

ТВЕРДОФАЗНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ И АКРИЛАТА НАТРИЯ

Л. Б. ЯКИМЦОВА¹⁾, Т. М. ШЕЙПАК¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Полимеризацией в твердой фазе впервые синтезированы сополимеры 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия и акрилата натрия с различным содержанием акрилатных звеньев. Сополимеризация протекает в азеотропном режиме, при котором состав сополимера не отличается от состава мономерной смеси. Устойчивость сополимеров к термоокислительной деструкции с увеличением доли звеньев 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия незначительно возрастает. Водные растворы сополимеров в присутствии триацетата хрома способны к гелеобразованию при повышенных температурах. Определена минимальная концентрация сополимера в гелеобразующих композициях. Снижение доли акрилатных звеньев в сополимере приводит к увеличению водопоглощения полиэлектролитного гидрогеля.

Ключевые слова: твердофазная сополимеризация; термоокислительная деструкция; гидрогель; водопоглощение.

SOLID PHASE COPOLYMERIZATION OF SODIUM 2-ACRYLAMIDO-2-METHYLPROPANESULPHONATE AND SODIUM ACRYLATE

L. B. YAKIMTSOVA^a, T. M. SHAIPIK^a

^aBelarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

Copolymers of sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulphonate and sodium acrylate with different content of acrylate units were synthesized by polymerization in the solid phase for the first time. Copolymerization takes place in the azeotropic mode, in which the copolymer composition is not different from the monomer mixture composition. Copolymers thermo-oxidative degradation stability increases slightly with the increase in the proportion of units of 2-acrylamido-2-methylpropane sodium. Aqueous solutions of copolymers in the presence of chromium triacetate capable of gelling at elevated temperatures. The minimum concentration of the copolymer in the gel-forming compositions was determined. Reducing the proportion of acrylate units in the copolymer leads to an increase in water absorption of a polyelectrolyte hydrogel.

Key word: copolymerization in the solid phase; thermo-oxidative degradation; hydrogel; water absorption.

Водорастворимые сополимеры (СП), состоящие из звеньев акриламида (АА), акрилата натрия (АНа) и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия (АМПС-На), способны при повышенных температурах к координационному сшиванию солями поливалентных металлов, в частности триацетатом хрома

Образец цитирования:

Якимцова Л. Б., Шейпак Т. М. Твердофазная сополимеризация 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия и акрилата натрия // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 3. С. 29–35.

For citation:

Yakimtsova L. B., Shaipak T. M. Solid phase copolymerization of sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulphonate and sodium acrylate. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khimiya. Biol. Geogr.* 2016. No. 3. P. 29–35 (in Russ.).

Авторы:

Людмила Борисовна Якимцова – кандидат химических наук, доцент; доцент кафедры высокомолекулярных соединений химического факультета.
Татьяна Михайловна Шейпак – студентка химического факультета.

Authors:

Liudmila Yakimtsova, PhD (chemistry), docent; associate professor at the department of macromolecular compounds, faculty of chemistry.
yakimtsova@bsu.by
Tatsiana Shaipak, student at the faculty of chemistry.
tatjana-shejjpak@mail.ru

(АХ), и могут использоваться для повышения нефтеотдачи пластов в нефтедобывающей промышленности [1]. Ранее была исследована динамика гелеобразования в присутствии АХ водных растворов СП АА и АNa [2], а также АА и АМПС-Na [3] и определены составы СП, позволяющие получать на их основе полиэлектролитные гидрогели (ПЭГГ) с оптимальными свойствами. Сополимер АА и АМПС-Na применяется в высокотемпературных нефтяных пластах, поскольку обладает большей устойчивостью к термической и гидролитической деструкции [4] по сравнению с сополимером АА и АNa.

Для увеличения термической и гидролитической устойчивости гелеобразующих композиций в условиях повышенной температуры был синтезирован СП АМПС-Na с АNa, не содержащий акриламидных звеньев, и установлена способность его водных растворов к формированию гелей с АХ при нагревании [5]. Синтез этого сополимера разработан ранее А. В. Куренковым [6], однако способность к образованию комплексных соединений с солями поливалентных металлов не изучена. Свободнорадикальная сополимеризация АМПС-Na и АNa в концентрированном водном растворе приводила к получению сополимеров, сильно обогащенных звеньями АNa [6], в то время как показано [7], что на первой стадии деструкции термическая стабильность усиливается с ростом содержания звеньев АМПС-Na.

Одним из методов синтеза СП АМПС-Na и АNa с низким содержанием акрилатных звеньев могла бы быть фронтальная сополимеризация в расплаве смеси мономеров [8]. Отсутствие воды в системе позволяет исключить диссоциацию и взаимное отталкивание карбоксилатных и сульфонатных групп ионогенных мономеров, что должно способствовать снижению доли акрилатных звеньев и увеличению длины полимерной цепи. Однако возможность проведения процесса во фронтальном режиме определяется способностью мономера переходить в расплавленное состояние сначала под влиянием первичного теплового импульса, а затем теплоты полимеризации. Большая часть работ по фронтальной полимеризации в расплаве выполнена с использованием легкоплавкого АА в качестве мономера [9]. Сведения о фронтальной полимеризации и сополимеризации АNa и АМПС-Na в расплаве или в твердой фазе отсутствуют. Более того, практически нет и данных по температурам плавления этих мономеров. В [10] сообщается, что температура плавления АNa превышает 300 °С. Есть также сведения о том, что 2-акриламидо-2-метилпропансульфонат аммония плавится при 191 °С [11].

Цель настоящей работы – выяснение возможности синтеза гомо- и сополимеров АМПС-Na и АNa фронтальной радикальной полимеризацией твердых мономеров, оценка термических свойств синтезированных продуктов и определение минимальной концентрации, при которой в условиях повышенной температуры возможно гелеобразование водных растворов СП, содержащих сшивающий агент АХ.

Материалы и методы исследований

В работе использовали 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоту с содержанием основного вещества 98,0 % производства фирмы *Alfa Aesar A Johnson Matthey* (США) с температурой плавления 185 °С без предварительной очистки. Для синтеза СП АМПС-Na и АNa применяли перегнанную при пониженном давлении акриловую кислоту плотностью 1,051 г/см³ производства ОАО «Реактив» (г. Санкт-Петербург, Россия) с температурой плавления 13,5 °С, кипения 141 °С. Для нейтрализации кислот использовали гидроксид натрия марки «ч. д. а.» по ГОСТ 4328-77 без дополнительной очистки. Воду применяли дистиллированную, остальные реагенты марки «х. ч.». Инициатором полимеризации служил пероксид бензоила, перекристаллизированный из этанола и высушенный в вакууме. В качестве сшивателя водно-полимерных систем использовали АХ производства ЗАО «Петрохим» (г. Белгород, Россия) в виде 44 % водного раствора по ТУ 0254-031-17197708-96.

АМПС-Na и АNa получали нейтрализацией соответствующих кислот гидроксидом натрия в водных растворах с последующей сушкой мономеров при комнатной температуре сначала при атмосферном, а затем при пониженном давлении.

Для проведения полимеризации в тонкоизмельченный порошок АМПС-Na, АNa или их смеси вводили порошок инициатора (1–4 % массы мономера), диспергированный в ацетоне, перемешивали ингредиенты, удаляли ацетон сушкой в вакуум-эксикаторе и помещали реакционную смесь в цилиндрическую стеклянную ампулу высотой 150 мм и внутренним диаметром 4 мм при последовательном уплотнении. Плотность упаковки определялась гравиметрически и составляла 1,1–1,2 г/см³. Высота слоя реакционной массы в ампуле равнялась 80 мм.

Стеклянную ампулу располагали в вертикальном положении. Полимеризацию инициировали локальным воздействием тепла на нижнюю часть реакционной системы. Температура источника составляла 160–170 °С. После завершения полимеризации ампулу разбивали, непрореагировавший мономер механически отделяли от продукта полимеризации, после чего полимер растворяли в воде, фильтровали через фильтр Шотта, очищали от остатков мономера осаждением раствора в ацетон и сушили при

50 °С. Молекулярную массу гомополимеров определяли вискозиметрически в соответствии с уравнением Марка – Куна – Хаувинка [12, 13]. О молекулярной массе сополимеров ввиду отсутствия констант в этом уравнении судили по значениям характеристической вязкости в водном растворе NaCl концентрацией 5 моль/л при 25 °С. Состав СП был определен методом ИК-спектроскопии [14].

Устойчивость сополимеров к термоокислительной деструкции оценивали на термоанализаторе NETZSH STA 449C в диапазоне температур 30–700 °С на воздухе методом совмещенного термического анализа, включающего термогравиметрию (ТГ) и дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК).

Гелеобразующие композиции получали растворением СП в дистиллированной воде (концентрация 2, 4 и 10 мас. %) и добавлением АХ. Композиции в прозрачных герметичных банках помещали в термостат с температурой 95 °С. Внешний вид и консистенцию композиций в зависимости от времени нагревания оценивали путем определения кода прочности ПЭГГ методом [15]. Время начала гелеобразования определяли в момент перехода консистенции композиции из состояния В (вязкий раствор) к С (очень пластичный, высокотекучий гель).

Величины гель-фракции (δ) и ее водопоглощения ($q_{\text{гг}}$) образцов ПЭГГ оценивали гравиметрическим методом. Для определения водопоглощения 0,2 г высушенного ПЭГГ помещали в 500 мл дистиллированной воды и выдерживали при комнатной температуре в течение двух суток до достижения равновесной степени набухания, после чего набухший гель отделяли от воды фильтрованием через хлопчатобумажную ткань. Оставшийся на фильтре набухший ПЭГГ высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 50–60 °С и рассчитывали величину δ , %:

$$\delta = m_{\text{гг}} \cdot 100/m_1,$$

где m_1 – исходная масса высушенного образца; $m_{\text{гг}}$ – масса высушенного после набухания образца ПЭГГ.

Водопоглощение $q_{\text{гг}}$ (г/г) рассчитывали на массу высушенного после набухания гидрогеля:

$$q_{\text{гг}} = (m_2 - m_1)/m_{\text{гг}}$$

где m_2 – масса геля после набухания.

Результаты исследований и их обсуждение

При локальном воздействии тепла на нижнюю часть ампулы с АМПС-Na, содержащим 1 % пероксида бензоила, мономер не плавился. Однако визуально отчетливо наблюдалось передвижение снизу вверх границы между областями с различной плотностью. Скорость перемещения границы со временем снижалась до нуля, т. е. исследуемый процесс протекал в самозатухающем режиме. В результате был получен поли-2-акриламидо-2-метилпропансульфонат натрия (ПАМПС-Na), полностью растворимый в воде. Величина конверсии мономера составляла 70 % (табл. 1), т. е. полная конверсия, характерная для фронтальной полимеризации [8, 9], не была достигнута. Увеличение концентрации инициатора до 4 % также не привело к 100 % конверсии мономеров. Полученные результаты означают, что при локальном тепловом воздействии твердый АМПС-Na, содержащий добавку инициатора свободнорадикальной полимеризации, превращается в несшитый полимер. Однако процесс твердофазной полимеризации протекает не во фронтальном, а в самозатухающем режиме. Граница, которая отделяет области с различной плотностью, является границей между рыхлым мономером и плотным полимером.

Таблица 1

Влияние содержания ANa в смеси мономеров (α) на состав, характеристическую вязкость ($[\eta]$) и выход гомо- и сополимеров АМПС-Na и ANa

α , мольная доля	0	0,10	0,30	0,50	0,70	0,80	1,0
β , мольная доля	0	0,12	0,33	0,51	0,70	0,81	1,0
$[\eta]$, дл/г	1,99	1,85	1,80	1,70	1,68	1,57	0,73
Выход, %	70	70	67	65	63	60	57

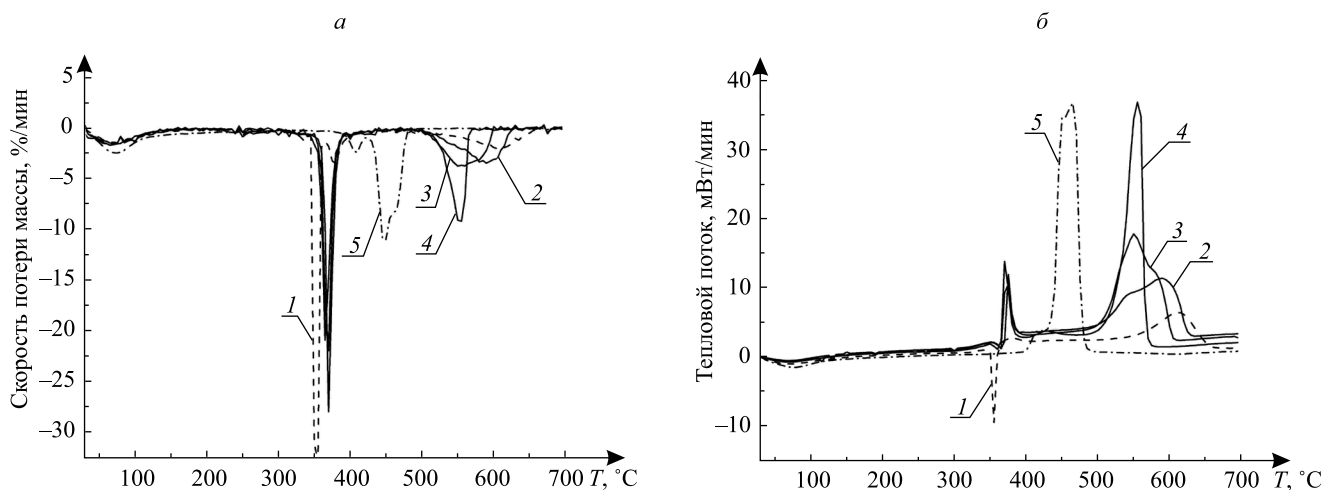
Примечание. β – Мольная доля звеньев ANa в СП; для ПАМПС-Na $\alpha = \beta = 0$, ПАНa – $\alpha = \beta = 1,0$.

При локальном воздействии тепла на нижнюю часть ампулы с ANa, содержащим 1 % пероксида бензоила, мономер, как и можно было ожидать [10], не плавился, однако происходила полимеризация в самозатухающем режиме. При этом в полиакрилат натрия (ПАНa) превратилась большая часть (57 %) мономера. Судя по растворимости в дистиллированной воде, доля нерастворимого сшитого полимера в образовавшемся продукте составляла 80 %. Сшитый полимер в процессе радикальной полимеризации ANa получался в результате побочной реакции передачи цепи от радикала, возникшего при термоллизе пероксида бензоила, на макромолекулу с образованием и последующей рекомбинацией срединных макрорадикалов.

Твердофазную сополимеризацию АМПС- Na и ANa осуществляли при соотношении мономеров от 1 : 9 до 4 : 1. В целях увеличения конверсии мономеров содержание пероксида бензоила повысили до 4 % массы сомономеров. В результате были получены сополимеры различного состава, полностью растворимые в воде, т. е. несшитые. Вероятно, наличие громоздкой боковой группировки в звеньях АМПС- Na даже при его наименьшем содержании в СП создает стерические препятствия для рекомбинации образующихся в результате реакции передачи цепи на макромолекулу срединных макрорадикалов, и сшивания полимерных цепей не происходит. По той же причине не сшивается и гомополимер АМПС- Na . Средневязкостная молекулярная масса ПАМПС- Na [9] составляла $2,3 \cdot 10^6$ Да, PANa [10] – $0,45 \cdot 10^6$ Да. Характеристическая вязкость сополимеров, полученных методом твердофазной полимеризации, в 1,2–2,6 раза превосходила вязкость продуктов, полученных полимеризацией в концентрированных водных растворах [5]. Сопоставление величин $[\eta]$ для гомо- и сополимеров позволило предположить, что молекулярная масса последних находится в пределах от $1 \cdot 10^6$ до $2 \cdot 10^6$ Да. Вязкости растворов СП с разным соотношением звеньев отличаются незначительно, несколько увеличиваясь по мере снижения β . Зависимость состава СП от состава мономерной смеси, приведенная в табл. 1, показывает, что мольная доля звеньев ANa в сополимере β слабо отличается от доли ANa в смеси мономеров α , т. е. твердофазная сополимеризация протекает практически в азеотропном режиме, при котором звенья сомономеров расположены случайным образом. Выход СП снижается с 70 до 60 % по мере увеличения величины β . Используемый в настоящей работе способ сополимеризации по сравнению с известным [14] позволяет легко регулировать состав СП, что обеспечивает возможность синтеза СП с пониженной долей звеньев ANa .

Совмещенный термический анализ выявил зависимость устойчивости СП к термоокислительной деструкции от содержания звеньев АМПС- Na и ANa . Поскольку термоокислительная стабильность сополимеров в значительной мере определяется тем, насколько устойчивыми к термоокислению оказываются гомополимеры, звенья которых входят в их состав; объектом термического анализа наряду с сополимерами были и гомополимеры АМПС- Na и ANa . Наиболее информативной является стадия термоокислительной деструкции, связанная с разрушением главной цепи макромолекул.

Результаты термического анализа гомополимеров АМПС- Na и ANa (см. рисунок) показывают, что PANa по сравнению с ПАМПС- Na более устойчив к термоокислительному старению. Наиболее наглядно это проявляется на кривых дифференциальной ТГ (см. рисунок, а). В частности, температура, соответствующая максимуму скорости потери массы ($T_m^{\text{ТГ}}$), составляет 353 и 447 °С для ПАМПС- Na и PANa соответственно.



Кривые дифференциальной ТГ (а) и ДСК (б); ПАМПС- Na (1), СП ANa и АМПС- Na с β , равным 0,33 (2), 0,51 (3) и 0,70 (4), PANa (5)

Обычно максимальную скорость потери массы полимера при нагревании связывают с интенсивным разрушением основной цепи макромолекул, глубина которого наиболее адекватно характеризует устойчивость полимера к деструкции [16]. Степень снижения массы гомополимера АМПС- Na при нагревании его от 20 до 340 °С не превышает 15 %. При дальнейшем нагревании до 360 °С она увеличивается в три раза, достигая 45 %. Очевидно, что температура $T_m^{\text{ТГ}}$ вполне может быть использована для характеристики устойчивости к термоокислительной деструкции как гомополимера АМПС- Na , так и его звеньев в составе сополимера с ANa .

Известно, что для многих полимеров температура T_m^{TG} совпадает с температурой $T_m^{ДСК}$, которая отвечает положению наиболее интенсивного эндотермического пика на кривой ДСК [16]. Именно такая картина наблюдается и в случае гомополимера АМПС-На: величины T_m^{TG} (см. рисунок, а) и $T_m^{ДСК}$ (см. рисунок, б) ПАМПС-На имеют одинаковое значение, равное 353 °С.

В случае ПАНа в области температур, близких к его T_m^{TG} , на кривой ДСК (см. рисунок, б) эндотермический пик отсутствует. Проявляется только высокоинтенсивный относительно широкий экзотермический пик, который, по-видимому, маскирует эндотермический пик, связанный с разрывом химических связей в главной цепи макромолекулы.

Кроме того, на кривых дифференциальной ТГ и ДСК образцов каждого из двух исследованных гомополимеров наблюдаются еще две пары значительно менее интенсивных пиков. Температуры, относящиеся к первой паре пиков, составляют 70–76 °С независимо от химической природы гомополимеров. Скорее всего, данные пики связаны с удалением воды, сорбированной полимерами из воздуха. Вторая пара пиков имеет место при температуре либо меньшей (ПАНа), либо большей (ПАМПС-На) по сравнению с температурами максимальной скорости деструкции соответствующих гомополимеров. Эти пики могут быть отнесены к процессам разложения функциональных групп макромолекул. Пики на кривых дифференциальной ТГ при 407 и 377 °С соответственно обусловлены частичным декарбоксилированием ПАНа [17] и отщеплением части сульфонатных групп от ПАМПС-На с выделением оксидов серы.

После частичного разложения карбоксилатных групп и завершения термоокислительной деструкции в главной цепи ПАНа, заканчивающихся при 480 °С, масса полимера перестает снижаться, сохраняясь до 700 °С на уровне 37 % начального значения. В случае ПАМПС-На в интервале температур 560–660 °С наблюдается еще один экзотермический процесс, в результате которого масса полимера снижается еще на 13 %. Остаточная масса продукта термоокислительной деструкции ПАМПС-На, сохраняющаяся неизменной в интервале температур 650–700 °С, составляет около 25 % начального значения.

Таким образом, при сравнении результатов термического анализа гомополимеров, а также сополимеров АМПС-На и АНа необходимо сопоставлять прежде всего температурные характеристики наиболее важной стадии процесса деструкции – разрушения главной цепи макромолекул, отражающейся в значениях максимальной скорости потери массы при нагревании до значений T_m^{TG} .

Для образцов СП с разным содержанием акрилатных звеньев (рисунок, а, кривые 2, 3, 4) первые пики на кривых дифференциальной ТГ практически совпадают. Значения T_m^{TG} составляют 369, 367 и 365 °С для сополимеров с мольной долей акрилатных звеньев 0,33; 0,51 и 0,70 соответственно, т. е. температура деструкции основной цепи слабо зависит от соотношения звеньев, незначительно снижаясь с увеличением доли звеньев АНа. Такой вывод не противоречит данным работы [7], в которой влияние состава СП на устойчивость к термоокислительной деструкции рассматривали в области более низких температур (225–250 °С). Величины T_m^{TG} сополимеров выше аналогичного показателя ПАМПС-На и ниже ПАНа. Как и у гомополимеров, потеря массы в области температур 67–77 °С вызвана удалением влаги из гидрофильных образцов, распад главной цепи СП происходит при T_m^{TG} , равной 365–369 °С, а в области температур 550–650 °С, по-видимому, окисляются продукты, образовавшиеся при термической деструкции основной цепи. Таким образом, устойчивость к термоокислительной деструкции у сополимеров выше, чем у гомополимера АМПС-На, и ниже, чем у ПАНа.

Данные по динамике гелеобразования композиций на основе синтезированных образцов гомо- и сополимеров и АХ подтвердили [5], что композиции на основе ПАМПС-На с АХ гелеобразующими свойствами не обладали, а нагревание композиций на основе линейного ПАНа приводит к формированию внутримолекулярного комплекса и выпадению в осадок темно-зеленого порошка – полиакрилата хрома. Нагревание композиций СП АМПС-На и АНа с АХ приводило к формированию геля. Получение ПЭГГ доказывало, что в результате твердофазной полимеризации синтезирована не смесь гомополимеров, а именно сополимеры.

Изменение консистенции гелеобразующих композиций на основе водных растворов СП АМПС-На и АНа с АХ в процессе их выдерживания при 95 °С показано в табл. 2. Технологически приемлемое время начала гелеобразования композиций – от 4 до 24 ч [3]. Малая скорость сшивания растворенного сополимера позволяет жидкой композиции проникать на значительное удаление от места ее введения, прежде чем начнется формирование геля. Из данных табл. 2 видно, что оптимальная концентрация сополимера в композиции составляет 4 %. Использование 10 % водных растворов СП АМПС-На и АНа нецелесообразно с экономической точки зрения, а ПЭГГ с массовым содержанием СП 2 % не обладают достаточной прочностью.

Таблица 2

**Изменение консистенции композиций на основе СП АМПС-Na и ANa с AX
(концентрация Cr^{3+} = 800 мг/л) в процессе их нагревания при температуре 95 °С**

β	Концентрация СП в композиции, масс. %	Код консистенции композиций при продолжительности испытаний, ч							
		0	2	4	6	10	15	19	24
0,70	2	B	B		B/C		C	C/D	
	4		B		B/C		C/D	D	
	10		B/C	C		C/D	D	E	
0,51	2	B	B		B/C			C	
	4		B		B/C	C	C/D	D	
	10		B	B/C	C	C/D	D	E	
0,33	2	B	B		B/C			C	
	4		B	B/C		C	C/D		
	10		B	C		C/D	D	E	

Величины гель-фракции и водопоглощения гидрогелей, полученных на основе синтезированных сополимеров, приведены в табл. 3. При одинаковой концентрации полимера в композициях водопоглощение увеличивается в результате снижения доли акрилатных звеньев в СП. Возрастание величины $q_{гг}$ связано с уменьшением количества поперечных сшивок, образующихся при взаимодействии карбоксилатных групп звеньев ANa с AX [1]. Значения гель-фракции слабо зависят от состава СП и для образцов с разным соотношением звеньев АМПС-Na и ANa изменяются в пределах от 41 до 62 %.

Таблица 3

**Зависимость величин гель-фракции (δ) и водопоглощения гелей ($q_{гг}$)
на основе СП АМПС-Na и ANa от состава СП и его концентрации в композиции**

β	0,33			0,51			0,70		
Концентрация СП, %	2	4	10	2	4	10	2	4	10
δ , %	43	44	48	42	46	50	41	44	62
$q_{гг}$, г/г	383	213	211	270	167	136	169	137	87

Таким образом, впервые синтезированы сополимеры АМПС-Na и ANa радикальной полимеризацией в твердой фазе. Твердофазная гомо- и сополимеризация протекает с самозатуханием без поддержания фронтального режима. Состав сополимеров практически не отличается от состава мономерной смеси. Показатели термоокислительной деструкции основной цепи полимера, оцениваемые по температуре максимальной скорости потери массы, слабо зависят от состава СП, незначительно увеличиваясь с повышением доли звеньев АМПС-Na. Установлена возможность образования ПЭГГ при повышенных температурах из водных растворов СП АМПС-Na и ANa в присутствии сшивающего агента триацетата хрома. Определены состав и минимальная концентрация СП в гелеобразующих композициях, позволяющие получать ПЭГГ с наибольшими величинами гель-фракции и водопоглощения.

Авторы выражают признательность заведующему кафедрой высокомолекулярных соединений химического факультета БГУ доктору химических наук, профессору Леониду Петровичу Крулю за помощь в обсуждении результатов работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)

1. Круль Л. П., Шахно О. В., Гринюк Е. В., Скаковский Е. Д., Тychинская А. Ю., Господарев Д. А., Макаревич А. В. Исследование механизма взаимодействия карбоксилированного полиакриламида с ацетатом хрома (III) методом ЯМР ^{13}C // Журн. общ. химии. 2013. Т. 83, вып. 11. С. 1829–1834 [Krul L. P., Shakhno O. V., Grinyuk E. V., Skakovskii E. D., Tychinskaya L. Yu., Gospodarev D. A., Makarevich A. V. Interaction of carboxylated polyacrylamide with chromium (III) acetate: ^{13}C NMR study of mechanism. *Zhurnal obshchei khimii*. 2013. Vol. 83, issue 11. P. 1829–1834 (in Russ.)].
2. Якимцова Л. Б., Ларикова С. Н., Господарёв Д. А., Макаревич А. В. Гелеобразующие композиции на основе сополимеров акриламида и акрилата натрия // Материалы. Технологии. Инструменты. 2014. Т. 19, № 1. С. 67–73 [Yakimtsova L. B., Larikova S. N., Gospodarev D. A., Makarevich A. V. Geleobrazuyushchie kompozitsii na osnove sopolimerov akrilamida i akrilata natriya. *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty*. 2014. Vol. 19, No. 1. P. 67–73 (in Russ.)].

3. Якимцова Л. Б., Коледа Т. Н., Господарев Д. А., Макаревич А. В. Полиэлектrolитные гидрогели на основе сульфони-
рованного полиакриламида // Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии : сб. науч. тр. Минск, 2013. С. 127–137 [Yakimtsova L. B., Koleda T. N., Gospodarev D. A., Makarevich A. V. Polielektrolitnye gidrogeli na osnove
sul'fonirovannogo poliakrilamida. *Khimicheskie reaktivy, reagenty i protsessy malotonnazhnoi khimii* : sb. nauch. tr. Minsk, 2013. P. 127–137 (in Russ.)].
4. Якимцова Л. Б., Ларикина С. Н., Господарев Д. А., Макаревич А. В. Термическая устойчивость сульфони-
рованного полиакриламида в водных растворах // Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии : сб. науч. тр. Минск, 2013. С. 323–334 [Yakimtsova L. B., Larikova S. N., Gospodarev D. A., Makarevich A. V. Termicheskaya ustoychivost'
sul'fonirovannogo poliakrilamida v vodnykh rastvorakh. *Khimicheskie reaktivy, reagenty i protsessy malotonnazhnoi khimii* : sb. nauch. tr. Minsk, 2013. P. 323–334 (in Russ.)].
5. Якимцова Л. Б., Сакович О. К. Гелеобразование композиций гомо- и сополимеров акрилата натрия и 2-акрилами-
до-2-метилпропансульфоната натрия // Проблемы и перспективы развития химии, нефтехимии и нефтепереработки : материалы
Международ. науч.-практ. конф., посв. 50-летию Нижнекамского технол. ин-та (Нижнекамск, 25 апр. 2014 г.) : в 2 т. Нижнекамск, 2014. Т. 1. С. 320–323 [Yakimtsova L. B., Sakovich O. K. Gelling compositions of homo- and copolymers of sodium acrylate and
sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate. *Problemy i perspektivy razvitiya himii, neftehimii i neftepererabotki* : materialy
Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyaschennoy 50-letiyu Nizhnekamskogo tehnologicheskogo inst. Nizhnekamsk, 2014. P. 320–323
(in Russ.)].
6. Куренков А. В. Радиальная сополимеризация 2-акрилами-
до-2-метилпропансульфоната натрия с акрилатом натрия
в растворах : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.06. Казань, 2011.
7. Шевцова С. А., Кухтинова Н. Н., Куренков А. В., Куренков В. Ф. Термические свойства сополимеров 2-акрилами-
до-2-метилпропансульфоната натрия с акрилатом натрия // Вестн. Казанского технол. ун-та. 2010. № 8. С. 76–81 [Shevtsova S. A.,
Kuhtinova N. N., Kurenkov A. V., Kurenkov V. F. Termicheskie svoystva sopolimerov 2-akrilamido-2-metilpropansul'fonata natriya s
akrilatom natriya. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo univ.* 2010. No. 8. P. 76–81 (in Russ.)].
8. Pojman J. A. Frontal Polymerization // *Polymer Sci.: Compr. Ref.* 2012. Vol. 4. P. 957–980 [Pojman J. A. Frontal Polymeriza-
tion. *Polymer Sci.: Compr. Ref.* 2012. Vol. 4. P. 957–980 (in Engl.)].
9. Айрапетян С. М., Манукян Л. С., Бабанова А. С., Тоноян А. О., Давтян С. П. Особенности фронтальной инициирован-
ной радикальной полимеризации акриламида // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. «Технические науки». 2003. Т. 56, № 1. С. 52–60
[Ayrapetyan S. M., Manukyan L. S., Babanova A. S., Tonoyan A. O., Davtyan S. P. Peculiarities of the initiated radical frontal acryl-
amide polymerization. *Izv. Natsionalnoy akad. nauk Resp. Armeniya i GIUA. Ser. teh. nauki.* 2003. Vol. 56, No. 1. P. 52–60 (in Russ.)].
10. Синтез сополимера N-винилкапролактама и акриловой кислоты. Задача к практикуму для студентов 4 курса [Электрон-
ный ресурс]. Режим доступа: http://nano.msu.ru/files/systems/4_2010/practical/21_full.pdf (дата обращения: 22.03.16).
11. National industrial chemicals notification and assessment scheme. 2-Acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid, ammonium salt
[Электронный ресурс]. URL: https://www.nicnas.gov.au/_data/assets/pdf_file/0009/9279/NA505FR.pdf (date of access: 22.03.16).
12. Fisher L. W., Sochor A. R., Tan J. S. Chain characteristics of poly(2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate) polymers. 1. Light-
scattering and intrinsic-viscosity studies // *Macromolecules.* 1977. Vol. 10, № 5. P. 949–954 [Fisher L. W., Sochor A. R., Tan J. S. Chain characteristics of poly(2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate) polymers. Light-scattering and intrinsic-viscosity studies. *Macromolecules.* 1977. Vol. 10, No. 5. P. 949–954 (in Engl.)].
13. Mark-Houwink. Parameters for Polymers // American Polymer Standards Corporation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ampolymer.com/Mark-HouwinkParameters.html> (date of access: 15.02.2016).
14. Данилович Т. Г., Якимцова Л. Б., Гринюк Е. В., Сакович О. К. Влияние способа полимеризации на состав сополи-
меров акрилата натрия и 2-акрилами-
до-2-метилпропансульфоната натрия // Полимерные композиты и трибология : мате-
риалы Междунар. науч.-техн. конф. (Гомель, 23–26 июня 2015 г.). Гомель, 2015. С. 161 [Danilovich T. G., Yakimtsova L. B.,
Grinyuk E. V., Sakovich O. K. Influence of polymerization method on composition of sodium acrylate and sodium 2-acrylamido-2-
methylpropanesulphonate copolymers. *Polymer composites and tribology* : intern. sci. tech. conf. Gomel, 2015. P. 161 (in Russ.)].
15. Sydans R. D., Marathon O. C. A new conformance-improvement-treatment chromium(III) gel technology // SPE. 1988. Vol. 3,
№ 3. P. 17–20 [Sydans R. D., Marathon O. C. A new conformance-improvement-treatment chromium (III) gel technology. *SPE.* 1988.
Vol. 3, No. 3. P. 17–20 (in Engl.)].
16. Павлова С. А., Журавлева И. В., Толчинский Ю. И. Термический анализ органических и высокомолекулярных соедине-
ний. М., 1983.
17. Leung W. M., Axelson D. E., Van Dyke J. D. Thermal degradation of polyacrylamide and poly(acrylamide-co-acrylate) // *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.* 1987. Vol. 25, № 4. P. 1825–1846 [Leung W. M., Axelson D. E., Van Dyke J. D. Thermal degradation of polyacrylamide and poly(acrylamide-co-acrylate). *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.* 1987. Vol. 25, No. 4. P. 1825–1846 (in Engl.)].

Статья поступила в редколлегию 12.03.2016.
Received by editorial board 12.03.2016.