

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

УДК 661.728.892

НАТРИЙ-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗА КАК ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТ ПОЛИСАХАРИДНЫХ РЕАГЕНТОВ (ОБЗОР)

М.Н. Денисова, В.В. Будаева, К.М. Минаев

Проведен поиск информации о свойствах полисахаридных реагентов, основным компонентом которых является карбоксиметилцеллюлоза. Показано, что их практическое применение определяют степень этерификации и полимеризации, а также фракционным составом. В зависимости от марки карбоксиметилцеллюлозы, которые характеризуются определенными значениями степени полимеризации и степени замещения, области применения эфира различаются от применения для стабилизации пресных и слабоминерализованных утяжеленных буровых растворов до стабилизации высокоминерализованных растворов при бурении глубоких и сверхглубоких скважин.

Ключевые слова: полисахаридные реагенты, карбоксиметилцеллюлоза, степень замещения, массовая доля основного вещества, вязкость.

Развитие и поддержание нефтегазодобывающих отраслей промышленности Российской Федерации на необходимом уровне напрямую зависит от результативного, экономически выгодного бурения разведочных и эксплуатационных скважин, от применяемых при бурении и добыче реагентов и технологий. Важнейшими компонентами бурового раствора, обеспечивающими его фильтрационные, реологические и структурно-механические характеристики являются реагенты-стабилизаторы – высокомолекулярные, водорастворимые анионоактивные, либо неионогенные полимеры. Использование тех или иных полимеров определяется условиями бурения, определяющими в свою очередь необходимый набор свойств промышленной жидкости, но во всех случаях технологическая и экономическая эффективность промывки скважины напрямую зависит от качества реагентов-стабилизаторов. Из большого ассортимента химических продуктов, применяемых для приготовления технологических и промышленных жидкостей, наиболее востребованы реагенты на основе природных полимеров: крахмал, биополимеры, простые эфиры целлюлозы и крахмала [1–5].

Проблема улучшения характеристик растворов с использованием модифицированных природных полимеров весьма актуальна. Буровые растворы с использованием полисахаридных реагентов, основным компонентом которых является карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) высокого качества, смогут обеспечить выполнение сложных технологи-

ческих задач по сохранению устойчивости ствола скважины и достижению высоких технико-экономических показателей бурения скважин в целом.

КМЦ представляет собой простой эфир целлюлозы и гликолевой кислоты и применяется как в форме целлюлозогликолевой кислоты, так и виде различных солей. Наиболее широко используется натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (натрий карбоксиметилцеллюлоза, или NaКМЦ) $[C_6H_7O_2(OH)_3 \cdot x(OCH_2COONa)_x]_n$ [2].

Нефтегазодобывающая промышленность является крупнейшим потребителем КМЦ разных марок [1, 3, 6–18]. Многообразие систем и рецептур буровых растворов обусловлено различными геологическими условиями бурения, связанными со свойствами разбухаемых пород, давлениями, температурами и многими другими факторами строительства скважин. Стандартная рецептура водного глинистого бурового раствора содержит 2–4 кг/м³ (до 15–20 кг/м³ в минерализованных растворах) КМЦ либо других полимерных добавок в зависимости от функциональности буровой жидкости.

Для синтеза NaКМЦ в качестве сырья в основном используют целлюлозу древесины [1–5, 11, 19–36], но в последнее время активно развивается направление получения NaКМЦ из недревесных источников целлюлозы [20–30]. Среди них лен [22–24], растительные отходы сельского хозяйства [25–30], энергетические растения [20, 21, 27, 28, 30].

Активно идет разработка новых способов получения карбоксиметилцеллюлозы [27–45]. Известны твердофазный и суспензионный способ получения натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы [27–30, 39]. Применением отмытки NaКМЦ от различных примесей повышают качество карбоксиметилирования [35] или качество готовой технической соли [33, 35]. Для получения качественного продукта перед карбоксиметилированием проводят активацию целлюлозы или воздействуют на процесс микроволновым излучением [34, 40, 41]. Проводят исследование способов получения натрий-карбоксиметилцеллюлозного продукта из растительного сырья, содержащего целлюлозу, без ее отделения от присутствующих в тканях растений лигнина, липидов и смолистых веществ [37, 38]. Разработан способ получения карбоксиметилэфиров лигноуглеводных материалов для использования в качестве реагентов для бурения нефтяных и газовых скважин, в строительной индустрии, в качестве химических реагентов при флотации, в горноперерабатывающей промышленности [43–45].

Для практического применения NaКМЦ важен ряд показателей: степень замещения, массовая доля основного вещества, степень полимеризации, растворимость и др. [1–5, 45–61]. Длина молекулярной цепочки макромолекулы NaКМЦ и количество карбоксиметильных групп, распределение заместителей вдоль молекулярных цепей формируют такие свойства данного полимера, как его растворимость в различных растворителях и вязкость растворов.

NaКМЦ техническая представляет собой мелкозернистый, волокнистый или порошкообразный материал белого или кремового цвета с насыпной плотностью 400–800 кг/м³ и рентгеновской плотностью кристалла 1590 кг/м³. КМЦ является гигроскопичным веществом. NaКМЦ нетоксична и невзрывоопасна, но пыль натрий-КМЦ пожароопасна. Температура размягчения NaКМЦ – 443 К. При комнатной температуре в обычных условиях КМЦ содержит около 11,5 % влаги. КМЦ различных марок отличается степенью полимеризации. Наиболее важным свойством КМЦ является ее способность образовывать высоковязкие прозрачные водные растворы. NaКМЦ растворяется хорошо как в холодной, так и в горячей воде с образованием нейтральных непенящихся растворов. Водные растворы NaКМЦ имеют высокую вязкость, максимальное значение рН составляет 6–9. NaКМЦ химически совместима со многими веществами (водорастворимыми смолами, желати-

ном, водорастворимыми эфирами целлюлозы, крахмалом, глицерином, карбамидоформальдегидными смолами, некоторыми гликолями и их производными и многими синтетическими природными латексами), чем объясняются области ее применения: строительная промышленность (в качестве клеящего материала), керамическая промышленность (в качестве суспендирующего и связывающего агента) [1, 2].

Наиболее важным свойством NaКМЦ является её способность образовывать при различных температурах низко- и высоковязкие растворы. Вязкость растворов можно варьировать в широких пределах. Для получения высоковязкого раствора с минимальной концентрацией NaКМЦ употребляют продукт с более высокой степенью полимеризации, и наоборот. При добавлении низкомолекулярной NaКМЦ к раствору высокомолекулярной вязкость водных растворов уменьшается, несмотря на увеличение общей концентрации раствора [5]. Различная вязкость растворов NaКМЦ может определить области применения полимера: растворы могут обладать стабилизирующим и загустительным эффектами, способностью образовывать пленку, обладающую такими характеристиками как защитная, коллоидная и адгезионная и др.

NaКМЦ эффективна в нейтральных и слабощелочных средах (рН от 6,0 до 9,0) и малоэффективна в кислых. При рН ниже 6,0 вязкость растворов NaКМЦ быстро падает, что является следствием постепенного выпадения в осадок свободной КМЦ, полностью заканчивающегося при рН 2,5. Вязкость растворов, при значениях рН выше 9,0, также начинает уменьшаться: сначала медленно, потом более быстро, когда величина рН достигает 11,5. Весьма значительное уменьшение вязкости в сильнощелочной области не является следствием осаждения NaКМЦ, т.к. даже при рН 13 она полностью остается в растворенном состоянии. Указанные изменения вязкости обратимы [2].

NaКМЦ обладает пленкообразующими свойствами: прочность пленок при растяжении от 50 до 93 МПа, относительное удлинение от 8 % до 14 %, число двойных перегибов (до разрушения) около 3000.

При нагревании сухой NaКМЦ до температуры выше 403 К ухудшается ее растворимость в воде. При температуре выше 483 К происходит разложение с образованием карбоната натрия [1, 2].

Таким образом, из представленных результатов поиска информации в российских и международных изданиях, показано, что

НАТРИЙ-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗА КАК ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТ ПОЛИСАХАРИДНЫХ РЕАГЕНТОВ (ОБЗОР)

свойства растворов полисахаридных реагентов, основным компонентом которых является NaКМЦ, и их пригодность для практических целей определяются степенью этерификации и полимеризации, а также фракционным составом. Низковязкие марки КМЦ (СП = 200–300, СЗ = 80–90) применяются в основном для стабилизации пресных и слабоминерализованных утяжеленных буровых растворов. Средневязкие марки КМЦ (СП = 300–450, СЗ = 80–90) применяются для стабилизации среднеминерализованных утяжеленных и неутяжеленных буровых растворов. Высоковязкие марки КМЦ (СП = 500, СЗ = 80–90) разработаны специально для стабилизации высокоминерализованных растворов при бурении глубоких и сверхглубоких скважин [7].

Показано, что для повышения степени замещения и получения более однородного по фракционному составу образца КМЦ нужно проводить двойную этерификацию [20, 21]. Входящие в состав образца разные фракции КМЦ отвечают за химическую и физическую гетерогенность препаратов, что напрямую оказывает влияние на свойства водных растворов, применяемых для стабилизации глинистых растворов. Установлено, что чем больше гелеобразной фракции в растворе КМЦ, тем ниже стабилизирующие свойства ее раствора [1–3, 5, 9–18].

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (уникальный идентификатор работы RFMEFI57815X0119).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широков, В. А. Исследование и разработка модификаций полисахаридных реагентов для повышения качества промывочных жидкостей при строительстве нефтяных и газовых скважин : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.15 / Широков В. А. – Краснодар, 2010. – 25 с.
2. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч. II; под ред. В. А. Столяровой. – СПб. : НПО «Профессионал», 2006. – 455 с.
3. Aboulrous, A. A. Application of natural polymers in engineering / A. A. Aboulrous, T. Mahmoud, A. M. Alsabagh, M. I. Abdou // *Natural Polymers*. – 2016. – P. 185–218.
4. Zhang, G.-L. Preparation and characterization of sodiumcarboxymethyl cellulose from cotton stalk using microwave heating / G.-L. Zhang, L. Zhang, H. Deng, P. Sun // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. – 2011. – Vol. 86, № 4. – P. 584–589.
5. Heinze, T. Carboxymethyl ethers of cellulose and starch – a review // *Химия растительного сырья*. – 2005. – № 3. – С. 13–29.
6. Wang, D. The China Continental scientific drilling project CCSD-1 well drilling engineering and construction / D. Wang, K. Yang, W. Zhang, Y. Zhu, X. Zhang. – Beijing : Springer, 2015. – 375 p.
7. Рязанов, А. Я. Энциклопедия по буровым растворам / А. Я. Рязанов. – Оренбург : Летопись, 2005. – 664 с.
8. Сенюшкин, С. В. Исследование и разработка составов полисахаридных буровых растворов с нелинейными реологическими характеристиками : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.15 / Сенюшкин С. В. – Тюмень, 2012. – 26 с.
9. Pellizzari, L. The use of tracers to assess drill-mud penetration depth into sandstone cores during deep drilling: method development and application / L. Pellizzari, D. Neumann, M. Alawi, D. Voigt, B. Norden, H. Würdemann // *Environmental Earth Sciences*. – 2013. – Vol. 70. – P. 3727–3738.
10. Safi, B. Physico-chemical and rheological characterization of water-based mud in the presence of polymers / B. Safi, S. Zarouri, R. Chabane-Chaouache, M. Saidi, A. Benmounah // *Journal of Petroleum and Gas Engineering*. – 2015. – DOI 10.1007/s13202-015-0182-x.
11. Bazarnova, N. G. Carboxymethylated wood as a chemical reagent for preparation of drilling fluids / N. G. Bazarnova, P. S. Chubik, A. G. Khmel'nitskii, A. I. Galochkin, V. I. Markin // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2001. – Vol. 74, № 4. – P. 681–686.
12. Safi, B. Physico-chemical and rheological characterization of water-based mud in the presence of polymers / B. Safi, S. Zarouri, R. Chabane-Chaouache, M. Saidi, A. Benmounah // *Journal of Petroleum and Gas Engineering*. – 2015. – P. 1–6.
13. Kok, M. V. Rheological evaluation of polymers as drilling fluids / M. V. Kok, T. Alikaya // *Petroleum Science and Technology*. – 2003. – Vol. 21, № 3. – P. 1–2.
14. Mahto, V. Rheological study of a water based oil well drilling fluid / V. Mahto, V. P. Sharma // *Petroleum Science and Technology*. – 2004. – Vol. 45. – P. 123–128.
15. Baba, H. S. Rheological properties of biopolymers drilling fluids / H. S. Baba, M. Belhadri // *Petroleum Science and Technology*. – 2009. – Vol. 45. – P. 84–90.
16. Fernandez, L. C. Characterization and surfactant-enhanced washing treatability of drilling fluids stored for more than 20 years / L. C. Fernandez, H. Zagarra, G. Vaca, L. G. Torres // *Journal of surfactants and detergents*. – 2008. – Vol. 11. – P. 307–314.
17. Чихоткин, В. Ф. Буровой раствор и управление его реологическими свойствами при бурении скважин в осложненных условиях / В. Ф. Чихоткин, А. Я. Третьяк, Ю. М. Рыбаленко, М. Л. Бурда // *Бурение и нефть*. – 2007. – № 7/8. – С. 58.
18. Гавура, В. Е. Контроль и регулирование разработки нефтяных и газонефтяных месторождений / В. Е. Гавура. – М. : ВНИИОНГ, 2001. – 340 с.
19. Маркин, В. И. Исследование карбоксиметилирования древесины суспензионным спосо-

бом : дис. ... канд. хим. наук : 05.21.03 / Маркин В.И. – Барнаул, 1999. – 159 с.

20. Barba, C. Synthesis and characterization of carboxymethylcelluloses from non-wood pulps I. Accessibility of cellulose fibers and CMC synthesis / C. Barba, D. Montané, M. Rinaudo, X. Farriol // *Cellulose*. – 2002. – Vol. 9. – P. 319–326.

21. Barba, C. Synthesis and characterization of carboxymethylcelluloses from non-wood pulps II. Rheological behavior of CMC in aqueous solution / C. Barba, D. Montané, X. Farriol, J. Desbrières, M. Rinaudo // *Cellulose*. – 2002. – Vol. 9. – P. 327–335.

22. Забивалова, Н. М. Эфиры целлюлозы на основе льняных волокон, содержащие карбоксиметильные и амидные группы, и их физико-химические свойства : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.06 / Забивалова Н. М. – Санкт-Петербург, 2009. – 24 с.

23. Куничан, В. А. Синтез карбоксиметилцеллюлозы из льняной целлюлозы / В. А. Куничан, С. В. Харитонов // *Химия растительного сырья*. – 1999. – № 2. – С. 155–157.

24. Куценко, Л. И. Получение карбоксиметилцеллюлозы на основе коротких волокон и одревесневшей части стеблей льна (костры) / Л. И. Куценко, А. М. Бочек, Е. Н. Власова, Б. З. Волчек // *Журнал прикладной химии*. – 2005. – Т. 78, № 12. – С. 2045–2049.

25. Biswas, A. Conversion of agricultural residues to carboxymethylcellulose and carboxymethylcellulose acetate / A. Biswas, S. Kima, G. W. Sellanga, H. N. Cheng // *Industrial Crops and Products*. – 2014. – № 60. – P. 259–265.

26. Mansouri, S. Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from tunisian vine stem: study of water absorption and retention capacities / S. Mansouri, R. Khiari, F. Bettaieb, A. A. El-Gendy, F. Mhenni // *Journal of Polymers and The Environment*. – 2015. – Vol. 23. – P. 190–198.

27. Обрезкова, М. В. Карбоксиметилцеллюлоза из нетрадиционного сырья / М. В. Обрезкова, В. В. Будаева, Г. В. Сакович, Л. К. Алтунина // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. – 2010. – № 11. – С. 29–32.

28. Обрезкова, М. В. Получение эфира из целлюлозы нетрадиционного недревесного сырья // *Ползуновский вестник*. – 2013. – № 3. – С. 206–209.

29. Будаева, В. В. Карбоксиметилцеллюлоза из плодовых оболочек овса / В. В. Будаева, М. В. Обрезкова, Н. А. Томильцева, Г. В. Сакович // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. – 2011. – № 9. – С. 41–45.

30. Пат. 2448118 Российская Федерация. Способ получения целлюлозы из недревесного растительного сырья с содержанием нативной целлюлозы не более 50 % и способ получения из нее карбоксиметилцеллюлозы / Будаева В. В., Обрезкова М. В., Золотухин В. Н., Сакович Г. В., Сысолятин С. В. – № 2010145721 ; заявл. 09.11.2010 ; опубл. 20.04.2012, Бюл. № 11. – 10 с.

31. Маркин, В. И. Карбоксиметилирование растительного сырья. Теория и практика : монография / В. И. Маркин. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2010 – 167 с.

32. Пат. 2204567 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12. Способ получения натриевой соли карбоксиметилцеллюлозного продукта из растительного сырья / Куковицкий Б. Ф., Кучин А. В., Демин В. А., Разманова И. А. – 2000, Бюл. № 8.

33. Пат. 2177481 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12. Способ получения карбоксиметилцеллюлозы / Давыдова В. И., Смирнова Н. В., Титова В. В., Петренко В. А., Бондарь В. А. – заявл. 19.10.2000 ; опубл. 27.12.2001, Бюл. № 36.

34. Пат. 2223278 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12. Способ получения натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы / Бондарь В. А., Ильин М. И., Смирнова Н. В. – 2004, Бюл. № 4.

35. Пат. 2106360 Российская Федерация. Способ получения карбоксиметилцеллюлозы / Куничан В. А., Осин А. И., Дунин М. С., Беседин В. И., Харитонов С. В. – Заявл. 19.06.1996 ; опубл. 10.03.1998.

36. Пат. 2178420 Российская Федерация. Способ получения карбоксиметилцеллюлозы / Давыдова В. И., Смирнова Н. В., Титова В. В., Петренко В. А., Бондарь В. А. – № 2000103010/04 ; заявл. 10.02.2000 ; опубл. 20.01.2002, Бюл. № 2.

37. Пат. 2155191 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12, С 08 В 15/04. Способ получения натрий-карбоксиметилцеллюлозы / Ломовский О. И., Фадеев Е. И. – 2000, Бюл. № 24.

38. Пат. 2256667 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12. Способ получения натрий-карбоксиметилцеллюлозного продукта из растительного сырья / Ломовский О. И., Фадеев Е. И. – 2004, Бюл. № 20.

39. Базарнова, Н. Г. Химическое модифицирование древесины / Н. Г. Базарнова, И. Б. Катраков, В. И. Маркин // *Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева)*. – 2004. – Т. XLVIII, № 3. – С. 108–115.

40. Пат. 2146682 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12. Способ получения натрий-карбоксиметилцеллюлозы / Акулинин В. А., Буланов Р. А., Домнин В. О., Жевтый Н. Н., Нусинович Д. С., Сूपырев А. В., Тихомиров А. В., Яруллин Р. Н. – 2003, Бюл. № 14.

41. Пат. 2223278 Российская Федерация. Способ получения натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы / Бондарь В. А., Ильин М. И., Смирнова Н. В. – Заявл. 22.08.2002 ; опубл. 10.02.2004, Бюл. № 4.

42. Базарнова, Н. Г. Молекулярный состав целлюлозы, карбоксиметилированной в составе древесины под воздействием микроволнового излучения в среде различных растворителей / Н. Г. Базарнова, Е. В. Калюта, В. И. Маркин, В. С. Морозова, М. Ю. Чепрасова // *Химия растительного сырья*. – 2011. – № 2. – С. 87–90.

43. Пат. 2442794 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12. Способ карбоксиметилирования лигноуглеводных материалов / Маркин В. И., Колосов П. В., Базарнова Н. Г., Заздравных Л. Ю. – Опубл. 20.02.2012.

44. Пат. 2130947 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12. Способ карбоксиметилирования лигноуглеводных материалов / Галочкин А. И., Маркин В. И., Базарнова Н. Г., Заставенко Н. В., Кре-

НАТРИЙ-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗА КАК ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТ ПОЛИСАХАРИДНЫХ РЕАГЕНТОВ (ОБЗОР)

стьянникова Н. С. – Оубл. 27.05.1999.

45. Пат. 2135517 Российская Федерация, МПК С 08 В 11/12, В 27 К 5/00, В 27 К 9/00. Способ карбоксиметилирования лигноуглеводных материалов / Базарнова Н. Г., Токарева И. В., Галочкин А. И., Маркин В. И. – Оубл. 27.08.1999.

46. Yang, X. H. Viscosity properties of sodium carboxymethylcellulose solutions / X. H. Yang, W. L. Zhu // Cellulose. – 2007. – № 14. – P. 409–417.

47. Vaca-Garcia, C. Determination of the degree of substitution (DS) of mixed cellulose esters by elemental analysis / C. Vaca-Garcia, E. Borredon, A. Gaset // Cellulose. – 2001. – Vol. 8, № 3. – P. 225–231.

48. Andriana, E. V. Rheological characterization of carboxymethylcellulose solution under aseptic processing conditions / E. V. Andriana, K. P. Tunc, K. P. Sandeep // Journal of Food Engineering. – 2002. – Vol. 25, № 1. – P. 41–46.

49. McLaughlin, R. R. The determination of the degree of substitution of carboxymethylcellulose over the entire substitution range / R. R. McLaughlin, H. E. Herbst // Canadian Journal of Research. – 1998. – Vol. 28, Sec. B. – P. 737–744.

50. Шачнева, Е. Ю. Изучение физико-химических свойств частиц карбоксиметилцеллюлозы (кмц) в водных растворах / Е. Ю. Шачнева, З. А. Магомедова, Х. З. Малачиева // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1. – С. 152–156.

51. Alekseeva, O. V. Rheological properties of aqueous solutions of sodium carboxymethylcellulose and methylhydroxypropylcellulose blends / O. V. Alekseeva, O. V. Romzhkova, A. N. Prusov, V. A. Padokhin, Y. A. Anikin // Fibre chemistry. – 2006. – Vol. 38, № 5. – P. 396–399.

52. Prusov, A. N. Viscosity properties of aqueous solutions of carboxymethylcellulose and hydroxyethylcellulose blends / A. N. Prusov, S. M. Prusova // Fibre chemistry. – 2007. – Vol. 39, № 1. – P. 12–15.

53. Прусов, А. Н. Реологические свойства и структура водных растворов полисахаридов / А. Н. Прусов, С. М. Прусова, И. В. Рябина // Химические волокна. – 2003. – № 2. – С. 31–34.

54. Алексеева, О. В. Реологические свойства водных растворов смесей натрийкарбоксиметил- и метилоксипропилцеллюлозы / О. В. Алексеева, Я. А. Аникин, В. А. Падохин, А. Н. Прусов, О. В. Рожкова // Химические волокна. – 2006. – № 5. – С. 41–44.

55. Легаев, А. И. Кинетика процесса карбоксиметилирования щелочной целлюлозы твердофазным способом / А. И. Легаев, М. В. Обрезкова, В. А. Куничан, Д. В. Чашилов // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2. – С. 74–77.

56. Шипина, О. Т. Реологические свойства растворов натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) / О. Т. Шипина, И. Б. Фаттахов, О. К. Нугманов, В. Ф. Сопин // Химическая промышленность. – 1999. – № 8. – С. 484–488.

57. Юсупова, Л. Д. Реологические свойства умеренно-концентрированных растворов карбоксиметилцеллюлозы в зависимости от её степени нейтрализации / Л. Д. Юсупова, А. М. Бочек, Г. А. Петропавловский // Журнал прикладной химии. – 1994. – Т. 67, № 7. – С. 1187–1191.

58. Thevarajah, J. J. Separation and characterization of synthetic polyelectrolytes and polysaccharides with capillary electrophoresis / J. J. Thevarajah, M. Gaborieau, P. Castignolles // Advances in Chemistry. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–11.

59. Pegado da Silva, M. T. Carboxymethylcellulose template synthesis of porous aluminium oxide from hybrid spheres: influence of the degree of substitution and polymerization / M. T. Pegado da Silva, J. C. Carvalho, S. B. Castellã Pergher, T. P. Braga // Journal of Porous Materials. – 2016. – Vol. 23, № 3. – P. 811–822.

60. Pralat, K. Comparison of electro calorimetric and cooling methods to determine specific heat of aqueous solutions of the sodium salt carboxymethylcellulose / K. Pralat // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2015. – Vol. 40. – P. 3409–3415.

61. Бекчанов, И. К. Термостойкие полимерные системы на основе карбоксиметилцеллюлозы: выпускная квалификационная работа : 5А440411 / И. К. Бекчанов. – Ташкент, 2012. – 65 с.

Денисова Марина Николаевна, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: aniram-1988@mail.ru, тел.: (3854) 30-59-85.

Будаева Вера Владимировна, кандидат химических наук, доцент, заведующая лабораторией биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: budaeva@ipcet.ru, тел.: (3854) 30-59-85.

Минаев Константин Мадестович, кандидат химических наук, доцент кафедры бурения скважин Института природных ресурсов, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ), e-mail: minaevkm@bk.ru, тел.: (3822) 97-71-29.