

УДК 637.528

Влияние степени нейтрализации акриловой кислоты на оптические свойства, гелеобразование и набухание продуктов полимеризации акрилата натрияД-р хим. наук **А.П. Нечипоренко**, allanech2512@yandex.ruд-р техн. наук **М.В. Успенская**, mv_uspenskaya@mail.ru**И.В. Гредюхина, Л.В. Плотникова**

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Методами инфракрасной (ИК) спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) и микроскопии исследовано влияние степени нейтрализации (0–100%) акриловой кислоты (АК) на оптические свойства растворов реакционных систем, морфологию и набухание сухих измельченных образцов продуктов синтеза – не сшитого полиакрилата натрия, используемого при производстве продуктов питания в качестве пищевой добавки. Показано, что степень нейтрализации АК заметно отражается на формировании матричной сетки полимера и эффективности процесса набухания, позволяя разбить исследуемый ряд образцов на две группы. Формирование макроструктуры гидрогелей, проявляющих способность к неограниченному набуханию, начинается с 50%-ой нейтрализации акриловой кислоты. Сухие образцы с меньшей степенью нейтрализации мономера (0–40%) при контакте с водной средой растворялись. Образцы с содержанием щелочи 50–60% представляли системы в переходном состоянии. Увеличение степени нейтрализации (70–100%) приводило к повышению плотности неограниченно набухающего гидрогеля. При микроскопическом исследовании отмечено, что склонность сухого гидрогеля к растворению и его способность к гелеобразованию проявляются в органолептических характеристиках и морфологии частиц измельченных образцов. Комплексное исследование систем реакционных дисперсий, сухих и набухших гидрогелей полиакрилата натрия, проведенное методами ИК спектроскопии НПВО и микроскопии, составило новизну работы.

Ключевые слова: полиакрилаты; гелеобразующие полимеры; инфракрасная спектроскопия акрилатов.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-2-21-31

The impact of acrylic acid neutralization degree on the optical properties, the gelation, and swelling of the sodium acrylate polymerization productsD.Sc. **Alla P. Nechiporenko**, allanech2512@yandex.ruD.Sc. **Maya V. Uspenskaya**, mv_uspenskaya@mail.ru**Lyudmila V. Plotnikova, Irina V. Gredyuhina**

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Not crosslinked sodium polyacrylate is widely used in food production as a food additive. The article investigates the effect of acrylic acid (AA) neutralization degree (from 0 to 100 %) on the optical properties of reaction systems solutions, morphology and swelling of polyacrylate synthesis dry powdered samples by IR-spectroscopy of attenuated total internal reflection (ATR) and microscopy. It is shown that AA degree of neutralization affects the formation of the matrix polymer mesh and the efficiency of swelling significantly, that allows subdividing the range of samples under investigation into two groups. The formation of hydrogel macrostructure, having unlimited swelling ability, starts at 50% neutralization of acrylic acid. Dry samples with a lesser monomer neutralization degree (from 0 to 40%) dissolve upon contact with an aqueous medium. The samples with the alkali content of 50–60% represent the systems in transient state. The increase in the neutralization degree (from 70 to 100%) leads to an increase in the density of the unlimited swollen hydrogel. Microscopic investigation shows that the solubility of the dry hydrogel and its ability to gelate influence the organoleptic characteristics and morphology of the particulate samples. A comprehensive study of the reaction dispersion systems, and sodium polyacrylate dry and swollen hydrogels by IR-spectroscopy and ATR microscopy is the novelty of the research.

Keywords: polyacrylates; gel-forming polymers; infrared spectroscopy of acrylates.

Введение

Гелеобразующие влагоабсорбционные полиакрилаты [1–3] и их разнообразные модификации являются одним из наиболее востребованных видов полимеров, интерес к которым и производство с каждым годом возрастают [4–6]. В пищевой индустрии акрилаты, производные акриловой кислоты, обладая способностью к образованию гелей (желе) при контакте с водной средой, находят широкое применение в качестве пищевых добавок [7, 8].

Одной из важных узнаваемых характеристик пищевых продуктов, наряду с цветом, ароматом и вкусом, является их консистенция. Акрилаты, относящиеся к классу синтетических пищевых добавок, позволяют сохранять нужную консистенцию продукта на протяжении длительного времени – в процессе производства, упаковки, транспортировки или хранения. Обладая желатинизирующими свойствами, они проникли во все области пищевой промышленности [7, 8]. В качестве загустителей, гелеобразователей, стабилизаторов, регуляторов вязкости и влагоудерживателей акрилаты используются в кондитерском, молочном, хлебопекарном, мясоперерабатывающем производствах для придания продукции желаемой формы, текстуры, консистенции, сохранения продуктом мягкости, повышения адгезии сырого белка и муки. Они устойчивы к окислителям, в том числе к фруктовым кислотам, и восстановителям. Акрилаты эффективны при создании синтетических пищевых красителей, наружных покрытий для блокировки паров воды – оболочки для приготовления сырокопченых и вареных колбас.

Одним из важных факторов, влияющих на механизм и эффективность процесса желирования, которые определяются поставленной задачей, природой и составом производимого продукта, является целенаправленное регулирование величины рН в процессе синтеза полимера [1, 3, 7]. Вместе с развитием пищевой промышленности и внедрением новых технологий растет популярность пищевых добавок и интерес к ним, в том числе с точки зрения научных исследований влияния вариаций различных технологических параметров и мониторинга изменения свойств на разных этапах синтеза.

Целью данной работы явилось комплексное исследование оптических характеристик растворов реакционных систем и сухих измельченных гидрогелей полиакрилата, а также начала формирования матричной сетки полимеров и их набухания в зависимости от степени нейтрализации акриловой кислоты на начальном этапе синтеза.

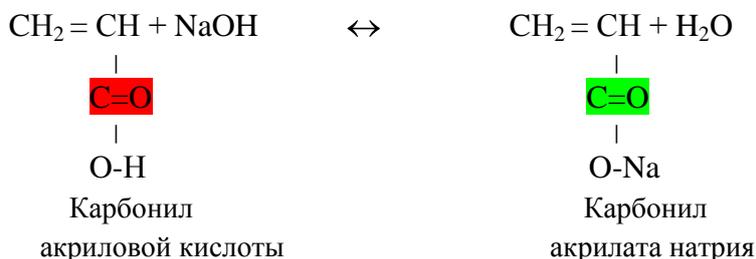
Объекты и методы исследования

Объектами данного исследования являлись растворы (дисперсии) реакционных систем и сухие измельченные гидрогели продуктов полимеризации акрилата натрия $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COONa}$ (AKNa), полученного в результате разной степени нейтрализации (от 0 до 100%, с шагом 10%) акриловой кислоты $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$ раствором 14 н NaOH. При приготовлении растворов реакционных систем методом радикальной полимеризации [9, 10] по методике [11] использовались фиксированные количества окислительно-восстановительных компонентов, инициирующих процесс полимеризации: тетраметилэтилендиамина $\text{N}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}(\text{CH}_3)_2$ (ТМЭД) и персульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (ПСА) по 30 (масс.) % без применения сшивающего агента. После высушивания при температуре 45°C полученные материалы измельчались на мельнице и диспергировались ситовым способом. Размер частиц рабочей фракции составлял 0,315–0,15 мм.

Оптические свойства растворов реакционных систем и измельченных материалов исследовались методом ИК спектроскопии НПВО [12] на ИК Фурье спектрометре Tensor II фирмы Bruker в диапазоне частот 4000–600 см^{-1} . При визуальной оценке степени набухания гидрогелей ($m = 0,0025$ г, $V_{\text{H}_2\text{O}} = 10$ мл) для повышения контрастности границы раздела фаз использован кислотно-основной индикатор кристаллический фиолетовый (Кф) с $\text{pK}_a = +0,8$ [13]. Фотоснимки сухих и набухших гидрогелей с увеличением – 90 получали на микроскопе МИКМед-1 (ЛОМО).

Результаты и их обсуждение

Целью данного этапа эксперимента являлось исследование влияния степени нейтрализации АК на начало формирования матричной сетки и эффективность процесса полимеризации. Исходя из уравнения



при варьировании степени нейтрализации АК раствором едкого натра в системе экспоненциально меняется соотношение остаточной АК и образовавшегося акрилата, карбонильные группировки которых являются характеристичными функционалами в ИК спектрах данных соединений. Изменение соотношения основных компонентов в результате процесса нейтрализации АК и противоположно направленного ему процессу гидролиза образовавшегося акрилата натрия [14], неизбежно должны отразиться на спектральных характеристиках как растворов реакционных систем, так и сухих гидрогелей образцов, механизме и степени их набухания.

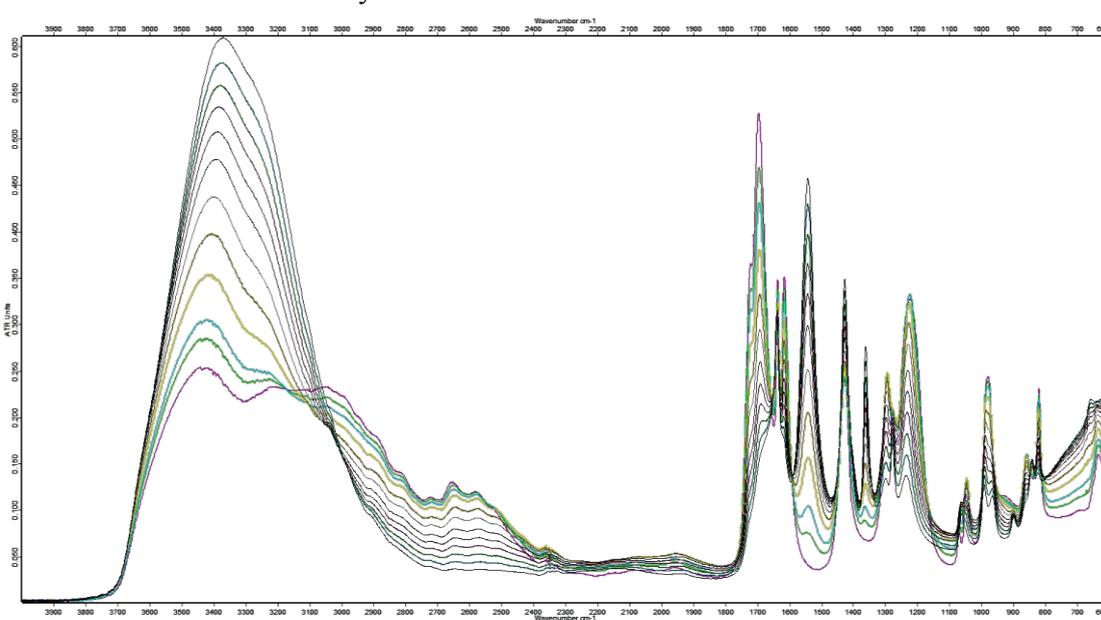


Рисунок 1 – Общий вид ИК спектров растворов реакционных систем состава: АК + X % NaOH + ТМЭД + ПСА

Рисунок 1 иллюстрирует общий вид ИК спектров растворов реакционных систем с разной степенью нейтрализации АК. Анализ и интерпретацию спектральных данных проводили на основании справочных источников [15, 16]. В спектре образца № 1 (0% NaOH) полоса при 3441 см⁻¹, представленная валентными колебаниями гидроксильных групп связанных молекул воды, с повышением степени нейтрализации испытывает низкочастотный сдвиг на 71 см⁻¹ в область 3370 см⁻¹, увеличиваясь при этом по интенсивности. Валентные колебания –СН_n группировок всех компонентов рассматриваемых композиций дисперсий входят в состав полос средней интенсивности в области 3200–2500 см⁻¹.

Характеристическим колебаниям карбониллов АК и АКNa для данной серии дисперсионных систем отвечают достаточно стабильные по положению полосы, соответственно 1692 и 1542 см⁻¹. Зависимости, представленные на рисунке 2, отражают характер изменения их интенсивности в исследуемом ряду –

увеличение поглощения для карбонила акрилата натрия как продукта нейтрализации АК (кр. 1) и падение для карбонила карбоксильной группы (кр. 2).

Интенсивности обеих полос выравниваются при степени нейтрализации АК примерно равной 50%. Увеличение интенсивности полосы поглощения 1692 см^{-1} при 100% нейтрализации может быть связано с процессом гидролиза акрилата натрия [17]. Поглощение, обусловленное валентными колебаниями связанных ОН-групп молекул воды (кр. 3), возрастая с увеличением количества введенной в систему щелочи, изменяется синхронно с ростом содержания акрилата натрия. А низкочастотный сдвиг полосы 3441 см^{-1} указывает на образование молекулами воды водородной связи с карбонильными группами образующегося АКNa.

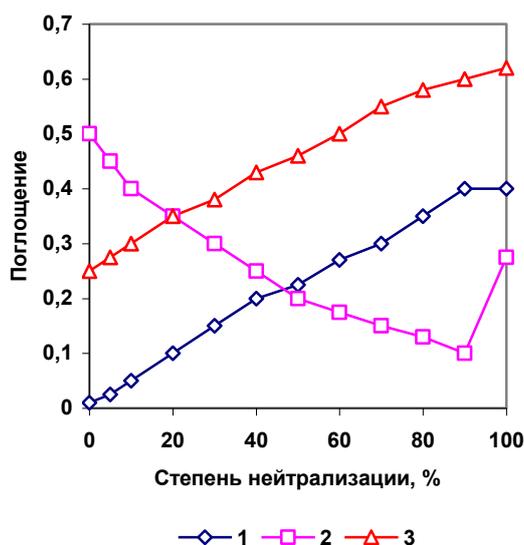


Рисунок 2 – Изменение интенсивности контролируемых полос в зависимости от степени нейтрализации АК в растворах реакционных систем: 1 – 1542 см^{-1} ; 2 – 1692 см^{-1} ; 3 – 3441 см^{-1} .

Общий вид ИК спектров измельченных образцов сухих гидрогелей в зависимости от степени нейтрализации АК представлен на рисунке 3. Широкая полоса средней интенсивности $3600\text{--}3500\text{ см}^{-1}$ с максимумом при 3543 см^{-1} в спектре образца № 1 принадлежит валентным колебаниям свободных ОН-групп молекул воды. Полоса $3200\text{--}3100\text{ см}^{-1}$ может быть отнесена как к связанным ОН-группам молекул воды, так и ОН-группам димеров самой АК. За дифференцированную и стабильную по положению полосу с максимумом 3044 см^{-1} ответственны СН-группировки при двойной связи $=\text{CH}$ (ν_{CH}). В ее состав могут входить СН-группы АК, (АКNa), бензольного кольца гидрохинона – антиоксиданта, вводимого в АК как ингибитора процесса ее полимеризации, так и малеиновой кислоты – продукта распада гидрохинона [17].

Полоса 3543 см^{-1} смещается в область более высоких частот ($3580\text{--}3590\text{ см}^{-1}$) при добавлении в реакционную систему щелочи и теряет свою интенсивность в спектрах образцов №№ 2–7 со степенью нейтрализации от 5 до 50%. Одновременно с ее исчезновением в спектрах образцов №№ 8–12 (60–100% NaOH) начинает формироваться широкая, мало интенсивная полоса в интервале частот $3300\text{--}3200\text{ см}^{-1}$, которая принадлежит валентным колебаниям гидроксильных групп молекул воды, связанных с карбонилем акрилата натрия. Интенсивность полосы слабо возрастает по мере увеличения степени нейтрализации АК.

Три дифференцированных максимума в области $3100\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ также могут быть отнесены к колебаниям ν_{CH} АК и АКNa, которые исчезают из спектров образцов со степенью нейтрализации выше 70%. Хорошо выраженный дублет ($3000\text{--}2900\text{ см}^{-1}$) со структурированной низкочастотной ветвью, присутствующий в спектрах всех образцов, очевидно, принадлежит CH_n -группировкам всех компонентов.

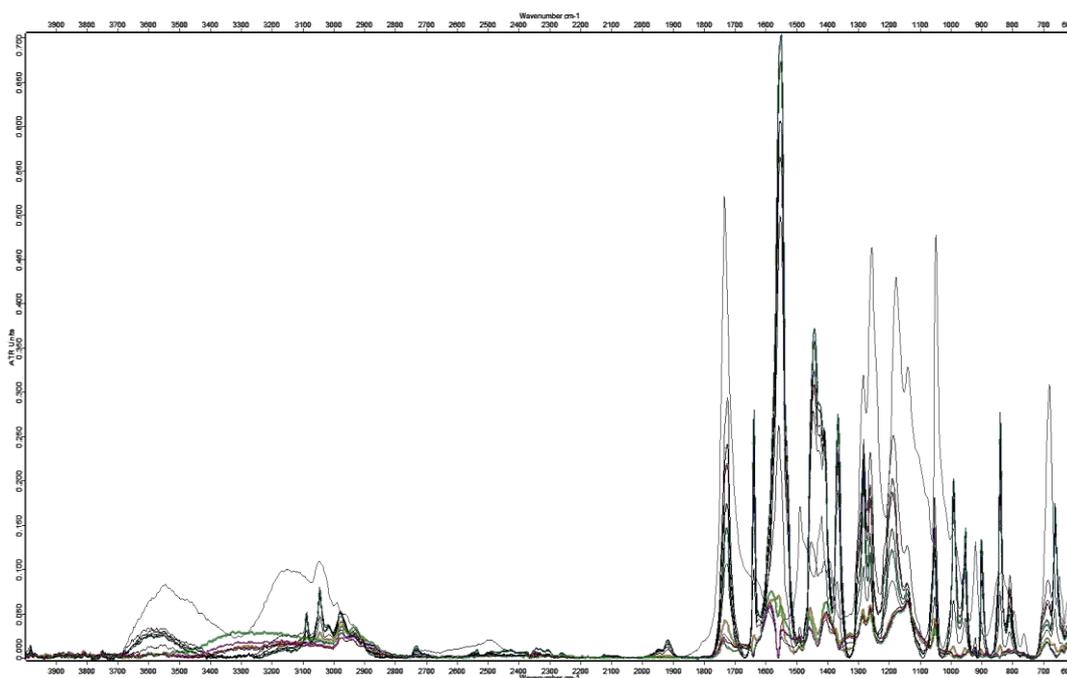


Рисунок 3 – ИК спектры сухих измельченных образцов состава: АК + X% NaOH + ТМЭД + ПСА

Немонотонный характер изменения интенсивности характеристических полос в спектрах образцов сухих гидрогелей отражают кривые, приведенные на рисунке 4. Следует отметить, что полосы карбонильных групп карбоксилата отвечают колебания при 1731 см^{-1} , что на 39 см^{-1} выше, чем в спектрах растворов соответствующих реакционных систем. Обращает на себя внимание и то, что снижение интенсивности полосы 1731 см^{-1} сопровождается увеличением поглощения карбонила карбоксилата (1540 см^{-1}) в спектрах сухих образцов со степенью нейтрализации до 40% и резкое падение с более высоким содержанием щелочи. Низкое поглощение этой полосы для образцов со степенью нейтрализации АК выше 70%, также как и характер изменения интенсивности полосы 3044 см^{-1} , может указывать на интенсификацию процесса полимеризации акрилата. Результаты исследования набухания сухих образцов гидрогелей подтверждают полученные данные.

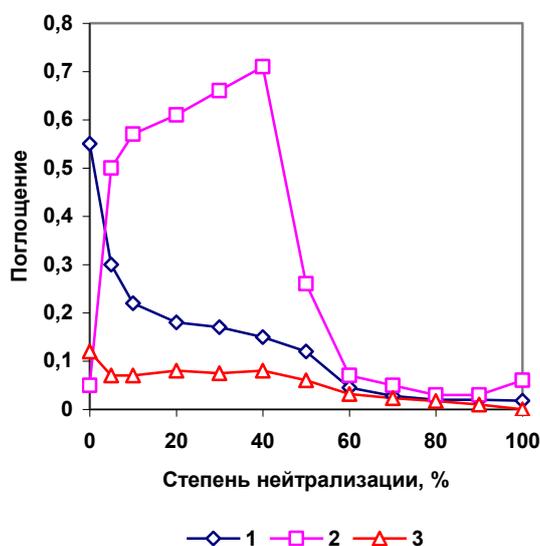


Рисунок 4 – Изменение интенсивности контролируемых полос поглощения в ИК спектрах сухих измельченных образцов в зависимости от степени нейтрализации АК: 1 – 1731, 2 – 1540, 3 – 3044 см^{-1}

На фото-рисунке 5 представлены образцы со степенью нейтрализации АК в интервале 10–100%. Отсутствуют пробирки № 1 (0% NaOH) и № 2 (5% NaOH). Образцы №№ 1–6 (0–40% NaOH) при контакте с водной фазой растворились. В пробирках № 7 (50% NaOH) и № 8 (60% NaOH) отмечено значительное набухание, но наблюдалось расслаивание водной фазы и рыхлого набухшего гидрогеля. При этом объем водной фазы над формой набухшего гидрогеля уменьшался с увеличением степени нейтрализации АК. При дальнейшем повышении степени нейтрализации АК имело место неограниченное набухание – заполнение формой гидрогеля всего объема водной фазы, с одновременным увеличением его плотности.

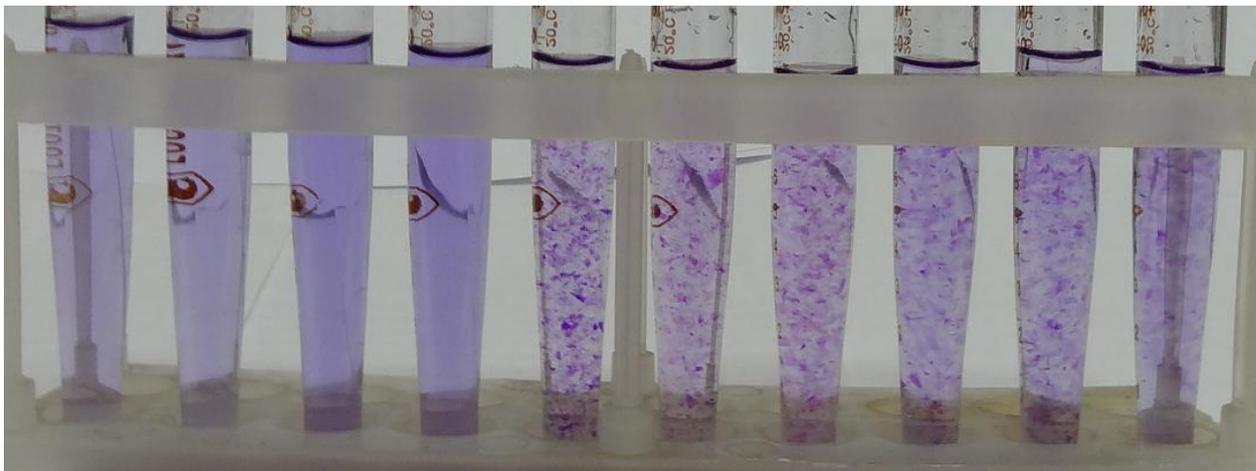


Рисунок 5 – Фотоиллюстрация влияния степени нейтрализации АК на набухание сухих измельченных образцов состава: АК + X % NaOH + ТМЭД + ПСА.

Увеличение степени нейтрализации АК (пробирки слева направо): № 3 – 10; № 4 – 20; № 5 – 30; № 6 – 40; № 7 – 50; № 8 – 60; № 9 – 70; № 10 – 80; № 11 – 90; № 12 – 100% NaOH

Однако, как показано на рисунке 6, объем набухшего гидрогеля при 50% нейтрализации АК практически линейно возрастает с увеличением массы навески, в то время как для образцов с нейтрализацией в 100% [18], величина навески не оказывала влияние на неограниченное набухание, что позволило наблюдать разворачивание цепочечной структуры полимера при маленьких массах навесок.

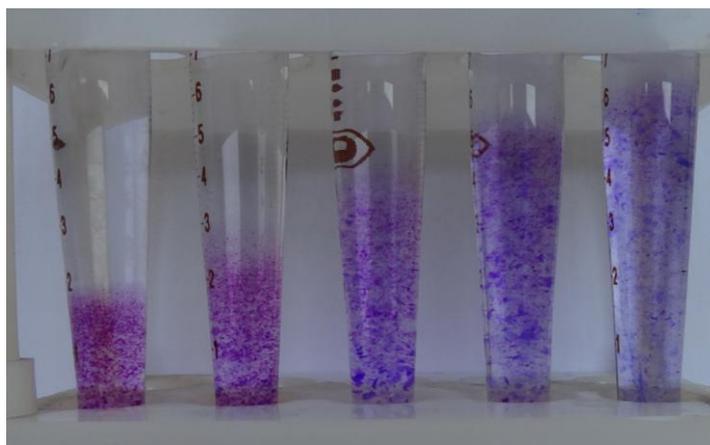


Рисунок 6 – Набухание гидрогеля в зависимости от массы навески образца с 50%-ой нейтрализацией АК

Согласно полученным данным, наиболее эффективно окислительно-восстановительный комплекс проявляет свои свойства в системах со степенью нейтрализации АК $\geq 70\%$. Системы образцов № 7 (50% NaOH) и № 8 (60% NaOH) находятся в переходном состоянии. Образование формы набухших гидрогелей, согласно данным представленным на рисунках 5 и 7, начинается с 50%-ой степени нейтрализации АК. Неограниченное набухание – с 70%-ой, с параллельным повышением плотности

гидрогеля, когда содержание АКNa в реакционной системе начинает значительно превышать суммарное количество остаточной АК и образованной в результате гидролиза акрилата.

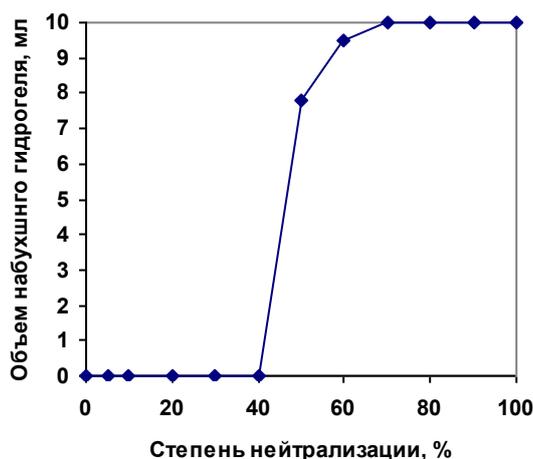
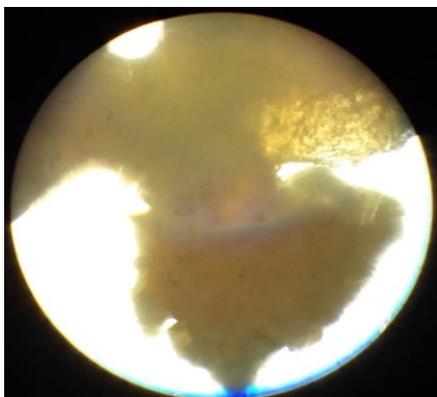
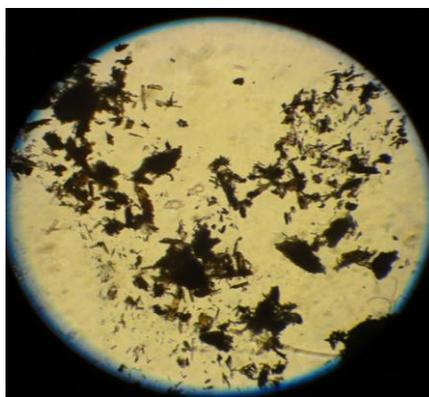


Рисунок 7 – Графическое представление влияния степени нейтрализации АК на набухание сухих измельченных образцов состава: АК + X % NaOH + ТМЭД + ПСА

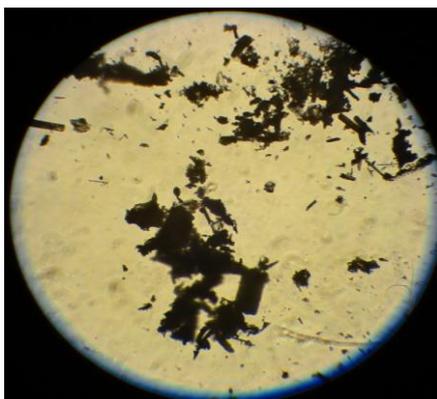
На основании полученных данных, исследуемая серия образцов разбита на две группы. К первой отнесены образцы, растворяющиеся при контакте с водой (№№ 1–6). Во вторую включены образцы №№ 7–12, образующие набухающие гидрогели. На рисунке 8 приведены микрофотографии сухих измельченных образцов первой группы. В ней выделяется образец № 1, при синтезе которого АК не подвергалась нейтрализации. Данный образец после термообработки представлял собой несколько вязкую массу и не измельчался.



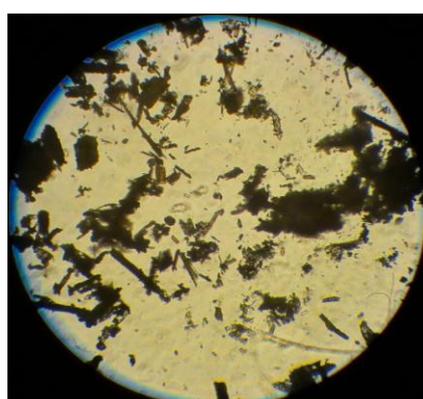
0% NaOH



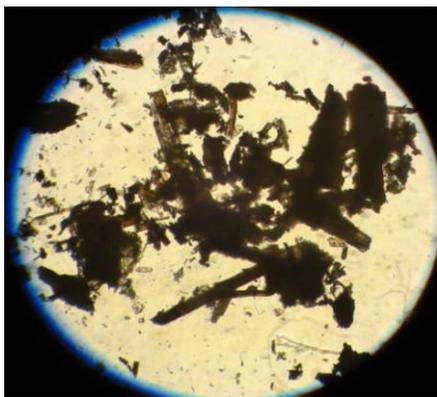
5% NaOH



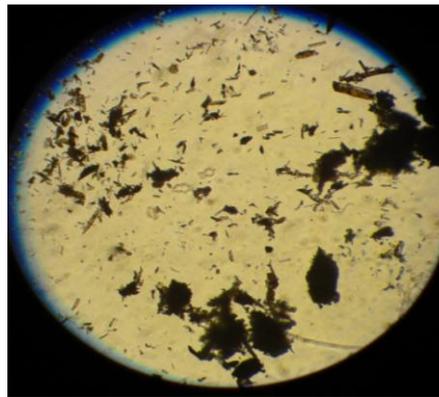
10% NaOH



20% NaOH



30% NaOH

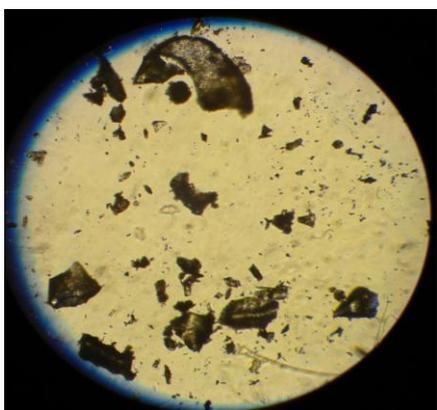


40 % NaOH

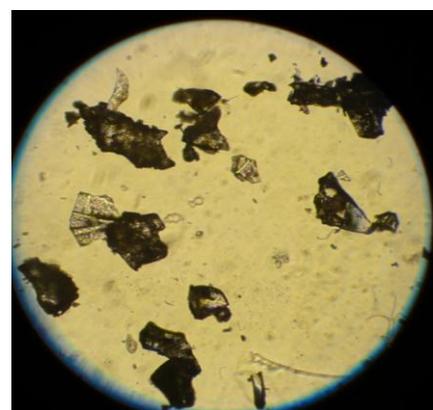
Рисунок 8 – Микрофотографии первой группы сухих измельченных образцов со степенью нейтрализации акриловой кислоты от 0 до 40%

В остальных измельченных сухих образцах гидрогелей отмечены осколочные фрагменты игольчатых образований разной формы, содержание и размер которых возрастали с увеличением степени нейтрализации АК.

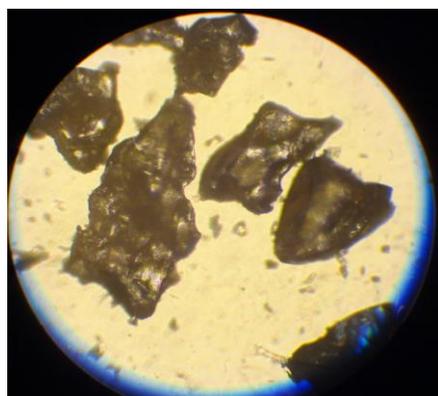
Рисунок 9 иллюстрирует микроснимки образцов второй группы. От образцов первой группы их отличает сглаженный контур частиц разной формы и размера, а также отсутствие у них игольчатых образований.



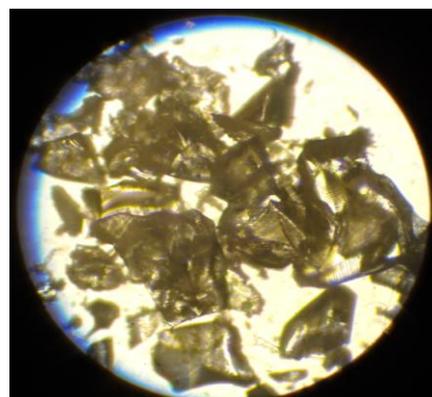
50% NaOH



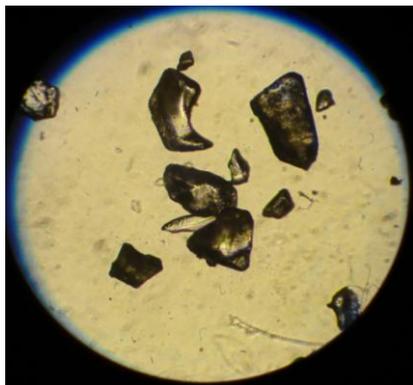
60% NaOH



70% NaOH



90% NaOH



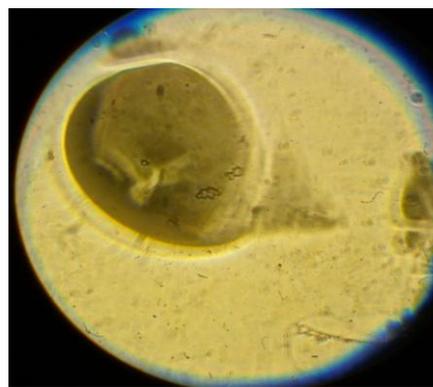
100% NaOH

Рисунок 9 – Микрофотографии второй группы сухих измельченных образцов со степенью нейтрализации акриловой кислоты от 50 до 100%

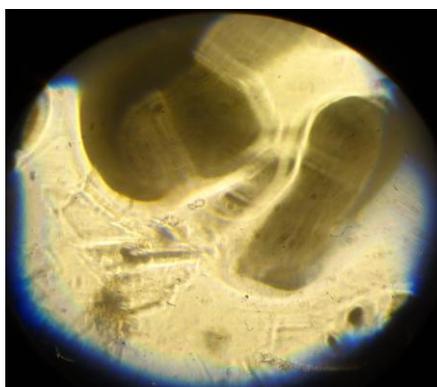
Метод ИКС НПВО, как показано в работе [16], не позволяет получить спектры набухших гидрогелей, поскольку абсорбированная вода полностью маскирует все функциональные группировки полимеризованных материалов, независимо от механизма набухания – ограниченного или неограниченного. Микроскопическое исследование набухших гидрогелей сухих измельченных образцов второй группы (рисунок 10) позволило наблюдать многообразие форм образований и их изменение по мере увеличения степени нейтрализации АК. В более крупных частицах в виде исчерченности, по-видимому, проявляются следы механической деструкции при измельчении образцов.



№ 7 – 50% NaOH



№ 8 – 60% NaOH



№ 9 – 70% NaOH



№ 10 – 80% NaOH



№ 11 – 90% NaOH



№ 12 – 100% NaOH

Рисунок 10 – Микрофотографии набухших гидрогелей сухих измельченных образцов второй группы со степенью нейтрализации акриловой кислоты от 50 до 100 %

В работе [7] отмечается, что поскольку гидрогель является закрепленной формой гидроксоколлоида, золь, его сухие измельченные фракции – осколки разрушенной трехмерной макромолекулярной сетки, при набухании представляют собой линейные или разветвленные структурные фрагменты, свернутые в клубки. Благодаря структурному разнообразию осколочных фрагментов с многочисленными полярными группами, вокруг которых располагаются полярные молекулы воды, макромолекулярная форма полимера внутри осколочного клубка отличается от макромолекулярной формы полимера, набухшего в виде целого, не травмированного куска. Нерастворимость же полиакрилатных звеньев в акрилатах позволяет контролировать структурообразование полимеров и создавать структуры гидрогелей с регулируемой однородностью.

Выводы

1. Методом ИКС НПВО и индикаторным показано, что при радикальной полимеризации акрилата натрия без сшивающего агента процесс формирования матричной сетки начинается с 50%-ой нейтрализации АК. Повышение степени нейтрализации сопровождается увеличением степени неограниченного набухания сухого измельченного полимера и плотности образующегося при этом набухшего гидрогеля. Образцы с содержанием щелочи в реакционной системе менее 50% растворяются.
2. При использовании метода микроскопии обращено внимание на то, что различия, отмеченные в набухании и спектральных свойствах исследуемого ряда систем, проявляются в морфологии частиц сухих измельченных продуктов синтеза. Игольчатую форму имели частички растворимых образцов, а сглаженную – образующих матричную сетку.

Литература

1. Семчинов Ю.Д. Высокомолекулярные соединения: учебник для ВУЗов. М.: Академия, 2003. 368 с.
2. Дубровский С.А., Казанский В.С. Термодинамические основы применения сильно набухающих гидрогелей в качестве влагоабсорбентов // Высокомолекулярные соединения. 1998. Т. А35. № 10. С. 1712–1719.
3. Mohammad J., Zohuriaan-Mehr and Kourosh K. Superabsorbent Polymer Materials: a Review. *Iranian Polymer Journal*. 2008, V. 17, no. 3, pp. 451–477.
4. Будтов Т.В., Сулейменов И.Е., Френкель С.Я. Сильнонабухающие полимерные гидрогели – некоторые современные проблемы и перспективы // Журнал прикладной химии. 1997. Т. 70. № 4. С. 529–539.
5. Шварева Г.Н., Рябова Е.Н., Шацкий О.В. Суперабсорбенты на основе (мет)акрилатов, аспекты их использования // Пластические массы. 1996. № 3. С. 32–35.
6. Успенская М.В. Акриловые гидрогели в качестве полимерных связующих: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. СПб., 2009. 40 с.
7. Сарафанова Л.А. Пищевые добавки: энциклопедия. СПб.: ГИОРД, 2004. 808 с.
8. Захаров А.Н., Трифонов М.В., Асхабова М.Д., Оплачко С.М. Пищевые добавки, ингредиенты и вспомогательные материалы в мясной промышленности // Все о мясе. 2012. № 4. С. 52–55.
9. Гришин Д.Ф., Гришин И.Д. Современные методы контролируемой радикальной полимеризации для получения новых материалов с заданными свойствами. Нижний Новгород: НГУ, 2010. 48 с.

10. Georges V, Kazmeier H. Free Radical Polymerization. *Macromolecules*. 1993, V. 26, P. 5316.
11. Успенская М.В., Сиротинкин Н.В., Горский В.А., Голощанов Ю.Г. Композиции на основе акрилатных сополимеров и фуллеренов // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. №. 5. С.870–872.
12. Аверко-Антонович И.Ю., Бикмуллин Р.Т. Методы исследования структуры и свойств полимеров. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.
13. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989. 448 с.
14. Будтов В.П. Физическая химия растворов полимеров. М.: Химия, 1992. 384 с.
15. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ, 2012. 55 с.
16. Миронов В.А., Янковский С.А. Спектроскопия в органической химии. М.: Химия, 1985. 232 с.
17. Чичибабин А.Е. Основные начала органической химии. М.: Госхимиздат, 1963. 910 с.
18. Нечипоренко А.П., Успенская М.В., Кондратьева Н.Е., Бикбулатова А.Р., Гредюхина И.В. Оптические и кислотные свойства гелеобразующих пищевых добавок на основе акрилатов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. № 1. С. 24–36. DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-1-24-36.

References

1. Semchinov Ju.D. *Vysokomolekuljarnye soedinenija* [High-molecular connections]. Textbook. Moscow, Akademiya Publ., 2003, 368 p.
2. Dubrovskij S.A., Kazanskij V.S. Termodinamicheskie osnovy primeneniya sil'no nabuhajushhh gidrogelej v kachestve vlagabsorbentov [Thermodynamic bases of use of strongly bulking up hydrogels as moisture absorbents]. *High-molecular connections*. 1998, V. A35, no. 10, pp. 1712–1719.
3. Mohammad J., Zohuriaan-Mehr and Kourosh K. Superabsorbent Polymer Materials: a Review. *Iranian Polymer Journal*. 2008, V. 17, no. 3, pp. 451–477.
4. Budtov T.V., Sulejmenov I.E., Frenkel' S.Ja. Sil'nonabuhajushhie polimernye gidrogeli – nekotorye sovremennye problemy i perspektivy [Highly swellable polymer hydrogels - some modern problems and prospects]. *Journal of Applied Chemistry*. 1997, V. 70, no. 4, pp. 529–539.
5. Shvareva G.N., Rjabova E.N., Shackij O.V. Superabsorbenty na osnove (met)akrilatov, aspekty ih ispol'zovanija [Superabsorbents based on methacrylates aspects of their use]. *Plastics*. 1996, no. 3, pp. 32–35.
6. Uspenskaja M.V. Akrilovye gidrogeli v kachestve polimernyh svjazujushhh [Acrylic hydrogels as polymeric binding]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. St. Petersburg, 2009. 40 p.
7. Sarafanova L.A. *Pishhevye dobavki* [Food additives]. Encyclopedia. St. Petersburg, GIORP Publ., 2004. 808 p.
8. Zaharov A.N., Trifonov M.V., Ashabova M.D., Oplachko S.M. Pishhevye dobavki, ingredienty i vspomogatel'nye materialy v mjasnoj promyshlennosti [Food additives, ingredients and auxiliary materials in the meat industry]. *All about meat*. 2012, no. 4. pp. 52–55.
9. Grishin D.F., Grishin I.D. *Sovremennye metody kontroliruemoj radikal'noj polimerizacii dlja poluchenija novyh materialov s zadannymi svoystvami* [Modern methods of controlled radical polymerization for receiving new materials with the set properties]. Nizhny Novgorod, NGU Publ., 2010, 48 p.
10. Georges V, Kazmeier H. Free Radical Polymerization. *Macromolecules*. 1993, V. 26, P. 5316.
11. Uspenskaja M.V., Sirovinkin N.V., Gorskiy V.A., Goloshchapov Ju.G. Kompozicii na osnove akrilatnyh sopolimerov i fullerenov [Compositions on a basis the akrilatnykh of copolymers and fullerene]. *Journal of Applied Chemistry*. 2006, V. 79, pp. 870–872.
12. Averk-Antonovich I.Ju., Bikmullin R.T. *Metody issledovaniya struktury i svojstv polimerov* [Methods of research of structure and properties of polymers]. Kazan, KGTU Publ., 2002, 604 p.
13. Lur'e Ju.Ju. *Spravochnik po analiticheskoj himii* [Reference book on analytical chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 448 p.
14. Budtov V.P. *Fizicheskaja himija rastvorov polimerov* [Physical chemistry of solutions of polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1992, 384 p.
15. Tarasevich B.N. *IK spektry osnovnyh klassov organicheskikh soedinenij* [IR spectrums of the main classes of organic compounds]. Reference book. Moscow, MGU Publ., 2012, 55 p.
16. Mironov V.A., Jankovskij S.A. *Spektroskopija v organicheskoi himii* [Spectroscopy in organic chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1985, 232 p.
17. Chichibabin A.E. *Osnovnye nachala organicheskoi himii* [The basic principles of organic chemistry]. Moscow, Goshimizdat, 1954.795 p.
18. Nechiporenko A.P., Uspenskaja M.V., Kondrat'eva N.E., Bikbulatova A.R., Gredjulina I.V. Opticheskie i kislotnye svoystva geleobrazujushhh pishhevyyh dobavok na osnove akrilatov [The optic and acidic properties of gel food additives on the basis of acrylates]. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2016. № 1. С. 24–36. DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-1-24-36.

Статья поступила в редакцию 16.05.2016