

На правах рукописи

СОБОЛЕВ КОНСТАНТИН АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОПОЛИМЕРОВ В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ
НЕФТЕДОБЫЧИ**

Специальность 02.00.11 – Коллоидная химия и физико-химическая механика

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва-2005

Работа выполнена в Российском государственном университете
нефти и газа имени И.М. Губкина

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор
Винокуров В.А.

Научный консультант кандидат технических наук, старший научный
сотрудник
Губанов В.Б.

Официальные оппоненты: доктор химических наук, старший научный сотрудник
Волошин А.И.

кандидат химических наук, доцент
Толстых Л.И.

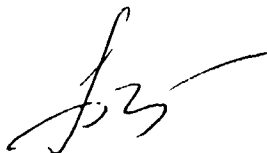
Ведущая организация: ОАО «Российская инновационная топливно-
энергетическая компания (РИТЭК)»

Защита состоится "15" "марта" 2005 г. в 15⁰⁰ часов в ауд. 541 на заседании
диссертационного совета Д 212.200.04 при Российском государственном университете нефти
и газа имени И.М. Губкина по адресу: Москва, В-296 ГСП-1, 119991, Ленинский
проспект, 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного
университета нефти и газа имени И.М. Губкина

Автореферат разослан «10» февраля 2005 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета, д.т.н.



Сифиева Р.З.

2005-4
48501

968871

3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

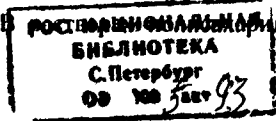
Актуальность темы

Одной из наиболее актуальных проблем для нефтяной отрасли является высокая обводненность добываемой нефти. Так, к 1990 г. в целом по России обводненность продукции достигла 76 %, резко увеличившись с 50 % в 1976 г. В Западной Сибири, основном нефтегазодобывающем регионе Российской Федерации, обводненность продукции достигает сегодня 96 %.

Сохранение рентабельности существующего фонда скважин обуславливает необходимость поиска эффективных реагентов для селективной изоляции водопритока в добывающие скважины. Очевидно, что создание эффективных технологий ограничения водопритока напрямую зависит от разработки принципиально новых тампонирующих материалов, в том числе обладающих селективностью в условиях близких проницаемостей нефти и водонасыщенных зон.

К числу таких материалов относятся биополимеры класса полисахаридов. Широкий спектр возможностей получения биополимеров с различными заданными свойствами делает их перспективными реагентами для нефтегазовой отрасли. Они уже применяются в нефтяной промышленности в качестве загустителей закачиваемой воды при заводнении и регуляторов структурных и реологических свойств буровых растворов, значительно превосходя по своим технологическим свойствам синтетические полимеры.

Для растворов полисахаридов чаще характерна неньютоновская, аномальная вязкость. Она высока даже в очень разбавленных растворах и уменьшается с увеличением давления на протекающую жидкость. Большая вязкость таких растворов определяется высокими силами сцепления гидрофильных молекул полисахаридов и воды. Кроме того, большое значение имеет анизодиаметрическая (т.е. имеющая неодинаковую длину и поперечные размеры) форма частиц. Вытянутая палочкообразная форма частиц в растворе обуславливает наибольшую вязкость. В растворимых полисахаридах возможно



взаимодействие макромолекул между собой с образованием ассоциатов и отдельных сетчатых структур, увеличивающих сопротивление течению. Также структурирование растворов биополимеров с образованием гелей возможно и под влиянием внешних факторов: температуры, ионов металлов и пр.

Таким образом, применение растворов биополимеров и композиций на их основе с изменяемыми реологическими свойствами в качестве селективного тампонирующего материала для снижения обводненности добываемой нефти представляется весьма актуальной задачей.

Цель и основные задачи исследования

Целью настоящей работы являлось исследование реологических и тампонирующих свойств растворов биополимеров и создание композиций на их основе для селективной водоизоляции, в том числе и в условиях отсутствия значительной разницы по проницаемости нефтенасыщенных и водонасыщенных интервалов пласта. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Анализ современных технологий селективной водоизоляции. Обобщение результатов исследований тампонирующих составов на базе полимеров.
- Получение биополимерных систем с оптимальными реологическими свойствами для селективного ограничения водопритока.
- Создание экспериментальных методик и проведение фильтрационных испытаний биополимерных композиций.
- Разработка технологии селективного ограничения водопритока в добывающие скважины на базе биополимерной композиции.
- Нарботка опытной партии биополимера и проведение опытно-промышленных работ.

Научная новизна

Впервые проведены комплексные исследования закономерностей изменения реологических и фильтрационных характеристик водных растворов биополимеров Ритизан и БПА в широком диапазоне температур, концентраций различных катионов, скоростей сдвига, pH и проницаемостей пористой среды.

Установлено, что величина критической концентрации образования ассоциатов биополимера Ритизан не зависит от температуры и близка к 0,1%. Показано, что длительное нагревание (до 10 ч) растворов Ритизана при температуре до 120°C не приводит к потере реологических свойств, которые полностью восстанавливаются при охлаждении растворов, в отличие от биополимеров ксантанового ряда.

На насыпных моделях пласта установлена высокая селективность тампонирующих свойств растворов биополимера БПА по отношению к пластовому флюиду.

Практическая значимость

На основании полученных данных предложены новые биополимерные реагенты БПА и Ритизан для селективной водоизоляции. Создана новая технология селективной изоляции притока вод в добывающие скважины на основе растворов биополимера БПА.

Проведены опытно-промышленные работы с применением биополимера БПА по изоляции водопритока на месторождении Западной Сибири, характеризующимся близкими проницаемостями нефте- и водонасыщенных зон пласта, а также низкой минерализацией пластовой воды.

Проведены опытно-промышленные испытания биополимера Ритизан в качестве регулятора структурных и реологических свойств буровых растворов для проходки горизонтальных стволов скважин, показавшие преимущества по многим показателям отечественного биополимера перед иностранными аналогами.

Апробация работы и публикации

Основные положения диссертации докладывались на международной конференции «Нефтеотдача 2003» (Москва, 2003), конференции «Молодежная наука – нефтегазовому комплексу» (Москва, 2004).

По материалам диссертационной работы опубликовано 7 работ, в том числе 4 статьи.

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа изложена на 137 страницах машинописного текста, включает 48 рисунков и 16 таблиц. Состоит из списка сокращений, введения, 5 глав, выводов, списка литературы, включающего 110 наименований публикаций отечественных и зарубежных авторов, и 2 приложений.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю проф. Винокурову В.А., научному консультанту Губанову В.Б., а также проф. Кошелеву В.Н. и Магадовой Л.А. за помощь и поддержку при выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и сформулированы цель и задачи исследований.

В первой главе представлен обзор литературы по разработке технологий и реагентов для селективного ограничения водопритоков на базе полимерных материалов, в который вошли теоретические основы селективного тампонирувания промытых водонасыщенных зон и современные подходы к решению данной проблемы. Показано, что в большинстве своем ограничение водопритока в добывающие скважины тем эффективнее, чем больше разница в проницаемостях между нефте и водонасыщенными интервалами пласта.

Рассмотрены основные классы полимеров и реагентов на их основе (сшитые полимерные системы, ограниченно набухающие полимеры и пр.). Так, широкое распространение получили полимеры ряда полиакриламида, обладающие рядом недостатков: слабой устойчивостью к гидролизу в присутствии минерализованной пластовой воды, низкой термостойкостью.

Описаны основные классы биополимеров и их преимущества по отношению к синтетическим полимерам как к реагентам для нефтедобычи. Проанализированы результаты применения биополимеров в качестве компонентов различных систем, применяемых в нефтедобыче. Показано, что биополимеры класса кислых гетерополисахаридов обладают большей

термостойкостью и стойкостью к механической деструкции по сравнению с полимерами акрилового ряда.

Анализ литературы позволил выявить требования к полимерным реагентам для селективной изоляции, предложить два штамма-продуцента кислых гетерополисахаридов, которые могут выступать как перспективные реагенты для решения поставленной задачи, а так же определить цели и задачи предстоящих исследований.

Во второй главе описаны лабораторная методика и полупромышленная технология синтеза биополимеров штаммами-продуцентами *Acinetobacter* и *Azotobacter*. Отмечается, что биополимеры продуцируются непатогенными штаммами бактерий в течение нормального цикла жизни, а синтез биополимеров представляет собой многостадийный процесс (рис. 1.).



Рис 1 Блок-схема производства биополимеров

Описана технологическая схема и условия проведения синтеза в полупромышленном ферментаторе Ф-500, рабочим объемом 350 л. Синтез проводился при температуре 30°C в течение 24-36 часов.

Следует отметить, что условия культивирования для двух выбранных штаммов-продуцентов совпадали, однако питательные среды для синтеза полисахаридов были различны.

В результате синтеза были получены два различных биополимера, получившие названия Ритизан и БПА. Оба они представляли собой кислые гетерополисахариды, однако, отличались по своему строению и набору функциональных групп.

Комплексный экзополисахарид Ритизан, синтезируемый штаммом бактерий *Acinetobacter*, состоит из D-глюкозы, D-маннозы, D-галактозы, L-рамнозы, D-глюкуроновой и пировиноградной кислот (3:2:1:1:1:1). Он также содержит жирные кислоты (C_{12} - C_{18}), являющиеся гидрофобными функциональными группами.

Кислый гетерополисахарид БПА, синтезируемый штаммом бактерий рода *Azotobacter*, отличается от других гетерополисахаридов отсутствием регулярной структуры и состоит из двух структурных единиц: D-маннуровой и L-гулурановой кислот.

Биополимер БПА имеет линейное строение и является, по сути, не просто кислым биополимером, а поликислотой. Именно наличие кислотной группы на каждом элементарном звене цепи биополимера БПА должно обеспечить его гелеобразование в присутствии ионов поливалентных металлов, содержащихся в пластовой воде, то есть селективность тампонирующих свойств по отношению к водо- и нефтенасыщенным интервалам продуктивного пласта.

Объектами исследований в настоящей работе являлись водные растворы полученных биополимеров, а также гели, образующиеся при контакте растворов БПА с минерализованными пластовыми водами.

В третьей главе представлены оборудование и методы исследований.

Изучение реологических свойств водных растворов биополимеров проводилось методами капиллярной и ротационной вискозиметрии.

Структурно-реологические параметры растворов биополимеров и полученных гелей на их основе были определены на структурно-ротационном вискозиметре Rheotest-2 (Германия) на паре коаксиальных цилиндров S/S1 при различных температурах в диапазоне скоростей деформации $3 \div 1312 \text{ с}^{-1}$ согласно инструкции к прибору.

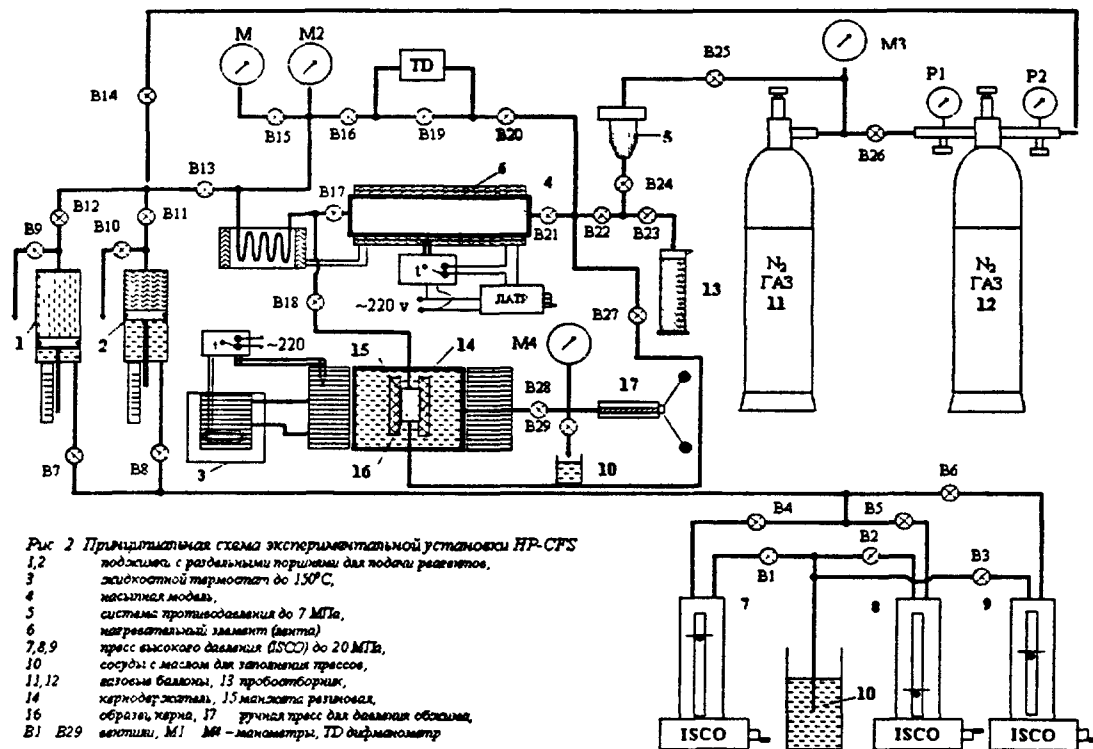
Тампонирующий эффект и селективность действия реагентов исследовались на лабораторной фильтрационной установке высокого давления HP-CFS (рис. 2), позволяющей выполнять фильтрационные испытания при термобарических условиях пласта с использованием образцов реальных кернов

и на насыпных моделях пласта при температуре эксперимента до 150° С и давлении до 20,0 МПа с возможностью регулируемой подачи флюида от 0,1 до 600 см³ / час.

Основными функциональными частями установки HP-CFS являются термостатируемая насыпная модель пласта и кернодержатель для опытов с использованием образцов кернов. При этом в зависимости от типа исследований возможно использование кернодержателя для составных кернов длиной до 30 см (исследование гидродинамических характеристик пористой среды), либо кернодержателя для одного образца керна (исследование составов для кислотной обработки, буровых растворов, жидкостей глушения).

Подача рабочих жидкостей, как в насыпную модель пласта, так и в кернодержатель, осуществляется через поджимки с разделительными поршнями жидкостными прессами ISCO, из которых в подпоршневой объем поджимок подается масло. При этом возможна раздельно-одновременная подача масла в каждую из поджимок, или только в одну поджимку, с заданным расходом. Заполнение поджимок рабочими жидкостями (керосин, вода) производится под действием вакуума, после того, как разделительный поршень приводится в крайнее нижнее положение давлением газа из баллона. Для закачки в модель пласта нефти, высоковязких составов, дисперсных или полимерных систем используются сосуды высокого давления, подача реагента, из которых производится под давлением газа из баллона, либо под воздействием несмешивающейся с реагентом жидкости из поджимки. В некоторых случаях, когда рабочая жидкость содержит водную и углеводородную фазы и необходимо проследить динамику перепада давления в процессе закачки, в сосуды вставляются разделительные поршни. Контроль за изменением перепада давления в процессе фильтрации осуществляется посредством дифманометра фирмы Gould.

Термостатирование насыпной модели и предварительный подогрев входной линии осуществляется нагревательной лентой, обмотанной вокруг корпуса модели и входной линии.



Лента запитана от сети 200V через автотрансформатор. Регулировкой напряжения обеспечивается скорость подъема температуры, а ее поддержание и контроль – датчиком-регулятором температуры ТРМ-1, соединенным с термопарой, находящейся на корпусе модели.

Наиболее значимым критерием, характеризующим тампонирующие свойства того или иного состава, является фактор остаточного сопротивления ($R_{ост}$), представляющий собой отношение проницаемостей пористой среды по какой-либо фильтрующей жидкости до и после воздействия испытуемого реагента. Поскольку методика исследований предполагала проведение сравнительных экспериментов, то, в данном случае, в качестве пористой среды были выбраны насыпные модели пласта. Такие модели, наполненные песком заданного времени помола исходной фракции, имеют идентичные структуру пористой среды и величину абсолютной проницаемости. Подобрать образцы реального керна, имеющие тот же набор одинаковых параметров, чрезвычайно трудно.

В связи с этим в третьей главе также рассматриваются вопросы подготовки насыпной модели пласта к фильтрационным исследованиям тампонирующих составов: подготовка кварцевого песка, насыщение водой и оценка проницаемости по воде, замер порового объема и пористости, насыщение модели пласта нефтью и определение начальной водонасыщенности, создание остаточной нефтнасыщенности и выбор скоростей фильтрации.

Целью исследований, результаты, которых приведены **четвертой главе**, было изучение реологических свойств биополимера Ритизан и выявление его преимуществ по сравнению с широко применяемым биополимером ксантан (Rhodopol 23P). Также в главе представлены результаты исследований тампонирующего эффекта водных растворов Ритизана как на моделях пласта с большой проницаемостью, так и селективность действия по отношению к водонасыщенному коллектору в условиях равных проницаемостей водо- и

нефтенасыщенных моделей. Представлены рекомендации по составу композиций на основе Ритизана для применения в нефтяной промышленности и некоторые аспекты технологий их применения.

Исследование реологических свойств водных растворов Ритизана

Водные растворы биополимера Ритизан представляют собой неньютоновскую жидкость, обладающую псевдопластичными свойствами и тиксотропией. На рис. 3. представлена зависимость динамической вязкости 0,5% раствора Ритизана в зависимости от скорости сдвига в сравнении с 0,5% раствором биополимера ксантан, синтезируемого бактериями рода *Xantomonas*, и получившего широкое применение в нефтяной промышленности.

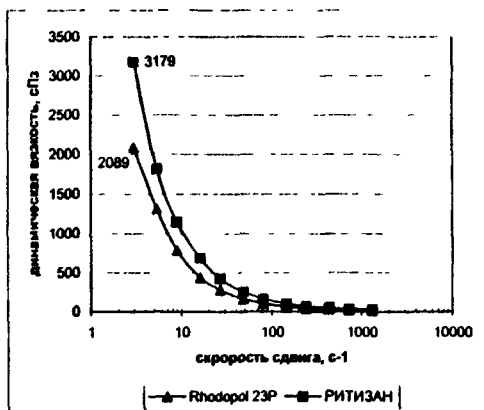


Рис. 3. Зависимость вязкости от скорости сдвига 0,5% раствора Rhodopol 23P и 0,5% раствора Ритизана при 20°C.

Из графика видно, что загущающая способность Ритизана выше, чем ксантана, что обеспечивает более низкие расходные показатели для отечественного биополимера. Так, для создания 1 м³ водного раствора, равного по вязкости 0,5% раствору Ритизана (5 кг/м³) требуется 8 кг ксантана Rhodopol 23P, т.е. расход Ритизана меньше, как минимум, на 37,5%.

С повышением температуры вязкость растворов биополимеров снижается (рис. 4). Однако вязкость растворов Ритизана снижается в меньшей степени, чем вязкость раствора биополимера Rhodopol 23. Некоторое повышение

вязкости раствора Rhodopol 23 при 30°C связано с дорастворением биополимера и стабилизацией системы. Стабилизация температурной зависимости вязкости после 70-80°C объясняется конформационным переходом макромолекул полимера «спираль-клубок». При этом раствор ксантана демонстрирует снижение вязкости в 4 раза, в то время как раствор Ритизана – в 1,25 раза.

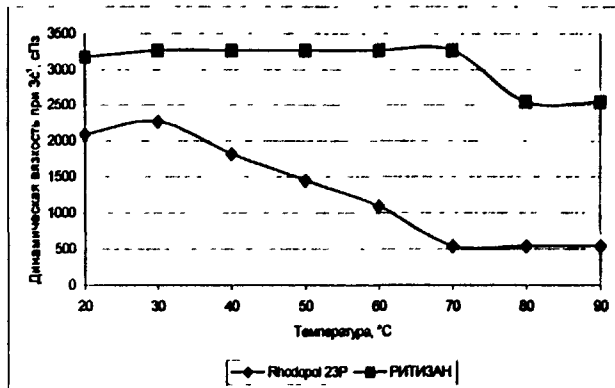


Рис. 4 Вязкость растворов биополимеров (0,5%) при различных температурах (скорость сдвига 3с⁻¹).

Важной характеристикой термостойкости растворов биополимеров является их способность к восстановлению вязкости после снятия температурного воздействия. Показано, что растворы Ритизана лучше восстанавливают свою вязкость после нагрева до 90°C, чем растворы ксантана марки Rhodopol 23P. Так, изменение вязкости раствора Ритизана при его охлаждении до 20°C составило около 8% (2907 сПа) от первоначальной (3179 сПа), в то время как вязкость раствора ксантана упала на 35% (до 1363 сПа).

Лабораторными испытаниями установлено, что растворы Ритизана не теряют свои первоначальные свойства после прогрева в течение 2-х часов при 120°C, что может служить показателем повышенной термостойкости биополимера Ритизан.

Растворы ксантана марки Rhodopol 23P после прогрева при тех же условиях разрушаются: наблюдается выпадение осадка и полная потеря вязкости надосадочной жидкости.

Высокие структурные свойства растворов Ритизана обеспечиваются образованием надмолекулярных ассоциатов. Исследование вязкости растворов Ритизана различной концентрации, методом капиллярной вискозиметрии с использованием вискозиметра Уббелоде при температурах 20°C, 40°C и 60°C показало, что характер зависимости удельной вязкости от концентрации меняется при образовании сетки зацеплений (рис. 5). Концентрация полимера, при которой происходит образование зацеплений, в пределах погрешности эксперимента не зависит от температуры и составляет 0,1%.

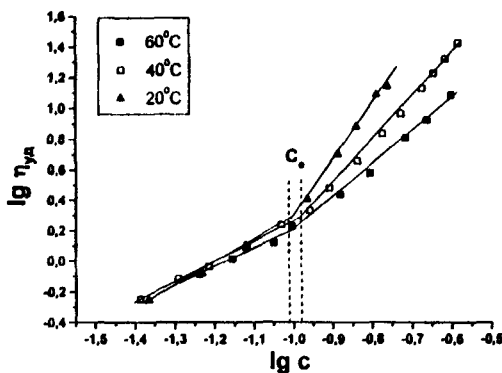


Рис 5. Концентрационные зависимости удельной вязкости растворов Ритизана при температурах 20°C, 40°C и 60°C.

Тангенс угла наклона линейных участков графика равен показателю степени a в уравнении:

$$\eta_{уд} = k \cdot c^a \cdot M^b,$$

где k — определяется гидродинамическими взаимодействиями, a — механизмом массопереноса в растворе, b — определяется строением полимера, c — концентрация полимера, M — молекулярная масса полимера.

Исходя из этого, можно предположить, что высокая эффективность тампонирования обводненных интервалов пласта может быть достигнута применением водных растворов Ритизана в концентрациях выше 0,1%, характеризующихся наличием надмолекулярных структур.

Исследование селективности и тампонажных свойств растворов Ритизана

В первой серии экспериментов были проведены исследования тампонирующей способности водных растворов Ритизана по отношению к водонасыщенному интервалу пласта со значительной проницаемостью. Для экспериментов были подготовлены водонасыщенные модели пласта с проницаемостью по воде порядка 1 мкм^2 , объем закачки раствора составлял 0,2 поровых объема ($0,2V_{\text{пор}}$). В качестве модели пластовой воды использовалась вода с содержанием CaCl_2 – 23,8 г/л и плотностью 1011 кг/м^3 . Выдержка при температуре эксперимента составляла 1 час.

Растворы Ритизана показали высокие значения $R_{\text{ост}}$ при концентрациях 0,5 и 0,7% при 50°C (табл. 1). Причем они оставались на высоком уровне при повышенных расходах воды. Таким образом, особенностью реагента является его высокая тампонирующая способность при повышенных температурах (120°C) и расходах воды.

Таблица 1.

Результаты фильтрационных испытаний на высокопроницаемых моделях

№ п/п	Конц. реагента, % мас	Начальная проницаемость по воде, мкм^2	Температура, $^\circ\text{C}$	Расход воды, мл/ч	Рост
1	0,1	0,965	50	80	2,12
				200	1,86
2	0,5	0,935	50	80	8,17
				400	6,17
				575	8,48
				40	36,15
3	0,7	0,737	50	200	24,4
				575	17,12
				80	40,78
4	0,7	0,917	120	200	24,82
				400	13,08
				80	40,78

При исследовании селективности действия реагента на водонасыщенных и нефтенасыщенных моделях были использованы насыпные модели с одинаковой начальной проницаемостью по воде – $0,340 \text{ мкм}^2$. В опытах в качестве модели пластовой воды была использована слабоминерализованная вода с одного из месторождений Западной Сибири, с содержанием ионов Ca^{2+} 781,5 мг/л и плотностью 1029 кг/м^3 , и дегазированная нефть Мегионского месторождения, вязкостью $11,7 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ при 20°C .

В качестве тампонирующего материала применялся водный раствор Ритизана с содержанием биополимера 0,12%. Объем закачки реагента составлял $0,5 V_{\text{пор}}$. Выдержка при температуре эксперимента – 3 часа.

Полученный фактор остаточного сопротивления – 2,09 – гораздо ниже (табл. 2), чем для более концентрированных растворов и моделей с большей проницаемостью. Однако, вынос биополимера из нефтенасыщенной модели пласта при повышенных расходах воды ($\text{FIR} = 200 \text{ см}^3/\text{час}$) больше, чем из водонасыщенной.

Таблица 2.

Результаты фильтрационных испытаний

№ опыта	Начальная водонасыщенность, $S_{k,0}, \%$	Начальная проницаемость, $K_0, \text{мкм}^2$		Конечная проницаемость, $K_0, \text{мкм}^2$		Фактор остаточного сопротивления, $R_{0,t}$	
		По воде	По нефти	$\text{FIR} = 80 \text{ см}^3/\text{час}$	$\text{FIR} = 200 \text{ см}^3/\text{час}$	$\text{FIR} = 80 \text{ см}^3/\text{час}$	$\text{FIR} = 200 \text{ см}^3/\text{час}$
1	100	0,34	–	0,151	0,161	2,22	2,09
2	24,4	0,34	0,205	0,099	0,159	2,07	1,28

Следовательно, биополимер Ритизан может быть рекомендован как реагент на водной основе для изоляции водопритока в скважины, в которых присутствует значительная разница в значениях проницаемости водонасыщенных и нефтенасыщенных пропластков, в том числе и при повышенных пластовых температурах. Концентрация биополимера в закачиваемой системе должна, по-видимому, обеспечивать высокую

структурную вязкость, для создания значительного фактора остаточного сопротивления.

Область применения биополимера Ритизан

Результаты сравнительных экспериментов выявили преимущества технологических свойств данного биополимера по сравнению с широко применяемыми. Следовательно, возможность использования этого биополимера в уже известных полимерных композициях для тампонирования обводнившихся интервалов пласта представляется оправданной. Кроме того, преимущества Ритизана перед биополимерами ксантанового ряда позволили решить задачу, не ставившуюся при первоначальной формулировке целей исследования. На основе Ритизана был создан биополимерный буровой раствор для проходки горизонтальных стволов скважин, не уступающий по своим технологическим параметрам иностранным аналогам.

Промысловые испытания Ритизана в качестве регулятора псевдопластичных и структурно реологических характеристик были проведены на скважине №Р-7Г Патраковского месторождения ОАО «Удмурдская нефтяная компания» в период с октября по ноябрь 2003 года.

На приготовленном пресном буровом растворе «Бурвис-К», содержащем Ритизан, было осуществлено вскрытие продуктивного пласта горизонтальным участком протяженностью 107 м. В процессе работы раствор не требовал дополнительной обработки химреагентами и обеспечил бурение горизонтального участка скважины в интервале 1485-1592 м без осложнений.

По своим технологическим и структурно-реологическим параметрам промышленный образец биополимера Ритизан удовлетворял требованиям, предъявляемым к загустителям для пресных буровых растворов, и был рекомендован в качестве регулятора структурных и псевдопластичных свойств промывочных жидкостей при бурении нефтяных и газовых скважин.

В пятой главе представлены результаты реологических исследований растворов БПА различной концентрации и гелей, получаемых на их основе при контакте с пластовыми водами. Исследованы эффективность тампонирования и

селективность действия реагента по отношению к водонасыщенным интервалам пласта. Предложена методика применения реагента и приведены результаты опытно-промышленных испытаний.

Водные растворы биополимера БПА обладают меньшей загущающей способностью по сравнению с растворами Ритизана и другими применяемыми сегодня биополимерами.

Реагент БПА представляет собой натриевую соль кислого биополимера. При растворении БПА в воде происходит диссоциация ионов натрия в раствор. После диссоциации появляется возможность реакции кислот с ионами кальция, находящимися в растворе (или в пластовой воде при контакте). В результате, отдельные цепочки кислот перекрестно связываются ионами кальция, что приводит к формированию эластичного геля и полимеризации массы.

Показано, что вязкость геля получаемого геля зависит как от концентрации БПА в исходном растворе, так и от содержания ионов поливалентных металлов в пластовой воде (рис.6, 7).

Реакция гелеобразования проходит очень быстро, поэтому для удобства работы и обеспечения более глубокого проникновения в водонасыщенный пласт необходимо наличие замедлителей реакции. В качестве способа замедления реакции было предложено экранирование кислых групп биополимера одновалентными катионами. В качестве замедлителя использовался хлорид калия. Кроме того, известно, что наличие хлорида калия в закачиваемых водных растворах препятствует набуханию глин в породе пласта.

С повышением концентрации БПА в водном растворе поверхностное натяжение на границе водный раствор-углеводород возрастает. Так, увеличение содержания БПА с 0,25% до 1% приводит к росту поверхностного натяжения с 54,90 до 59,48 мДж/м² (поверхностное натяжение на границе вода-углеводород в данном эксперименте – 50,98 мДж/м²). Это говорит о снижении риска образования эмульсии и коагулирования нефтенасыщенной части коллектора.

Также, увеличение межфазного натяжения будет определять преимущественную закачку раствора БПА в водонасыщенный пласт.

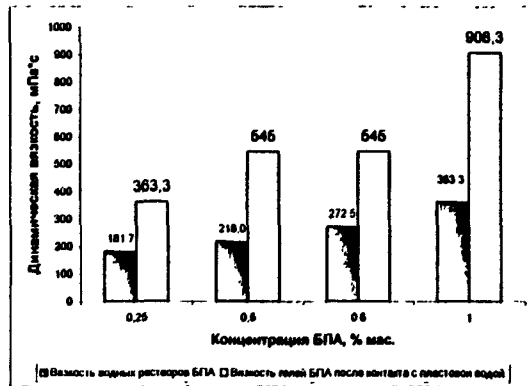


Рисунок 6 Зависимость динамической вязкости при низких скоростях сдвига (ВНСС), $\eta_{\text{д.н.}}$, от концентрации БПА в растворе (сод. в пластовой воде Ca^{2+} 318 мг/л)

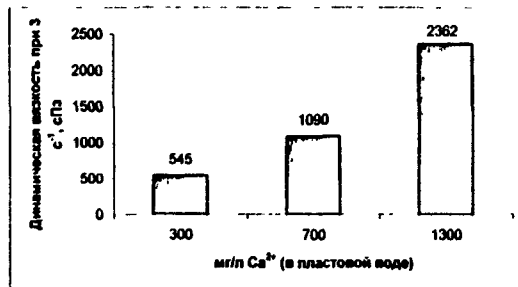


Рис 7 Вязкость геля ($\gamma = 3 \text{ с}^{-1}$) полученного из 0,5% раствора БПА при смешении с водами с различным содержанием ионов кальция

Следовательно, растворы биополимера БПА способны связывать пластовую воду, тампонируя обводнившиеся пропластки довольно прочным гелем. При этом низкая вязкость и гидрофильность растворов биополимера обеспечивает их преимущественную фильтрацию в водонасыщенный пласт, позволяя селективно ограничивать водопиток в добывающую скважину даже при незначительной разнице проницаемостей нефте- и водонасыщенных зон.

Исследование селективности и тампонажных свойств растворов БПА

Поведение реагента в пористой среде может кардинально отличаться от его поведения в свободном объеме, в том числе это касается и способности к гелеобразованию.

Для подтверждения высокой эффективности тампонирувания водонасыщенного интервала пласта и селективности действия реагента по отношению к пластовому флюиду были поставлены эксперименты на водо- и нефтенасыщенных моделях с одинаковой начальной проницаемостью. Методика и условия эксперимента полностью совпадали с экспериментами по оценке селективности действия раствора 0,12% Ритизана.

Как видно из табл. 3 фактор остаточного сопротивления, полученный после воздействия реагента на водонасыщенную модель, гораздо выше, чем в аналогичном эксперименте с раствором Ритизана.

При этом сравнение данного показателя с результатами, полученными на нефтенасыщенной модели, – Рост 1,37 – позволяет говорить о доказанной селективности тампонирующих свойств биополимера БПА по отношению к пластовому флюиду, а также о высокой эффективности тампонирувания водонасыщенной модели пласта.

Таблица 3.

Результаты фильтрационных испытаний на селективность

№ опыта	Начальная водонасыщенность, S_k , %	Начальная проницаемость, $K_{\text{н}}$, мкм ²		Конечная проницаемость, $K_{\text{к}}$, мкм ²		Фактор остаточного сопротивления, $K_{\text{ост}}$	
		По воде	По нефти	FIR – 80 см ³ /час	FIR – 200 см ³ /час	FIR = 80 см ³ /час	FIR = 200 см ³ /час
1	100	0,34	–	0,043	0,061	7,86	5,6
2	24,4	0,35	0,17	0,069	0,124	2,43	1,37

Следует отметить, что при фильтрации воды после воздействия реагента на всех режимах фильтрации наблюдалась быстрая стабилизация ΔP и в выходящей из модели продукции гелевых частиц замечено не было.

Следовательно, образовавшийся в модели пласта гель устойчив к выносу из пористой среды.

В подтверждение наличия гелеобразования в пористой среде и механизма действия замедлителя реакции была произведена закачка раствора биополимера в аналогичную водонасыщенную модель при тех же условиях, однако в составе композиции замедлитель не содержался. Полученный в данном эксперименте фактор остаточного сопротивления ($R_{ост} = 2,03$) гораздо ниже, чем при тампонировании композицией с замедлителем и сходен с фактором остаточного сопротивления полученным при закачке раствора Ритизана ($R_{ост} = 2,09$). Столь низкий фактор остаточного сопротивления связан, по-видимому, с мгновенным гелеобразованием на границе контакта «биополимер–вода» и последующим поршневым вытеснением минерализованной воды из модели без перемешивания.

Для проверки эффективности тампонирующих свойств раствора биополимера БПА в условиях пластовых вод низкой минерализации была проведена закачка биополимера в водонасыщенную модель, минерализованная вода в которой содержала 318 мг/л ионов кальция, т.е. в два раза меньше, чем в предыдущих экспериментах.

Закачка раствора биополимера в концентрации 0,5 % в объеме $0,5 V_{пор}$ позволила получить высокий фактор остаточного сопротивления ($R_{ост} = 5,8$), близкий по значению с фактором, полученным на более минерализованной воде, но при меньшей концентрации реагента.

Полученные результаты позволяют говорить о перспективности применения композиции на основе биополимера БПА для селективной водоизоляции, особенно в условиях отсутствия значительной разницы проницаемостей нефтенасыщенной и водонасыщенной частей призабойной зоны пласта, что характерно для многих месторождений Западной Сибири, в том числе с низкой минерализацией пластовых вод.

Опытно-промышленные испытания биополимера БПА

Технология селективной водоизоляции биополимерной композицией на основе реагента БПА осуществлялась с использованием стандартного оборудования устья скважины и технических средств, применяемых при капитальном ремонте скважин. В данном параграфе описаны обвязка технологического оборудования, порядок приготовления композиции и технология ее закачки в пласт.

Определены геолого-технологические требования к объектам применения данной технологии, выполнение которых должно обеспечить корректные условия проведения обработок.

Работы по технологии селективной водоизоляции с применением биополимера БПА проведены на скважинах №226 и №296 Восточно-Перевального месторождения (НГДУ "РИТЭКнефть"). Обработка скважин включала последовательную закачку буфера пресной воды $0,5 \text{ м}^3$, 52 м^3 водоизолирующего состава и буфера пресной воды $0,5 \text{ м}^3$. Расход реагентов на каждую скважино-обработку составил: биополимер БПА – 250 кг, хлористый калий – 600 кг. Время гелеобразования составляло 24 часа в обоих случаях.

Обработка скважины №226 куст №3 проводилась 25 июля 2004 года. Продуктивный пласт АС, перфорирован в интервале 2393,0-2400,0 м. 70 отв. ПК-105. Режим работы скважины до обработки: Qж – $66,2 \text{ м}^3/\text{сут}$, Qн – $1,9 \text{ т}/\text{сут}$, обводненность – 96,6 %, динамический уровень- 1090 м. После обработки Qж составляет $61 \text{ м}^3/\text{сут}$, Qн- $5,7 \text{ т}/\text{сут}$, обводненность – 89%, динамический уровень- 1084 м.

Обработка скважины №296 куст №3 проводилась 7 августа 2004 года. Продуктивный пласт АС, перфорирован в интервале 2482,5-2485,5 м., 30 отв. ПК-105. Режим работы скважины до обработки: Qж- $66,4 \text{ м}^3/\text{сут}$, Qн- $0,7 \text{ т}/\text{сут}$, обводненность – 99 %, динамический уровень- 872 м. После обработки Qж – $72 \text{ м}^3/\text{сут}$, Qн – $2,9 \text{ т}/\text{сут}$, обводненность- 96%, динамический уровень- 636 м.

Дополнительная добыча нефти по скважине №226 составила $3,8 \text{ т}/\text{сут}$, по скважине №296 – $2,2 \text{ т}/\text{сут}$.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Впервые проведены комплексные исследования реологических и фильтрационных свойств водных растворов двух биополимеров новых Ритизан и БПА, синтезируемых непатогенными штаммами бактерий *Acinetobacter* и *Azotobacter*, соответственно.
2. Показано, что длительное нагревание водных растворов Ритизана при температуре до 120°C не приводит к потере реологических свойств, в отличие от растворов биополимеров ксантанового ряда, что позволяет рекомендовать Ритизан для замены ксантана в биополимерных композициях, в том числе и для бурения скважин.
3. Установлено, что величина критической концентрации образования ассоциатов биополимера Ритизан не зависит от температуры и близка к 0,1% масс. Фильтрационными исследованиями показано, что 0,5-0,7% водные растворы Ритизана могут быть рекомендованы для изоляции высокопроницаемых промытых пропластков.
4. Показана возможность структурирования маловязких растворов БПА в присутствии слабоминерализованных пластовых вод с образованием прочного геля, эффективная вязкость которого на порядок выше вязкости исходного раствора.
5. Фильтрационными исследованиями доказана высокая тампонирующая способность водных растворов БПА в концентрации 0,25-0,5%, а так же высокая селективность действия данного реагента по отношению к пластовому флюиду.
6. Проведены опытно-промышленные работы по селективной водоизоляции добывающих скважин биополимерной композицией на основе БПА на одном из месторождений Западной Сибири, характеризующимся низкой минерализацией пластовых вод и близкими значениями проницаемостей нефте- и водонасыщенных интервалов. Расход реагента БПА на одну скважинно-обработку составил 250 кг. Дополнительная добыча нефти составила 3,8 т/сут.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих
публикациях:**

1. Соболев К.А., Винокуров В.А., Жуковский Е.А., Барков А.В. Эффективные реагенты для интенсификации добычи нефти и ремонтно-изоляционных работ на базе полимеров// Современные проблемы нефтеотдачи пластов «Нефтеотдача - 2003»: Тез. докл. 1-я международная конф. – Москва, 2003. – С.145.
2. Соболев К.А., Гафиева Э.С., Возный О.В. Применение биополимеров для селективной водоизоляции добывающих скважин// Молодежная наука – нефтегазовому комплексу: Тез. докл. Науч. конф., секция 7. – Москва, 2004. – С. 17.
3. Соболев К.А., Голубева Л.А., Гаврилов Р.А. Применение биополимеров в качестве компонентов буровых растворов// Молодежная наука – нефтегазовому комплексу: Тез. докл. Науч. конф., секция 7. – Москва, 2004. – С. 18.
4. Соболев К.А., Голубева Л.А., Винокуров В.А., Жуковский Е.А., Барков А.В. Биополимерный реагент Ритизан для бурения скважин // Технологии нефти и газа. – 2004. - № 4. – С. 68-71.
5. Соболев К.А., Губанов В.Б., Жуковский Е.А., Эгбал Сахраи, Винокуров В.А. Новая биополимерная композиция для селективной водоизоляции добывающих скважин // Технологии нефти и газа. – 2004. - № 3. – С. 66-69.
6. Балакин В.В., Губанов В.Б., Соболев К.А. Экспериментальные исследования эффективности довытеснения нефти раствором биополимера (Продукт БП-92) в зависимости от свойств нефти // Нефтепромысловое дело. – 2004. – № 8. – С. 29 – 33.
7. Соболев К.А. Биополимерная композиция для ограничения водопритока// Нефть, газ и бизнес. Научно-техническое приложение. – 2004. – № 1. – С. 68-70.

Подписано в печать
Объем

Формат 60х90/16
Тираж 100

Заказ 88

119991, Москва, Ленинский просп. ,65
Отдел оперативной полиграфии
РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

Р-2307

РНБ Русский фонд

2005-4

48501