

И. Н. Куляшова (к.т.н., доц.), А. В. Сидельников (д.х.н., проф.),
А. Д. Бадикова (д.т.н., проф., зав. каф.), Е. Д. Жирнова (асп.),
А. А. Хусаинова (магистрант), А. Г. Мустафин (д.х.н., проф.) *

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ИМПЕДАНСОМЕТРИИ

Уфимский государственный нефтяной технический университет, кафедра физической и органической химии
450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: irina-0472@yandex.ru

* Уфимский институт химии УФИЦ РАН

450054, г. Уфа, пр. Октября, 71; тел. (347)2353815

I. N. Kulyashova, A. V. Sidelnikov, A. D. Badikova,
E. D. Zhirnova, A. A. Khusainova, A. G. Mustafin*

OBTAINING OF POLYELECTROLYTE COMPLEX USING THE IMPEDANCE METHOD

Ufa State Petroleum Technological University

1, Kosmonavtov Str., 450062, Ufa, Russia; e-mail: irina-0472@yandex.ru

*Ufa Institute of Chemistry of Ufa Federal Research Center of the RAS

71, Prospekt Oktyabrya Str., 450054, Ufa, Russia, ph. (347) 2353815

Целью работы было получение устойчивого полиэлектролитного комплекса путем подбора мольных соотношений анионных и катионных составляющих с использованием зависимости импеданса электрохимической ячейки от частоты переменного тока. В качестве исходных компонентов полиэлектролитного комплекса исследовались природные полимеры: анионный (лигносульфонат натрия) и катионный (крахмал). Мольные соотношения исходных компонентов составляли 1:1. Исследована возможность применения полученного комплекса в качестве реагента для регулирования параметров буровой промывочной жидкости при температурах до 160 °С. Введение в глинистый раствор 1% комплекса эффективно снижает значения условной вязкости до 36 с относительно глинистого раствора (60 с) и показателя фильтрации до 12 см³/30 мин относительно глинистого раствора (22 см³/30 мин).

Ключевые слова: анионный полиэлектролит; буровой глинистый раствор; катионный крахмал; катионный полиэлектролит; комплексный реагент; лигносульфонат натрия; метод импедансометрии; полиэлектролитный комплекс; природный полимер; показатель фильтрации; реологические свойства; условная вязкость.

The aim of this work was to obtain a stable polyelectrolyte complex by selecting the molar ratios of anionic and cationic components, which consists in measuring the dependence of the impedance of an electrochemical cell on the frequency of an alternating current. Natural polymers were studied as the initial components of the polyelectrolyte complex: anionic – sodium lignosulfonate and cationic starch. The molar ratios of the initial components for the creation of the polyelectrolyte complex were 1: 1. The possibility of using the obtained polyelectrolyte complex as a reagent for regulating the parameters of drilling fluid at temperatures up to 160 °C was investigated. The introduction of a 1% sample of the complex into the clay solution effectively reduces the values of the conditional viscosity – 36 s relative to the clay solution (60 s) and the filtration rate – 12 cm³/30 min relative to the clay solution (22 cm³/30 min).

Key words: anionic polyelectrolyte; cationic polyelectrolyte; cationic starch; complex reagent; conditional viscosity; drilling mud; impedance measurement method; filtration rate; natural polymer; polyelectrolyte complex; rheological properties; sodium lignosulfonate.

Работа выполнена по теме госзадания №АААА-А19-119020890014-7.

The work was carried out on the subject of state assignment No.АААА-А19-119020890014-7.

Дата поступления 16.09.21

В настоящее время интерес специалистов, работающих в области производства реагентов для нефтегазодобычи, привлекают полиэлектролитные комплексы на основе полимеров природного происхождения катионного и анионного типов. Уникальность химической структуры и функциональное разнообразие в сочетании с биоразлагаемостью, экологической безопасностью и неограниченно воспроизводимой сырьевой базой, а также технологической простотой и возможностью варьирования условий их получения открывают широкие возможности для их практического применения ¹.

Полиэлектролитные комплексы (ПЭК) представляют собой особый класс полимерных соединений, образующихся в результате взаимодействия противоположно заряженных полиэлектролитов за счет кооперативного электростатического связывания поликатионов с полианионами ².

В качестве катионной основы таких комплексов зачастую используют полисахариды — крахмалы и их производные, которые благодаря наличию реакционно-активных гидроксильных групп способны легко вступать в химические реакции, что позволяет регулировать физико-химические свойства получаемых реагентов.

Крахмал используется в буровых растворах и является экономичным средством снижения фильтрации высокощелочных растворов и растворов, насыщенных солями, при неглубоком бурении. С увеличением глубины бурения, при температурах выше 90 °С крахмал быстро разрушается, теряя свою эффективность ³.

Для использования в буровых системах и растворах для закачивания скважин предложено большое число модификаций и производных крахмала.

Перспективным направлением модифицирования крахмалов в настоящее время является процесс катионирования.

Реакция катионирования крахмала заключается во введении катионных, преимущественно аминных, групп в макромолекулу крахмала (рис. 1). Катионированный крахмал имеет положительный заряд макромолекулы, что обеспечивает его электростатическое взаимодействие и удержание при контакте с анионными группами лигносульфоната натрия ⁴.

Лигносульфонат натрия — побочный продукт химической делигнификации древесины на целлюлозно-бумажных комбинатах — является наиболее распространенным по объему применения из большого ассортимента различных полианионных природных полимеров ⁵.

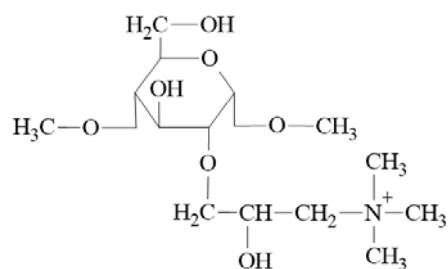


Рис. 1. Структурное звено катионного крахмала

Лигносульфонаты натрия представляют собой высокомолекулярный анионоактивный полимер сложного строения, содержащий различные функциональные группы: метоксильные, гидроксильные, фенольные, карбонильные, карбоксильные и ионизированные сульфогруппы, придающие молекуле отрицательный заряд, уравновешенный положительно заряженными катионами натрия (рис. 2) ⁶.

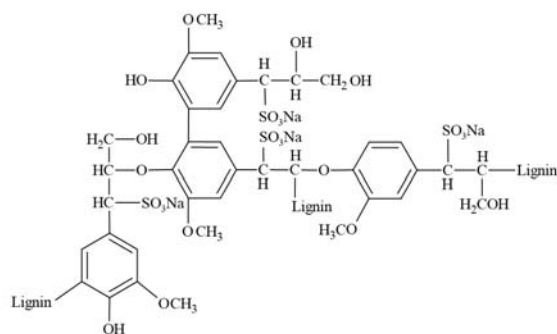


Рис. 2. Схематическое изображение основных строительных блоков молекулы лигносульфоната натрия

Лигносульфонатные реагенты используются при разбуривании глинистых отложений, гипсов, ангидритов и карбонатных пород. Главной функцией лигносульфонатных реагентов является понижение вязкости бурового глинистого раствора, основанное на сочетании стабилизирующего и ингибирующего эффектов. Реагенты на основе лигносульфонатов натрия проявляют термостойкость в диапазоне температур до 160 °С, однако характеризуются слабыми фильтрационными свойствами.

Таким образом, высокая реакционная способность лигносульфоната натрия определяет способность его к проведению модификаций, основанных на введении в состав молекулы дополнительных функциональных групп катионного крахмала, что позволит получить реагент комплексного действия для регулирования параметров буровой промывочной жидкости комплексного действия в условиях высоких температур ^{7,8}.

Простейший способ получения ПЭК — смешение водных растворов полианионного и

поликатионного компонентов. Однако для исходных составляющих комплекса, не отличающихся постоянством молекулярной массы и основных функциональных групп, необходимо применение способов, обеспечивающих подбор рабочих условий процесса для многокомпонентного неоднородного состава исходных реагентов. Неоднородность состава исходных реагентов, а именно лигносульфонатов натрия, зависит от перерабатываемого сырья и условий процесса переработки целлюлозы^{9,10}.

Трудность использования реагентов сложного состава для получения полиэлектrolитных комплексов связана с их химической неоднородностью и диктует необходимость использования методов и подходов, которые позволили бы рассматривать подобные системы без отделения углеводородной матрицы от примесных компонентов при подборе технологических параметров⁵.

Известно, что метод импедансометрии, вследствие высокой скорости регистрации импеданса ячейки^{11,12}, измерения величины (частоты) переменного тока и потенциала электрода, открывает возможность регистрации отклика практически в любой системе, в том числе и сложного многокомпонентного состава.

В связи с этим, целью данной работы явилось получение устойчивого полиэлектrolитного комплекса путем подбора мольных соотношений исходных реагентов (анионных и катионных природных полимеров сложного состава) с применением метода импедансометрии в потенциометрическом режиме титрования.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны: лигносульфонат натрия СТО 8418-022-2010 (производитель ОАО «Сясьский ЦБК») и катионный крахмал ГОСТ Р 56095-2014 (производитель ООО «Биполь»).

В качестве стандартных государственных образцов (ГСО) использованы поверхностно-активные вещества с известной молекулярной массой: анионного типа (АПАВ) – додецилсульфат натрия и катионного типа (КПАВ) – N-цетилпиридиний хлористый (рис. 3).



Рис. 3. Структурные формулы ГСО

Перечень исследуемых веществ и концентрации их водных растворов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Концентрация анализируемых растворов (аналитов)

№ п/п	Аналит	C, моль/л
1	АПАВ – Лигносульфонат натрия	10 ⁻³
2	КПАВ – Катионный крахмал	10 ⁻⁴
3	АПАВ – Додецилсульфат натрия	10 ⁻¹
4	КПАВ – N-Цетилпиридиний хлористый 1-водный	10 ⁻¹

Выбор объемов и концентраций исследуемых веществ обусловлен интенсивностью аналитического сигнала.

Эксперимент по получению полиэлектrolитного комплекса на основе АПАВ и КПАВ методом импедансометрии осуществлялся на лабораторной установке, включающей электрохимический комплекс «Элинс» марки Р-40Х (рис. 4).

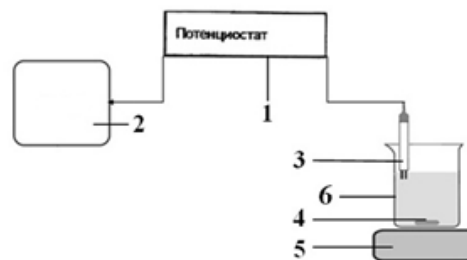


Рис. 4. Схема лабораторной установки: 1 – потенциостат/импедансометр Р-40Х; 2 – компьютер; 3 – комбинированный электрод; 4 – магнитный якорь; 5 – мешалка магнитная ММ-02; 6 – ячейка

При проведении исследований на потенциостате **1** устанавливали рабочие режимы проведения метода импедансометрии: диапазон частот переменного тока от 25 до 50 КГц с амплитудой 100 мВ при нулевом потенциале индикаторного электрода¹³. В ячейку **6** порционно приливали растворы исследуемых веществ при постоянном перемешивании на магнитной мешалке **5** с использованием магнитного якоря **4**. При введении очередной порции титранта – катионного ПАВ в раствор анионного ПАВ происходящие изменения потенциала в растворе и на поверхности электрода **6** фиксировали потенциостатом/импедансометром **1**.

Для обработки многомерных данных эксперимента использовали компьютер **2**, с помощью которого осуществлялось построение градуировочных зависимостей для исследуемых аналитов, включая стандартные образцы с сохранением их в базе данных.

Полученные спектры потенциометрического титрования КПАВ–АПАВ преобразовывали в массив данных с помощью программного средства *MS Excel* и выражали в виде графиков счетов. Для хемометрической обработки массива результатов потенциометрического титрования использовали метод главных компонент, реализованный в специализированном программном обеспечении фирмы САМО «The Unscrambler». Точку эквивалентности определяли по точке перегиба кривой титрования на графике счетов ¹³.

На начальном этапе получения полиэлектролитного комплекса с применением метода импедансометрии осуществляли апробацию ранее выбранных режимов работы потенциостата/импедансометра Р-40Х (частота переменного тока 25–50 КГц с амплитудой 100 мВ при нулевом потенциале индикаторного электрода) ¹³ используя в качестве стандартных государственных образцов (ГСО): анионный ПАВ (АПАВ) – додецилсульфат натрия и катионный ПАВ (КПАВ) – N-цетилпиридиний хлористый 1-водный.

При потенциометрическом титровании к постоянному объему АПАВ (2 мл) порционно добавляли титрант КПАВ. В момент достижения объема титранта КПАВ, равного 2 мл, зафиксировано резкое изменение кривой титрования, связанное с концентрационным изменением состава раствора.

Оценка способности полученного полиэлектролитного комплекса регулировать реологические свойства и показатель фильтрации глинистого бурового раствора, а также проявлять устойчивость в условиях высоких температур проведена согласно РД 39-00147001-773-2004 «Методика контроля параметров буровых растворов» ¹⁴.

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты потенциометрического титрования додецилсульфата натрия 1-водным N-цетилпиридинийхлоридом преобразовывали в массив данных с помощью программного средства *MS Excel* с последующим построением графика счетов (рис. 5).

На графике счетов наблюдается точка перегиба, соответствующая точке эквивалентности, достигаемой при добавлении титранта КПАВ в объеме 2 мл к 2 мл раствора АПАВ.

Следовательно, образование полиэлектролитного комплекса достигается при стехиометрическом соотношении «АПАВ:КПАВ», равном 1:1, так как в каждой из молекул додецилсуль-

фата натрия и хлористого N-цетилпиридиния содержится по одной функциональной группе.

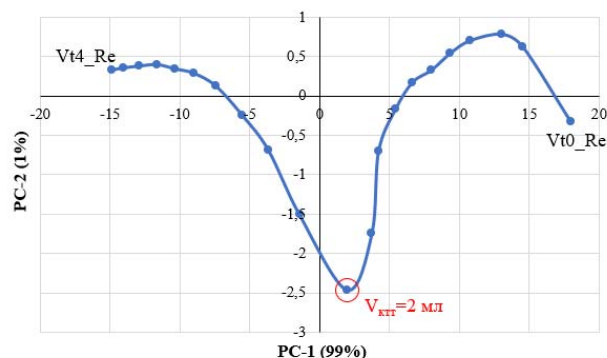


Рис. 5. График счетов титрования додецилсульфата натрия N-Цетилпиридинийхлоридом 1-водным

Апробировав выбранные режимы работы потенциостата/импедансометра Р-40Х с применением в качестве ГСО анионного ПАВ (додецилсульфат натрия) и катионного ПАВ (N-цетилпиридиний хлористый), мы показали возможность получения полиэлектролитного комплекса.

Далее на основании полученных экспериментальных данных апробировали возможность получения устойчивых полиэлектролитных комплексов на основе продуктов сложного многокомпонентного состава: лигносульфоната натрия и катионного крахмала.

Данные проведенных исследований представлены в виде графика на рис. 6.

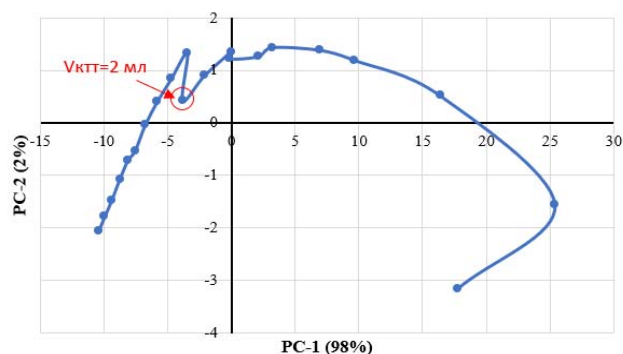


Рис. 6. График счетов титрования лигносульфоната натрия катионным крахмалом

Согласно полученным данным, представленным на рис. 6, перегиб кривой на графике счетов и отчетливая точка эквивалентности достигается при титровании 2 мл раствора лигносульфоната натрия и 2 мл раствора катионного крахмала, что подтверждает возможность образования устойчивого полиэлектролитного комплекса в исследуемом концентрационном диапазоне.

Параметры исследуемых реагентов

№	Состав раствора	УВ, с	$\eta_{пл}$, мПа·с	θ , Н/м ²	СНС, дин/см ²		ПФ, см ³ /30 мин
					1 мин	10 мин	
1	Исх.глин. р-р	60	1	287	221	211	22
2	№1+ 1% ЛС-Na	38	9	222	127	211	19
3	№1 + 1% катионный крахмал	55	6	267	188	191	10
4	№1 + 1% ПЭК	36	2	222	168	178	12

Примечание: УВ – условная вязкость; $\eta_{пл}$ – пластическая вязкость; θ – предельное динамическое напряжение сдвига; СНС – статическое напряжение сдвига; ПФ – показатель фильтрации

Смешение катионных и анионных компонентов обусловлено проведением химической реакции, протекающей до точки эквивалентности. После достижения точки эквивалентности избыток катионного ПАВ изменяет направление кривой титрования с образованием перегиба на графике счетов. Создание полиэлектролитного комплекса из катионного крахмала и лигносульфоната достигается при равенстве объемов этих веществ.

Для проведения испытаний, учитывая физико-химические характеристики исходных реагентов и стехиометрические соотношения молекулярных масс компонентов полиэлектролитного комплекса, вычислили необходимые массы навески реагентов (табл. 2).

Таблица 2

Масса навески реагента

№ п/п	Анализируемый реагент	Масса, г
1	АПАН – Лигносульфонат натрия (ЛС-Na)	3.00
2	КПАВ – Крахмал катионный	8.00
Полиэлектролитный комплекс		
3	АПАН – Лигносульфонат натрия (ЛС-Na)	1.56
4	КПАВ – Крахмал катионный	1.44

В ходе испытаний навеску реагента в количестве 1% от объема глины вводили в рабочий глинистый раствор, перемешивали в течение 10 мин и выдерживали в ячейке старения «БОМБА А-Б-05» при температуре 150 °С в течение 3 ч с последующим определением реологических по-

казателей и показателя фильтрации. Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

Исходный глинистый раствор приготовлен из Серпуховского глинопорошка марки ПБМВ.

Введение в глинистый раствор 1% навески ПЭК характеризуется снижением значения условной вязкости до 36 с относительно глинистого раствора (60 с) и исходных компонентов: катионного крахмала (55 с) и лигносульфоната натрия (38 с); снижением статического напряжения сдвига до 168/178 дин/см² относительно глинистого раствора (221/211 дин/см²) и катионного крахмала (188/191 дин/см²). Показатель фильтрации ПЭК характеризуется низким значением – 12 см³/30 мин относительно глинистого раствора (22 см³/30 мин) и лигносульфоната натрия (19 см³/30 мин).

Таким образом, на основании результатов исследования получен полиэлектролитный комплекс путем подбора объемных соотношений анионных и катионных природных полимеров с использованием метода импедансометрии в потенциометрическом режиме титрования. Исследована возможность применения полученного ПЭК на основе катионного крахмала и лигносульфоната натрия в качестве реагента для регулирования параметров буровой промывочной жидкости.

Литература

1. Шилова С.В., Зинурова О.А., Третьякова А.Я., Баранов В.П. Полимер-коллоидные комплексы хитозана с додецилсульфатом натрия в водно-спиртовых средах // ЖПХ. – 2014. – Т.87, №3. – С.350-359.
2. Шилова, С.В., Безруков А.Н., Третьякова А.Я., Барabanov В.П. Ассоциация додецилсульфата натрия с катионным полиэлектролитом в водно-этанольных средах // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2014. – Т.57, №6. – С.38-43.
3. Нифантьев Н.Э., Фахреева А.В., Ишмуратов Ф.Г., Волошин А.И., Рабаев Р.У., Бахтизин Р.Н., Докичев В.А. Природные полисахариды –

References

1. Shilova S.V., Zinurova O.A., Tret'yakova A.Ya., Barabanov V.P. [Polymer colloid complexes of chitosan with sodium dodecyl sulfate in water-alcohol media]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014, vol.87, no.3, pp.315-323..
2. Shilova, S.V., Bezrukov A.N., Tret'yakova A.Ya., Barabanov V.P. *Assotsiatsiya dodetsilsulfata natriya s kationnym polielektrolitom v vodno-etanolnykh sredakh* [Association of sodium dodecyl sulfate with cationic polyelectrolyte in aqueous ethanol media]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Proceedings of universities. Chemistry and chemical technology], 2014, vol.57, no.6, pp.38-43.

- «зеленые» высокоэффективные нефтепромысловые реагенты / Получение, строение и применение продуктов нефтехимии и органического синтеза.— Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017.— С.65-83.
4. Муллина Э.Р., Чупрова Л.В. Модифицированные формы крахмала, используемые для улучшения эксплуатационных свойств целлюлозных композиционных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.— 2016.— №11(ч.1).— С.18-20.
 5. Тептерева Г.А., Кудашева Ф.Х., Бадикова А.Д., Куляшова И.Н., Константинов К.Н. Влияние танидности лигносульфоната на показатель разжижения бурового реагента // Известия вузов. Химия и химическая технология.— 2009.— Т.52, №4.— С.69-70.
 6. Федина Р.А., Бадикова А.Д., Мустафин А.Г., Удалова Е.А., Куляшова И.Н., Дубовцев Д.А. Исследование молекулярно-массового распределения в лигносульфонатных буровых реагентах методами ВЭЖХ // Баш. хим. ж.— 2019.— Т.26, №1.— С.62-69.
 7. Badikova A.D., Kulyashova I.N., Kudasheva F.K., Tsadkin M.A., Yalalova R.A., Mortikov E.S. Modification of neutral sulfite liquors with production of lignosulfonate drilling reagents // Chemistry and Technology of Fuels and Oils.— 2017.— V.52, №6.— Pp.656-662.
 8. Бадикова А.Д., Куляшова И.Н., Кудашева И.Н., Цадкин М.А., Ялалова Р.А., Мортиков Е.С. Модифицирование нейтрально-сульфитных щелоков с получением лигносульфонатных буровых реагентов // Химия и технология топлив и масел.— 2016.— №6(598).— С.21-24.
 9. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения.— М.: Academia, 2005.— 367 с.
 10. Даминев Р.Р., Асфандияров Р.Н., Фаткуллин Р.Н., Асфандиярова Л.Р., Юнусова Г.В. Синтетические полиэлектролиты отечественного производства — области применения, перспективы использования // Нефтегазовое дело.— 2015.— №6.— С.431-442.
 11. Буянова Е.С., Емельянова Ю.В. Импедантная спектроскопия электролитических материалов.— Екатеринбург: УрГУ им. Горького, 2008.— 70 с.
 12. Емельянова Ю.В., Михайловская З.А., Морозова М.В., Буянова Е.С. Импедансная спектроскопия: теория и применение.— Екатеринбург: УрГУ им. Горького, 2017.— 156 с.
 13. Сидельников А.В., Дубровский Д.И., Майстренко В.Н., Кудашева Ф.Х., Максюткина Э.И., Тихонова А.А. Импедансметрическое определение катионных поверхностно-активных веществ методом титрования // Вестник Башкирского университета.— 2017.— №2.— С.373-378.
 14. Патент №2375404 РФ. Способ получения бурового реагента / Кудашева Ф.Х., Бадикова А.Д., Тептерева Г.А., Куляшова И.Н., Гишаев Р.Н., Бикбулатов Р.Х., Небит А.Н., Юлбарисов И.М. // Опубл.10.12.2009.
 3. Nifantev N.E., Fakhreeva A.V., Ishmuratov F.G., Voloshin A.I., Rabaev R.U., Bakhtizin R.N., Dokichev V.A. *Prirodnyye polisakharidy — «zelenyye» vysokoeffektivnyye neftepromyslovyye reagenty* [Natural polysaccharides — «green» highly efficient oilfield reagents]. *Polucheniye, stroeniye i primeneniye produktov neftekhimii i organicheskogo sinteza* [Obtaining, structure and use of petrochemical and organic synthesis products]. Ufa, USPTU Publ., 2017, pp.65-83.
 4. Mullina E.R., Chuprova L.V. *Modifitsirovannyye formy krakhmala, ispolzuemye dlya uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv tsellyuloznykh kompozitsionnykh materialov* [Modified forms of starch used to improve the performance of cellulosic composites]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Research], 2018, no. 11(1), pp.18-20.
 5. Teptereva G.A., Kudasheva F.Kh., Badikova A.D., Kulyashova I.N., Konstantinov K.N. Vliyaniye tannidnosti lignosulfonata na pokazatel razzhizheniya burovogo reagenta. [Influence of the tannin content of lignosulfonate on the dilution rate of the drilling reagent]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Proceedings of universities. Chemistry and chemical technology], 2009, no.4, pp.69-70.
 6. Fedina R.A., Badikova A.D., Mustafin A.G., Udalova E.A., Kulyashova I.N., Dubovtsev D.A. *Issledovanie molekulyarno-massovogo raspredeleniya v lignosulfonatnykh burovyykh reagentakh metodami VEZhKh* [Investigation of molecular weight distribution in lignosulfonate drilling reagents by HPLC]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2019, vol.26, no.1, pp.62-69.
 7. Badikova A.D., Kulyashova I.N., Kudasheva F.K., Tsadkin M.A., Yalalova R.A., Mortikov E.S. [Modification of neutral sulfite liquors with production of lignosulfonate drilling reagents]. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2017, vol.52, no.6, pp.656-662.
 8. Badikova A.D., Kulyashova I.N., Kudasheva I.N., Tsadkin M.A., Mortikov E.S., Yalalova R.A. *Modifitsirovaniye neutralno-sulfitnykh shchelokov s polucheniem lignosulfonatnykh burovyykh reagentov* [Modification of neutral sulfite liquors to obtain lignosulfonate drilling reagents]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel* [Chemistry and Technology of Fuels and Oils], 2016, no.6(598), pp.21-24.
 9. Semchikov Yu.D. *Vysokomolekulyarnyye soedineniya* [High molecular weight compounds] Moscow, Academia Publ., 2005, 367 p.
 10. Daminev R.R., Asfandiyarov R.N., Fatkullin R.N., Asfandiyarova L.R., Yunusova G.V. *Sinteticheskie polielektrolity otechestvennogo proizvodstva — oblasti primeneniya, perspektivy ispol'zovaniya* [Synthetic polyelectrolytes of domestic production — fields of application, prospects of use]. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business], 2015, no.6, pp.431-442.
 11. Buyanova E.S., Emel'yanova Yu.V. *Impedansnaya spektroskopiya elektroliticheskikh materialov* [Impedance Spectroscopy of Electrolytic Materials]. Ekaterinburg, UrFU Publ., 2008, 70 p.

12. Emel'yanova Yu.V., Mikhaylovskaya Z.A., Morozova M.V., Buyanova E.S. *Impedansnaya spektroskopiya: teoriya i primeneniye* [Impedance spectroscopy: theory and application]. Ekaterinburg, UrFU Publ., 2017, 156 p.
13. Sidel'nikov A.V., Dubrovskiy D.I., Maystrenko V.N., Kudasheva F.Kh., Maksyutova E.I., Tikhonova A.A. *Impedansmetricheskoe opredeleniye kationnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv metodom titrovaniya* [Impedance determination of cationic surfactants by titration]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University], 2017, no.2, pp.373-378.
14. Kudasheva F.Kh., Badikova A.D., Teptereva G.A., Kulyashova I.N. Gimaev R.N., Bikbulatov R.Kh., Nebit A.N., Yulbarisov I.M. *Sposob polucheniya burovogo reagenta* [Method for producing drilling reagent]. Patent RF no.2375404, 2009.