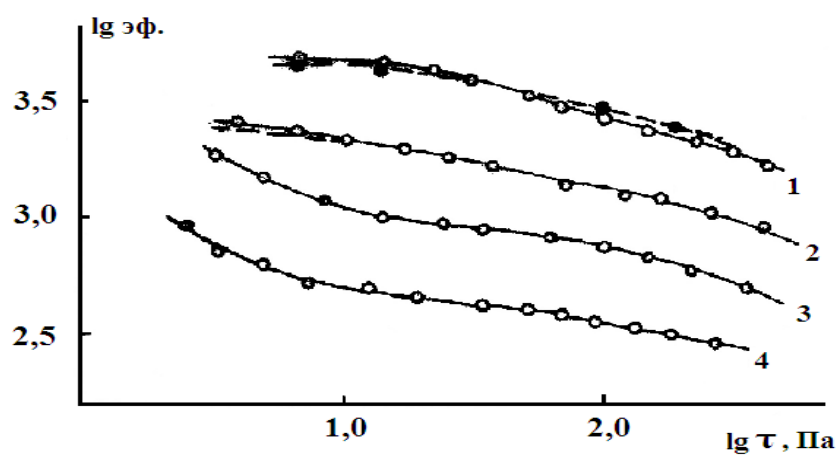


Рис.3. Кривые течения концентрированных систем ПКГ Na-КМЦ с МФО (1:1) при различной температуре T(K): 1 - 298, 2 - 313, 3 - 328, 4 - 343.

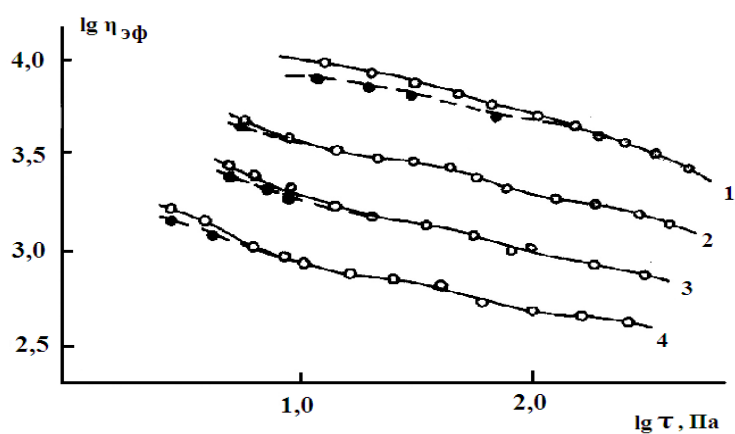


Рис.4. Кривые течения концентрированных систем ПКГ Na-КМЦ с МФО (4:1) при различной температуре T(K): 1- 298, 2 - 313, 3 - 328, 4- 343.

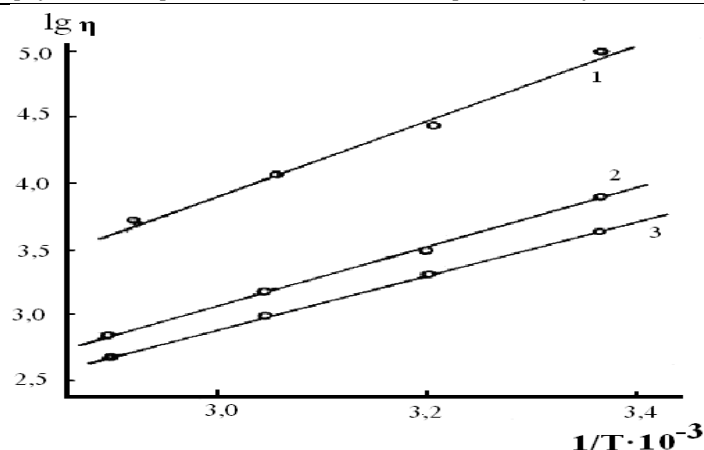


Рис.5. Зависимость  $\lg \eta$  от  $1/T$  концентрированных растворов Na- КМЦ (1) и поликомплексных гелей Na-КМЦ –МФО с соотношением компонентов 4:1 (2) и 1:1 (3).

Исследования показали, что растворы Na-КМЦ более структурированы, имеют более высокие вязкостные характеристики, величины критических напряжений сдвига, величины энергии активации вязкого течения  $\Delta E_k = 55,7$  кДж/моль. Значение величин  $\Delta E_k$  для ПКГ, являющейся мерой интенсивности межмолекулярного взаимодействия макромолекул в растворах, иначе говоря, косвенной характеристикой прочности структуры в растворах, составляет для ПКГ Na-КМЦ с МФО с соотношением компонентов 1:1  $\Delta E_k=43,13$  кДж/моль, а для комплекса 4:1  $\Delta E_k=45,96$  кДж/моль. Комплексообразование Na-КМЦ, содержащего функциональные группы – карбоксилатанионы, гидроксильные и другие, с МФО приводит к созданию полимерных ассоциирующих систем, в которых интенсивность межмолекулярного взаимодействия существенно ниже, чем в растворах Na-КМЦ, вследствие чего прочность структур заметно снижается, а также уменьшаются вязкостные характеристики. Структура поликомплекса, непосредственно связанная с химической природой полимерных компонентов, определяет вырождение тиксотропных свойств у ПКГ вследствие поверхностного экранирования макромолекул и молекулярных ассоциатов Na-КМЦ олигомерными организованными упаковками и последовательностями на полимерных матрицах.

Взаимодействие химически и структурно-комплементарных макромолекул носит кооперативный характер. При этом образуется линейная (одномерная) последовательность однотипных межцепных связей, характерная для кооперативных систем простейшего типа. По-видимому, возможно образование общей кооперативной системы одновременно двух или более типов связей, например ионных и водородных [28]. Большие напряжения сдвига приводят к коренным изменениям в исходной

структуре ПКГ. Каждому напряжению отвечает определенная начальная структура материала, и элементарный акт течения состоит в перескоке сегментов цепи из нового исходного состояния в активированное. Как видно из кривых течения (рис.1,3-4), высокие напряжения приводят к существенному снижению вязкостных свойств, и соответственно, изменению структуры поликомплексных систем.

По результатам реологических исследований были оценены структурные параметры - величины «вязкостных объемов»  $V^*$  [23] для водных систем ПКГ Na-КМЦ с МФО и для растворов Na-КМЦ (табл 2). Величины  $V^*$ , являющиеся мерой оценки размеров и подвижности структурных элементов, а также поперечные размеры структурных элементов ( $d$ ) для растворов Na-КМЦ имеют несколько меньшие значения, чем для растворов комплексных систем. Такое увеличение размеров ассоциатов подтверждает факт комплексообразования анионного производного целлюлозы с поликатионными МФО. Как показывают результаты (табл.2), с увеличением температуры происходит увеличение  $V^*$  для растворов Na-КМЦ и ПКГ, что объясняется разворачиванием макромолекул и облегчением межмолекулярных взаимодействий, в результате которых размеры ассоциатов ПКГ возрастают. При возрастании напряжений сдвига происходит постепенное разрушение структурных ассоциатов надмолекулярного порядка и, соответственно, ассоциатов ПКГ. При малых напряжениях сдвига (до 10 Па) размеры структурных ассоциатов ПКГ превосходят размеры структурных ассоциатов Na-КМЦ, при больших напряжениях сдвига (до 158,8 Па) величины разрушенных ассоциатов Na-КМЦ несколько превосходят по размерам разрушенные ассоциаты ПКГ. Из этого можно предположить, что под действием высоких сдвиговых напряжений разрушаются не только макромолекулярные ассоциаты ПКГ, но и сами поликомплексы.

**Изменение  $V^*$  от температуры и напряжение сдвига ( $\tau$ ) для растворов  
Na-КМЦ и ПКГ**

$\tau$ , Па	Т, К	Na-КМЦ		ПКГ(1:1)		ПКГ(4:1)	
		$V^* \cdot 10^{23} \text{m}^3$	$d \cdot 10^9$	$V^* \cdot 10^{23} \text{m}^3$	$d \cdot 10^9$	$V^* \cdot 10^{23} \text{m}^3$	$d \cdot 10^9$
10	298	927.2	210	1271	233.4	1340.6	237.5
	313	971.1	213	1328	237.0	1418.9	242
	328	1013.0	216.4	1399	240.9	1474.3	245
	343	1066.6	220.1	1464	245.0	1548.1	249
158.5	298	98.3	99.4	84.1	94.4	89.1	96.3
	313	102.4	100.8	87.4	95.6	93.4	97.8
	328	106.2	102.0	90.9	96.9	96.6	99.2
	343	110.5	103.4	95.2	98.4	98.5	99.5

Таким образом, комплексообразование производного целлюлозы - Na-КМЦ с синтетическими олигомерами позволяет регулировать структуру полимерных ассоциатов и их свойства. Это открывает новые пути получения комплексов Na-КМЦ с заданным строением, и сам процесс формирования комплекса можно рассматривать, как способ модификации традиционного полимера и регулирования его молекулярных размеров, что открывает новые пути рационального использования Na-КМЦ. Изучение молекулярных комплексов производного природного полимера позволяет установить роль межмолекулярных взаимодействий в возникновении особых свойств и структуры комплексов и связанных с ними физико-химических явлений.

### ВЫВОДЫ

1. Впервые исследуются ПК и ПКГ на основе Na-КМЦ - МФО. Методом ИК-спектроскопии исследована природа формирования поликомплексов. Показана возможность регулирования строения надмолекулярных образований ПК и ПКГ на основе Na-КМЦ и МФО путем варьирования соотношения компонентов, когда в результате самоорганизации макромолекул в процессе формирования ПК образуются наноструктуры с регулируемыми наноразмерами.

2. Изучены реологические свойства водных систем ПКГ в условиях высоких напряжений сдвига. Формирование ПК Na-КМЦ с МФО приводит к существенному изменению реологических свойств водных систем Na-КМЦ: вырождению тиксотропного эффекта, снижению структурных прочностных свойств, изменению размеров структурных элементов.

### Список литературы:

1. Кеменова В.А., Мустафин Р.И., Алексеев К., В., Скородинская А.М., Зезин А.Б., Тенецова А.И., Кабанов В.А. Журнал: Фармация. 1990. 3. 80.

2. Inagamov S.Ya., Mukhamedov G.I. Journal of Applied Polymer Science. 2011. 3.1749.

3. Сулейманов И.Э., Будтова Т.В., Исаков Р.М., Батирбекова Е.О., Жубанов Б.А., Бектуров Е.А. «Полимерные гидрогели в фармацевтике» Алматы-Санкт-Петербург. 2004. 210 с.

4. Мустафин, Р.И.; Бобылёва, О.Л.; Бобылёва, В.Л.; Ван ден Моотер Г.; Кеменова, В.А. Хим. Фарм. Журнал. 2010. т.44. 6. 33.

5. Мустафин, Р.И.; Кабанова, Т.В. Хим. Фарм. Журнал. 2004. т.38. 11. 39.

6. Мустафин, Р.И.; Кабанова, Т.В.; Жданова, Е.Р.; Буховец, А.В.; Гарипова, В.Р.; Насибуллин, Ш.Ф.; Кеменова, В.А. Хим. фарм. журнал. 2010. т.44. 3. 38.

7. Мустафин, Р.И.; Кабанова, Т.В.; Жданова, Е.Р.; Буховец, А.В.; Гарипова, В.Р.; Насибуллин, Ш.Ф.; Кеменова, В.А. Хим. Фарм. Журнал. 2010. т.44. 5. 39.

8. Бектуров, Е.А.; Бимендина, Л.А.; Мамытбеков, Г.К. Комплексы водорастворимых полимеров и гидрогелей. Алма-Ата, 2002.

9. Nordmeier, E; Beyer, P. J Polymer.Sci. B. 1999.v.37. 4. P.335.

10. Бакеев К.Н.; Измрудов В.А.; Зезин А.Б.; Кабанов В.А. Журнал Высокомолекулярные соединения. 1993. т.А35. 7. С.844.

11. Кабанов, В.А.; Жирякова, М.В.; Каргов, С.И.; Зезин, А. Б.; Измрудов, В.А. Журнал: Докл. РАН. 1993. т.332. 6. 722.

12. Измрудов В.А.; Сан Хюн Лим. Журнал Высокомолекулярные соединения. 1998. т.А40. 3. С.459.

13. Мухамедов, Г.И.; Хафизов, М.М.; Инагамов, С.Я. Интерполимерные комплексы, физико-химические, механические свойства и их применение. Ташкент. 2007. 172 с.

14. Инагамов, С.Я. Журнал: Фармацевтический вестник Узбекистана, 2006, 1, 30.

15. Авторское свидетельство. 1611918 (SU) 1990. СССР

16. Хафизов, М.М.; Мухамедов, Г.И.; Мирзиёев, Ш.М. Журнал Пластические массы. 2001. 3. 33.
17. Инагамов, С.Я.; Мухамеджанова, М.Ю.; Мухаммедов, Г.И. Журнал прикладной химии. 2009. Т.81. вып.2. 2. 320.
18. Сарымсаков А.А. Среднее- и низкозамещенная карбоксиметилцеллюлоза – получение, свойства и применение. Ташкент. 2005 г.
19. Инагамов С.Я., Мухамедов Г.И. Журнал композиционные метериалы. Ташкент. 2011. 2. С. 39.
20. Жубанов Б.А., Батырбеков Е.О., Исаков Р.М. Полимерные материалы с лечебным действием. Алматы: «Комплекс». 2000. 220 с.
21. Бектуров Е.А., Сулейменов И.Э. Полимерные гидрогели. Алматы: «Гылым». 2003. 240с.
22. Инагамов, С.Я. Журнал: Химия и химическая технология. 2005. 2. 56.
23. Петропавловский, Г.А. Гидрофильные частично замещенные эфиры целлюлозы и их модификация путем химического сшивания. Ленинград, 1988.
24. Тураев А.С., Шамуратов Ш.А., Мухамеджанова М.Ю., Хайтметова С.Б., Ходжакова Д.А. Журнал «Химия растительного сырья. (Россия). 2008. 4. С.35.
25. Мухамеджанова М.Ю., Ширшова Н.Ю. Рашидова С.Ш. Материалы международной конференции «Текстиль-2002». Ташкент. 2002. С.126.
26. Мухамеджанова М.Ю., Ширшова Н.Ю., Файзиева Р., Сайпиев Т., Сарымсаков А.А., Рашидова С.Ш. Материалы Международной конференции, Ташкент, «Текстиль-2002». С.126.
27. Инагамов С.Я., Мухамеджанова М.Ю., Мухамедов Г.И. «Химия растительного сырья». 2011.1. С. 61.
28. Инагамов, С.Я. Исследование некоторых свойств поликомплексной основы, полученной с помощью карбоксиметилцеллюлозы с мочевиноформальдегидными олигомерами. Труды Международной научной конференции. Алматы. 2004. С.411.