

УДК 541.64:536.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТАКРИЛАТА НАТРИЯ И 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ

Л. Б. ЯКИМЦОВА¹⁾, Д. В. КИЕВИЦКАЯ¹⁾

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

С помощью метода радикальной полимеризации в водном растворе впервые синтезированы сополимеры метакрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия с различным содержанием мономерных звеньев. Состав сополимеров оценивали с помощью инфракрасной спектроскопии. Методами Файнмана – Росса и Келена – Тюдоса определены константы сополимеризации, установлено статистическое распределение звеньев и обеднение сополимера звеньями метакрилата натрия.

Ключевые слова: радикальная сополимеризация; метакрилат натрия; 2-акриламидо-2-метилпропансульфонат натрия; константы сополимеризации; методы Файнмана – Росса и Келена – Тюдоса.

DETERMINATION OF COPOLYMERIZATION CONSTANTS OF SODIUM METHACRYLATE AND SODIUM 2-ACRYLAMIDO-2- METHYLPROPANESULFONATE

L. B. YAKIMTSOVA^a, D. V. KIEVITSKAYA^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: L. B. Yakimtsova (yakimtsova@bsu.by)

Copolymers of sodium methacrylate and sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate with different content of monomeric units were synthesized by radical polymerization in aqueous solution for the first time. The composition of the copolymers was evaluated by infrared spectroscopy. The Finemann – Ross and Kelen – Tüdös methods have been used to determine the copolymerization constants, the statistical distribution of units and reduction of the copolymer with sodium methacrylate units were established.

Key words: radical copolymerization; sodium methacrylate; sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate; copolymerization constants; Finemann – Ross and Kelen – Tüdös methods.

Образец цитирования:

Якимцова Л. Б., Киевицкая Д. В. Определение констант сополимеризации метакрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия // Журн. Белорус. гос. ун-та. Химия. 2018. № 1. С. 76–82.

For citation:

Yakimtsova L. B., Kievitskaya D. V. Determination of copolymerization constants of sodium methacrylate and sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate. *J. Belarus. State Univ. Chem.* 2018. No. 1. P. 76–82 (in Russ.).

Авторы:

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

Дарья Владимировна Киевицкая – студентка химического факультета. Научный руководитель – Л. Б. Якимцова.

Authors:

Liudmila B. Yakimtsova, PhD (chemistry), docent; associate professor at the department of high-molecular compounds, faculty of chemistry.

yakimtsova@bsu.by

Darya V. Kievitskaya, student at the faculty of chemistry.
daryakievitskaya@gmail.com

Введение

Водорастворимые сополимеры (СП) акрилата натрия (ANa) и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия (АМПСNa) являются эффективными антистатическими агентами, флокулянтами, стабилизаторами дисперсных систем, они перспективны для различных отраслей промышленности [1]. Как было установлено ранее [2], водные растворы СП ANa и АМПСNa в присутствии триацетата хрома под действием повышенной температуры способны образовывать полиэлектролитные гидрогели, что обуславливает возможность их использования в нефтедобывающей промышленности, в частности в технологиях ограничения водопритоков в нефтяных пластах.

Сополимеризация АМПСNa с ANa в водных растворах приводит к значительному обогащению СП звеньями ANa [3], что нежелательно, поскольку сшивание сополимеров в результате взаимодействия катионов Cr(III) с карбоксилатными группами происходит именно за счет звеньев ANa [4]. Высокое содержание звеньев ANa способствует увеличению густоты сшивки и снижению степени набухания полиэлектролитных гидрогелей.

Решить проблему обогащения СП акрилатными звеньями пытались проведением сополимеризации ANa и АМПСNa в твердой фазе. Твердофазная сополимеризация протекала в азеотропном режиме, при котором соотношение звеньев в СП такое же, как в мономерной смеси, однако этот способ не позволял достигнуть глубоких степеней конверсии мономеров [5]. В то же время известно [6], что совместная полимеризация 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) с метакриловой кислотой (МАК) приводит к получению сополимера, обедненного звеньями метакриловой кислоты. Для увеличения длины цепей СП и снижения концентрации карбоксилатных групп сополимеризацию проводили в концентрированном водном растворе, а вместо ANa использовали натриевую соль метакриловой кислоты (MANa). Данные о синтезе СП MANa с АМПСNa и константах сополимеризации этих мономеров в литературе отсутствуют.

Цель настоящей работы – синтезировать сополимеры MANa и АМПСNa свободнорадикальной полимеризацией в концентрированном водном растворе и определить константы сополимеризации методами Файнмана – Росса и Келена – Тьюдоша.

Материалы и методы исследований

В работе использовали АМПС с содержанием основного вещества 98 % (производство *Alfa Aesar*, *A Johnson Matthey Company*, США) с температурой плавления 185 °С без предварительной очистки. Для синтеза полиметакрилата натрия (ПМАНa), СП MANa и АМПСNa применяли перегнанную при пониженном давлении МАК плотностью 1,015 г/см³ в соответствии с ТУ 6-02-59-89 ЗАО «Вектон», представляющую собой бесцветную жидкость с резким запахом с $T_{пл} = 16$ °С и $T_{кип} = 162–163$ °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 служила окислительно-восстановительная система, состоящая из персульфата аммония $(NH_4)_2S_2O_8$ (ПСА) и сульфита натрия Na_2SO_3 (СН). ПСА очищали перекристаллизацией из водного раствора при $T = 40–45$ °С и сушили при комнатной температуре под вакуумом. Сульфит натрия, производимый ОАО «Гомельский химический завод», использовали без дополнительной очистки.

В трехгорлую колбу, снабженную мешалкой, термометром, обратным холодильником и охлаждаемую в водяной бане со льдом, помещали 0,1 моля одной из мономерных кислот или их смеси и растворяли в определенном объеме дистиллированной воды. Отдельно растворяли в воде 0,1 моля NaOH и медленно при охлаждении и перемешивании приливали раствор щелочи в колбу до получения водородного показателя реакционной смеси pH 7. По окончании нейтрализации в раствор мономеров вводили предварительно смешанные 10 % растворы ПСА и СН и поднимали температуру водяной бани до 60–65 °С. Состав СП для расчета констант сополимеризации определяли на образцах, полученных при малой конверсии мономеров (5–7 %). Для этого, как только СП начинал образовываться в течение первых 5 мин по достижении необходимой температуры, 5 мл реакционного раствора осаждали в ацетон, очищали переосаждением и сушили при температуре 50 °С до постоянной массы. Оставшуюся реакционную смесь продолжали нагревать в течение 4 ч, затем раствор полимера оставляли охлаждаться до следующего утра. Выход полимера составлял 97–99 %, концентрация полимера в воде была равна 40 %. По завершении синтеза полимер также очищали двойным переосаждением из водного раствора в ацетон и сушили в шкафу при 50 °С.

Состав СП определяли методом ИК-спектроскопии [7] с помощью спектрометра Bruker Alpha с приставкой Platinum-ATR (Германия). Предварительно на основе спектров смесей эталонных образцов

гомополимеров МАНa и АМПСNa, взятых в определенном мольном соотношении, была построена калибровочная зависимость отношения оптических плотностей полос пропускания 1544 и 1041 см⁻¹ (D_{1544}/D_{1041}) от мольной доли гомополимера МАНa. Затем по значениям D_{1544}/D_{1041} для сополимера по калибровочной зависимости определяли мольную долю звеньев МАНa в СП.

Константы сополимеризации (или относительные активности мономеров) оценивали по методу Файнмана – Росса [8]:

$$\left(\frac{F_2}{F_1} - 1\right) \frac{f_1}{f_2} = r_2 - r_1 \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 \frac{F_2}{F_1}, \quad (1)$$

где F_1 и F_2 – мольные доли звеньев МАНa и АМПСNa в СП; f_1 и f_2 – мольные доли мономеров МАНa и АМПСNa в исходной мономерной смеси; r_1 – константа сополимеризации МАНa; r_2 – константа сополимеризации АМПСNa. Уравнение состава СП в соответствии с этим методом приобретает вид формулы (1).

Константы сополимеризации были определены также по методу Келена – Тьюдоша [9], основанному на линейризации уравнения состава сополимера с учетом степени разброса экспериментальных данных с помощью фактора α [9]:

$$\eta = r_1 \xi - \frac{r_2}{\alpha} (1 - \xi), \quad (2)$$

где

$$\eta = \frac{\left(\frac{[M_1]}{[M_2]}\right) \left\{ \left(\frac{[m_1]}{[m_2]}\right) - 1 \right\}}{\frac{[m_1]}{[m_2]}} : \left(\alpha + \frac{\left(\frac{[M_1]}{[M_2]}\right)^2}{\frac{[m_1]}{[m_2]}} \right), \quad (3)$$

$$\xi = \frac{\left(\frac{[M_1]}{[M_2]}\right)^2}{\frac{[m_1]}{[m_2]}} : \left(\alpha + \frac{\left(\frac{[M_1]}{[M_2]}\right)^2}{\frac{[m_1]}{[m_2]}} \right), \quad (4)$$

$$\alpha = \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{[M_1]}{[M_2]}\right)^2}{\frac{[m_1]}{[m_2]}} \right]_{\min} \left[\frac{\left(\frac{[M_1]}{[M_2]}\right)^2}{\frac{[m_1]}{[m_2]}} \right]_{\max}}, \quad (5)$$

где в уравнениях (3) – (5) $[M_1]$ и $[M_2]$ – мольные доли f мономеров M_1 и M_2 в мономерной смеси; $[m_1]$ и $[m_2]$ – мольные доли звеньев M_1 и M_2 в СП; \min и \max – экстремальные значения отношений величин из ряда опытных данных.

По уравнениям (3), (4), (5) рассчитывали величины η , ξ , α и согласно уравнению (2) строили график зависимости η от ξ . Для определения r_1 находили по графику соответствующее значение ординаты при $\xi = 1$. Константу r_2 определяли по значению ординаты при $\xi = 0$.

Результаты исследований и их обсуждение

Синтез СП МАНa и АМПСNa осуществляли в условиях, аналогичных приводимым в работах [1; 3], при соотношении мономеров 1 : 4, 3 : 7, 1 : 1, 7 : 3. На рис. 1 представлена структурная формула образующегося СП.

Количество реагентов, используемых при получении СП с разным мольным соотношением звеньев МАНa и АМПСNa, а также их гомополимеров, приведено в табл. 1.

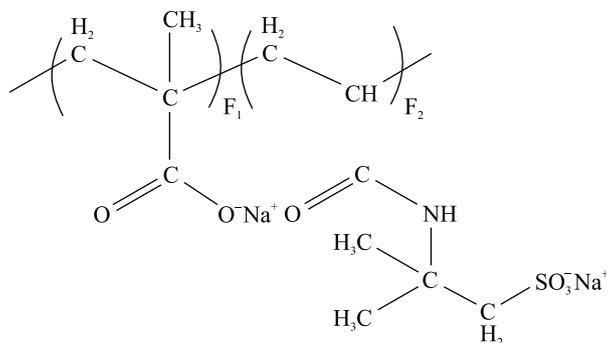


Рис. 1. Структурная формула сополимера MANa и АМПСNa
Fig. 1. Structural formula of the copolymer of sodium methacrylate (MANa) and sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate (AMPSNa)

Таблица 1

Условия синтеза гомо- и сополимеров MANa и АМПСNa

Table 1

Conditions for the synthesis of homo- and copolymers of MANa and AMPSNa

f_1	МАК, г/(моль)	АМПС, г/(моль)	NaOH, г/(моль)	ПСА, г/(моль/л)	СН, г/(моль/л)	Вода, г
0	0	20,7/(0,1)	4,0/(0,1)	0,035 5/ (5,0 · 10 ⁻³)	0,0100/ (2,0 · 10 ⁻³)	29,1
0,2	1,72/(0,02)	16,56/(0,08)	4,0/(0,1)	0,035 5/ (5,1 · 10 ⁻³)	0,0100/ (2,1 · 10 ⁻³)	28,9
0,3	2,58/(0,03)	14,49/(0,07)	4,0/(0,1)	0,035 5/ (5,4 · 10 ⁻³)	0,0100/ (2,2 · 10 ⁻³)	27,1
0,5	4,30/(0,05)	10,35/(0,05)	4,0/(0,1)	0,035 5/ (8,1 · 10 ⁻³)	0,0100/ (3,3 · 10 ⁻³)	17,5
0,7	6,02/(0,07)	6,21/(0,03)	4,0/(0,1)	0,035 5/ (7,2 · 10 ⁻³)	0,0100/ (2,9 · 10 ⁻³)	19,9
1,0	8,6/(0,1)	0	4,0/(0,1)	0,035 5/ (9,6 · 10 ⁻³)	0,0100/ (3,85 · 10 ⁻³)	14,4

Фрагменты инфракрасных спектров гомополимеров АМПСNa, MANa, а также их сополимеров, полученных при соотношении MANa и АМПСNa 3 : 7 и 1 : 1, приведены на рис. 2.

В спектре гомополимера MANa (см. рис. 2) полоса пропускания с максимумом в области 1544 см⁻¹ доминирующая, она характерна для асимметричных валентных колебаний группы COO⁻ [10]. Для спектра гомополимера АМПСNa характеристической полосой пропускания является полоса в области 1041 см⁻¹, которая соответствует симметричным валентным колебаниям сульфатных групп O=S=O [11]. Сигналы C—N и C—NH деформационных колебаний аминогрупп в гомополимере АМПСNa и его СП проявляются при 1542 см⁻¹ и в случае сополимеров совпадают с полосой пропускания звеньев MANa 1544 см⁻¹ (см. рис. 2). Однако совпадение полос не искажает результатов определения состава СП, поскольку оно имеет место и при построении калибровочной зависимости по смесям эталонных образцов гомополимеров, взятых в фиксированном мольном соотношении. Сигналы O=S=O асимметричных валентных колебаний проявляются в области 1182 см⁻¹. Полоса пропускания при 1651 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям карбонильной группы первичного амида.

Спектры СП включают сигналы, которые содержатся в спектрах обоих гомополимеров. По мере изменения состава меняется соотношение D_{1544}/D_{1041} . Оно увеличивается с возрастанием мольной доли звеньев MANa в СП. По величинам D_{1544}/D_{1041} ИК-спектров сополимеров были определены их составы при 5–7 % конверсии мономеров в зависимости от состава мономерной смеси. Содержание звеньев метакрилата натрия в сополимерах с высоким выходом (97–99 %) было меньше такового при 5–7 % конверсии мономеров в среднем на 12 %. Результаты оценки состава СП с разной степенью завершенности реакции полимеризации были опубликованы ранее в работе [12].

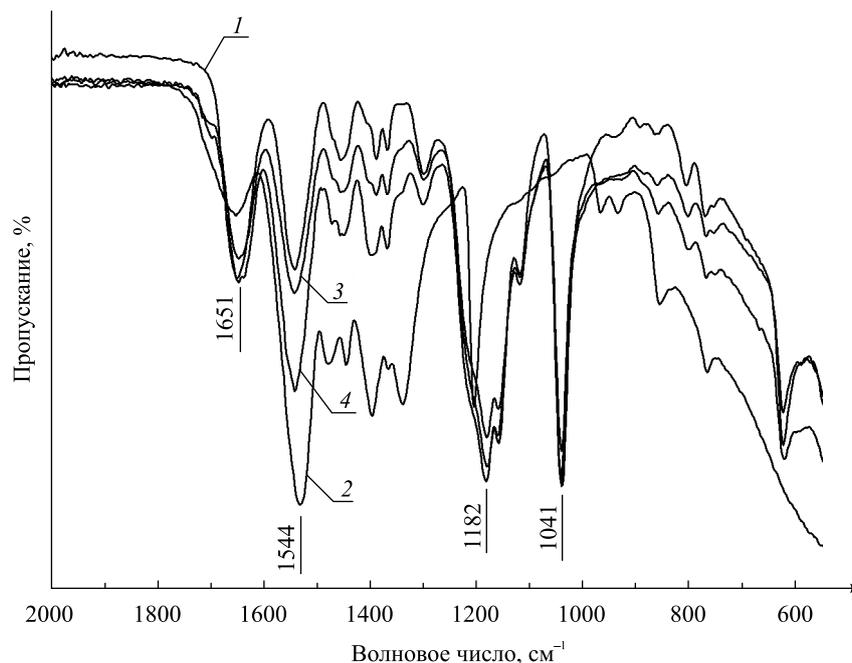


Рис. 2. Фрагменты ИК-спектров гомополимеров АМПСNa (1), МАНa (2) и сополимеров, полученных при соотношении МАНa и АМПСNa 3 : 7 (3) и 1 : 1 (4)

Fig. 2. Fragments of IR spectra for homopolymers of AMPSNa (1), MANa (2) and copolymers, obtained with the ratio of MANa and AMPSNa 3 : 7 (3) and 1 : 1 (4)

В соответствии с методом Файнмана – Росса константы сополимеризации МАНa и АМПСNa определяли построением прямолинейной зависимости $\left(\frac{F_2}{F_1} - 1\right) \frac{f_1}{f_2}$ от $\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 \frac{F_2}{F_1}$. Мольные доли звеньев МАНa и АМПСNa в СП (F_1 и F_2) и в исходной смеси мономеров (f_1 и f_2) для построения этой зависимости, а также константы сополимеризации представлены в табл. 2. Данные табл. 2 показывают, что сополимеризация АМПСNa с натриевой солью метакриловой кислоты, в отличие от АNa [1; 3], протекает с небольшим обеднением СП звеньями МАНa, что согласуется с работой [6]. Угловым коэффициентом прямой дает константу сополимеризации МАНa r_1 , а отрезок, отсекаемый по оси ординат – АМПСNa r_2 (рис. 3, а).

Таблица 2

Соотношения мольных долей звеньев МАНa и АМПСNa в СП от мольных долей мономеров в исходной смеси для определения констант сополимеризации по методу Файнмана – Росса

Table 2

The ratio of the mole part of the units MANa and AMPSNa in the copolymer as a function of the mole part of the monomers in the initial mixture for determining the copolymerization constants using the Finemann – Ross method

f_1	f_2	F_1	F_2	$(f_1/f_2)^2 \cdot (F_2/F_1)$	$(F_2/F_1 - 1) \cdot (f_1/f_2)$	r_1	r_2
0,2	0,8	0,20	0,80	0,25	0,75	$0,50 \pm 0,05$	$0,87 \pm 0,09$
0,3	0,7	0,27	0,73	0,50	0,73	То же	То же
0,5	0,5	0,47	0,53	1,15	0,15	»	»
0,7	0,3	0,61	0,39	3,48	-0,84	»	»

Исходные данные о составе СП, константах сополимеризации, а также рассчитанные величины для их нахождения по методу Келена – Тьюдоша представлены в табл. 3. По этому методу для установления констант сополимеризации из данных по составу СП рассчитывали значения величин η_i и ξ_i по формулам (3)–(5) и строили график зависимости η от ξ , показанный на рис. 3, б. По графику определяли

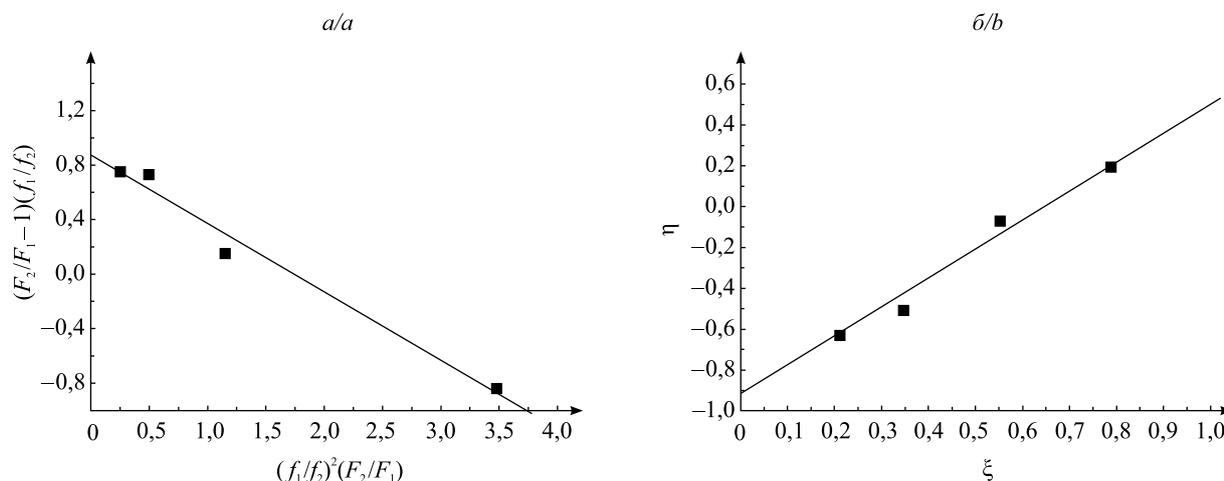


Рис. 3. Определение констант сополимеризации МАНa и АМПСNa методами Файнмана – Росса (а) и Келена – Тюдоса (б)

Fig. 3. Determination of the copolymerization constant MANa and AMPSNa using Finemann – Ross (a) and Kelen – Tüdös (b) methods

константу сополимеризации МАНa r_1 нахождением соответствующего значения ординаты при $\xi = 1$, а константу сополимеризации АМПСNa r_2 – по значению ординаты при $\xi = 0$.

Таблица 3

Соотношения мольных долей звеньев МАНa и АМПСNa в СП от мольных долей мономеров в исходной смеси для определения констант сополимеризации по методу Келена – Тюдоса

Table 3

The ratio of the mole part of the units MANa and AMPSNa in the copolymer as a function of the mole part of the monomers in the initial mixture for determining the copolymerization constants using the Kelen – Tüdös method

$[M_1]$	$[M_2]$	$[m_1]$	$[m_2]$	ξ	η	α	r_1	r_2
0,2	0,8	0,20	0,80	0,21	-0,63	0,93	$0,53 \pm 0,24$	$0,91 \pm 0,08$
0,3	0,7	0,27	0,73	0,35	-0,51	То же	То же	То же
0,5	0,5	0,47	0,53	0,55	-0,07	»	»	»
0,7	0,3	0,61	0,39	0,79	0,19	»	»	»

Константы сополимеризации, рассчитанные разными методами, близки по значениям, а их произведение меньше единицы, что свидетельствует о статистическом распределении звеньев в цепи. Константа сополимеризации МАНa r_1 , рассчитанная по двум указанным методам (0,50 и 0,53), ниже константы АМПСNa r_2 (0,87 и 0,91), т. е. синтезированный сополимер обеднен звеньями МАНa.

Заклучение

Таким образом, методами Файнмана – Росса и Келена – Тюдоса определены константы радикальной сополимеризации в водном растворе метакрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия. Величины констант свидетельствуют об обеднении сополимера метакрилатными звеньями и их статистическом распределении в цепи макромолекулы.

Библиографические ссылки

1. Куренков А. В. Радикальная сополимеризация 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия с акрилатом натрия в растворах : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.06. Казань, 2011.
2. Якимцова Л. Б., Сакович О. К. Гелеобразование композиций гомо- и сополимеров акрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия // Проблемы и перспективы развития химии, нефтехимии и нефтепереработки : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию Нижнекам. технол. ин-та (Нижнекамск, 25 апр. 2014 г.) : в 2 т. Нижнекамск, 2014. Т. 1. С. 320–323.

3. Куренков В. Ф., Куренков А. В., Лобанов Ф. И. Сополимеризация 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия с акрилатом натрия в концентрированных водных растворах // *Высокомолекул. соед. Сер. Б.* 2009. Т. 51, № 8. С. 1554–1558.
4. Шахно О. В., Гринюк Е. В., Круль Л. П. Состав макромолекулярных металлокомплексов в полиэлектролитных гидрогелях на основе функционализированных полиакриламидов, сшитых ацетатом хрома(III) // *Докл. НАН Беларуси.* 2013. Т. 57, № 3. С. 63–69.
5. 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.
6. Rivas B., Martinez E., Pereira E., Geckeler K. Synthesis, characterization and polychelatogenic properties of poly[(2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid)-co-(methacrylic acid)] // *Polymer International.* 2001. Vol. 50. P. 456–462. DOI: 10.1002/pi.657.
7. Данилович Т. Г., Якимцова Л. Б., Гринюк Е. В. и др. Влияние способа полимеризации на состав сополимеров акрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия // *Полимерные композиты и трибология : материалы Междунар. науч.-техн. конф. (Гомель, 23–26 июня 2015 г.).* Гомель, 2015. С. 161.
8. Семчиков Ю. Д. *Высокомолекулярные соединения : учеб. для вузов.* М. : ИЦ «Академия», 2003.
9. Дeryabina Г. И. *Сополимеризация : учеб. пособие.* Самара : ИЦ «Самарский университет», 2013.
10. Grabowska B., Holtzer M. Structural examination of the cross-linking reaction mechanism of polyacrylate binding agents // *Archives of Metallurgy and Materials.* 2009. Vol. 54, № 2. P. 427–437.
11. Valle H., Sanchez J., Rivas B. L. Poly(N-vinylpyrrolidone-co-2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate sodium) : synthesis, characterization, and its potential application for the removal of metal ions from aqueous solution // *J. Appl. Polym. Sci.* 2015. Vol. 132, № 2. P. 41272. DOI: 10.1002/APP.41272.
12. Якимцова Л. Б., Гринюк Е. В., Шейпак Т. М. и др. Соплимеризация метакрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия // *Перспективы развития и современные проблемы образования, науки и производства : материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию г. Нижнекамска (Нижнекамск, 20 мая 2016 г.) : в 2 т.* Нижнекамск, 2016. Т. 1. С. 51–54.

References

1. Kurenkov A. V. Radical copolymerization of sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate with sodium acrylate in solutions : autoabstract of diss. of the cand. of chem. sci. : 02.00.06. Kazan, 2011 (in Russ.).
2. 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. nauchn.-prakt. konf., posvyashch. 50-letiyu Nizhnekamskogo tekhnol. inst. (Nizhnekamsk, 25 April, 2014) : in 2 vol.* Nizhnekamsk, 2014. Vol. 1. P. 320–323 (in Russ.).
3. Kurenkov V. F., Kurenkov A. V., Lobanov F. I. Copolymerization of sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate with sodium acrylate in concentrated aqueous solutions. *Vysokomol. soedin. Ser. B.* 2009. Vol. 51, No. 8. P. 1554–1558 (in Russ.).
4. Shakhno O. V., Grinyuk E. V., Krul L. P. The composition of macromolecular metal complexes in polyelectrolyte hydrogels based on functionalized polyacrylamides crosslinked with chromium(III) acetate. *Dokl. Nats. Akad. Nauk Belarusi.* 2013. Vol. 57, No. 3. P. 63–69 (in Russ.).
5. Yakimtsova L. B., Shaipak T. M. Solid-phase copolymerization of sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate and sodium acrylate. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khimiya. Biol. Geogr.* 2016. No. 3. P. 29–35 (in Russ.).
6. Rivas B., Martinez E., Pereira E., Geckeler K. Synthesis, characterization and polychelatogenic properties of poly[(2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid)-co-(methacrylic acid)]. *Polym. Int.* 2001. Vol. 50. P. 456–462. DOI: 10.1002/pi.657.
7. Danilovich T. G., Yakimtsova L. B., Grinyuk E. V., et al. Influence of polymerization method on composition of sodium acrylate and sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate copolymers. *Polimernye kompozity i tribologiya : materialy Mezhdunar. nauchn.-tekh. konf. (Gomel, 23–26 June, 2015).* Gomel, 2015. P. 161 (in Russ.).
8. Semchikov Yu. D. *High-molecular compounds.* Moscow : Publ. center «Academia», 2003 (in Russ.).
9. Deryabina G. I. *Copolymerization.* Samara : Publ. center «Samarskiy Universitet», 2013 (in Russ.).
10. Grabowska B., Holtzer M. Structural examination of the cross-linking reaction mechanism of polyacrylate binding agents. *Archives of Metallurgy and Materials.* 2009. Vol. 54, No. 2. P. 427–437.
11. Valle H., Sanchez J., Rivas B. L. Poly(N-vinylpyrrolidone-co-2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate sodium) : synthesis, characterization, and its potential application for the removal of metal ions from aqueous solution. *J. Appl. Polym. Sci.* 2015. Vol. 132, No. 2. P. 41272. DOI: 10.1002/APP.41272.
12. Yakimtsova L. B., Grinyuk E. V., Shaipak T. M., et al. Copolymerization of sodium methacrylate and sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate. *Perspektivy razvitiya i sovremennyye problemy obrazovaniya, nauki i proizvodstva : materialy Vseross. nauchn.-prakt. konf., posvyashch. 50-letiyu g. Nizhnekamsk (Nizhnekamsk, 20 May, 2016) : in 2 vol.* Nizhnekamsk, 2016. Vol. 1. P. 51–54 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 12.06.2017.
Received by editorial board 12.06.2017.