

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ И ГАЗОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени И.М.ГУБКИНА

На правах рукописи

АНГЕЛОПУЛО Олег Константинович

МИНЕРАЛИЗОВАННЫЕ БУРОВЫЕ РАСТВОРЫ
С КОНДЕНСИРУЕМОЙ ТВЕРДОЙ ФАЗОЙ

Специальность 05.15.10 -
Бурение нефтяных и газовых скважин

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 1991

Работа выполнена в Московском институте нефтехимической и газовой промышленности имени И.М.Губкина и Казахском научно-исследовательском геологоразведочном нефтяном институте (КазНИГРИ).

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор С.Н.Ятров
доктор технических наук, профессор М.Р.Маматов
доктор физико-математических наук В.В.Кликин

Ведущее предприятие — производственное объединение
"Оренбургнефтегазгеология"

Защита диссертации состоится "29" декабря 1984 г.
в 15 часов.

на заседании специализированного совета Д053.27.05 по присуждению ученых степеней по специальности "Бурение нефтяных и газовых скважин" при МИНХ и ГП им.И.М.Губкина по адресу:
117296, Москва, Ленинский проспект, 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИНХ и ГП им.И.М.Губкина.

Автореферат разослан "23" ноября 1984 г.

Учбный секретарь
специализированного совета,
профессор

Е.Г.Леонсов

Надежда Харлампиевна Титоренко
с большим уважением

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Роль и значение подсольных залежей нефти и газа в укреплении топливно-энергетического потенциала страны непрерывно возрастает. В подавляющем большинстве регионов, где решениями XXVI съезда КПСС намечено расширение геологоразведочных работ, а также интенсивное развитие нефтегазодобывающей промышленности (Казахская ССР, Оренбургская обл., Поволжье, Средний Азия, Украина, Белоруссия, Восточная Сибирь и др.), геологический разрез содержит многокилометровую соленосную толщу. Сложные горно-геологические условия в значительной мере сдерживают темп строительства скважин.

Ставок скважин увеличивается в результате растворения и пластического течения соленосных пород и разупрочнения терригенной части разреза. На ряде площадей в переходной зоне и подсольных отложениях отмечаются зоны АВПД, требующие применения буровых растворов плотностью до 2300 кг/м³ и более. Аварийные ситуации возникают при рапоропроявлениях, поступлении кислотных газов или поглощениях утяжеленного бурового раствора в подсольных отложениях. Главным образом по этим причинам буровая скважина превратилась в крупный объект стоимостью в несколько миллионов рублей.

Особую актуальность приобрела проблема создания более эффективных по сравнению с существующими буровых растворов на водной основе, доступных для массового применения и в сочетании с некоторыми системами на углеводородной и водной основах удовлетворяющих многообразию требований, которые возникают при бурении и заканчивании скважин в подсольных структурах. Дальнейшее совершенствование буровых растворов для этих условий следует осуществлять за счет выбора рациональных сочетаний солей, термостойких зашитых реагентов, а также твердых структуро- и коркообразующих компонентов, которые должны обладать большей химической активностью и агрессивной подсольной среде, чем глинистая дисперсная фаза традиционных буровых растворов.

Программа собственных исследований, составленная примерно 15 лет назад (после защиты кандидатской диссертации), включалась в рамки важнейшей тематики, связанной с поисками и разведкой нефтегазовых месторождений в подсольных структурах Прикаспийского региона.

В качестве отправных были использованы положения и выводы, полученные специалистами Волгограда (М.И.Липскес, А.Н.Ананьев, В.С.Новиков, А.В.Ферстер, П.П.Гребенников и др.), Саратова (Г.Ф.Горезов, Г.А.Гурвич), Украины (Ф.Д.Овчаренко, Н.Н.Кругицкий, А.Т.Левченко, Н.Х.Титоренко), Узбекистана (К.С.Ахмедов, У.Д.Мамаджанов, А.К.Рахимов, М.К.Турапов), ВНИИЕТ (Э.Г.Кистер, Д.Е. Золотник, Ю.В.Барановский), МВНХ и ГП (К.Ф.Ягач, И.Б.Адаш, Л.К.Мухин, В.Д.Городнов, И.М.Тимохин), а также зарубежными фирмами при проводке скважин в соленосных отложениях и при исследовании минерализованных глинистых суспензий.

Цель работы: разработать эффективную технологию приготовления и экономичные составы минерализованных буровых растворов, предназначенных для массовой проводки глубоких скважин на подсольные залежи нефти и газа.

Основные задачи исследования: В результате обобщения отечественного, зарубежного опыта и собственных наблюдений наметить пути совершенствования технологии буровых растворов для условий солевого тектогенеза. Конкретизировать представления о сущности процессов, происходящих при взаимодействии слабоумяжненных глинистых и глиносолевых пород с концентрированными растворами электролитов. Обосновать солевой состав буровых растворов, предназначенных для разбуривания в открытом стволе соленосных и терригенных частей разреза, позволяющих упростить конструкцию скважины и сократить нормативную химическую реагентность и особенно солевого сырья. Изучить применимость принципа химической конденсации дисперсной фазы для получения высокоминерализованных буровых растворов. Выявить и изучить основные факторы, влияющие на свойства конденсируемых водных дисперсий, используемых в качестве основы буровых растворов. Разработать эффективную технологию и экономичные составы минерализованных буровых растворов для условий солевого тектогенеза и внедрить их в различных регионах страны при бурении на подсольные отложения.

Научная новизна. Разработана эффективная технология получения буровых растворов, основанная на использовании в качестве дисперсной фазы продуктов химической конденсации труднорастворимых осадочных в минерализованной среде. Исследованы особенности зародышеобразования и кристаллизации в данных системах и сформулированы положения об устойчивости конденсируемых водных дисперсий, а для

некоторых из них установлена связь структурно-механических свойств с кристалло-химическим состоянием дисперсной фазы. Разработаны оригинальные способы регулирования процесса структурообразования в конденсируемых дисперсиях гидроксидов (названы гидрогелями) и солей (солегелями), выявлены области устойчивого состояния этих систем при различных условиях.

Конкретизированы и углублены представления о физико-химических процессах, протекающих при капиллярной пропитке глин концентрированными растворами электролитов. Обоснована необходимость поддержания полисолевого, в основном калийно-магниевого состава дисперсионной среды бурового раствора. Доказана возможность значительного повышения периода устойчивого состояния глин к глино-солевым породам путем насыщения хлоридом калия высокоминерализованных буровых растворов, обработанных органическими реагентами и хлоридом магния.

Практическая ценность. Подобраны экономичные составы буровых растворов для массовой проводки скважин в условиях солевого тектогенеза с аномально-высокими пластовыми и поровыми давлениями, устойчивых к агрессивному воздействию хемогенных пород и рапы, стабильных при утяжелении до 2300 кг/м³ и температуре до 130°C, предотвращающих оседание ствола скважины и позволяющих повысить коммерческую скорость проходки. Подтверждена целесообразность частичной замены товарных солей многотонными отходами их переработки.

Применение результатов исследований способствовало ускоренной разведке залежей нефти и газа в подсольных отложениях Прикаспийского региона, предусмотренной решениями XXV и XXVI съездов партии.

Реализация работы в промышленности. В течение последних 12 лет проведена опытно-промышленная проверка многих разновидностей гидрогелей и солегелей.

Ряд модификаций гидрогеля магния и калийно-магниевого буровые растворы внедрены при массовой проводке скважин на подсольные отложения в Западной Казахстане, Астраханской, Оренбургской областях, а также на отдельных скважинах Саратовской области, Калинин, Средней Азии, Восточной Сибири. К началу 1980 года объем бурения с разработанными растворами превысил 150 тыс.м. (79 скважин), а учетный экономический эффект только по 20 сква-

жинам составил 4771 тыс.рублей. Успешное внедрение этих систем продолжается. По ряду предприятий Миннео РСФСР, КазССР, УзССР буровые растворы с калийно-магниевыми солями включены в технологические регламенты на XI пятилетку.

Апробация работ. Материалы диссертации доложены на всесоюзных и зональных совещаниях, конференциях и включались в повестку для международных симпозиумов, в частности: "Вопросы бурения и крепления скважин в соленосных отложениях" (Саратов, 1969), "Повышение эффективности газзвездочного бурения" (Алма-Ата, 1971), "Физико-химическая механика контактного взаимодействия и фреттинг-коррозия" (Киев, 1973), "Состояние и перспективы расширения минерально-сырьевой базы Западного Казахстана" (внезаядная сессия АН КазССР, Актюбинск, 1978), "Совершенствование промывочных жидкостей в системе Мингазпрома" (Суздаль, 1978), "Основные направления по утилизации отходов титано-магниевого производства" (Запорожье, 1978). Научный доклад об опыте применения новых растворов обсужден и одобрен на специальном заседании НТС Миннео СССР (Москва, 1977) с участием представителей организаций и предприятий Миннео СССР, Миннефтепрома, Мингазпрома, Минцветмета СССР, Минвуза СССР и РСФСР.

Главные научно-практические результаты диссертации вошли в коллективную работу, за которую автору совместно с группой специалистов в 1976 году была присуждена Государственная премия Казахской ССР в области науки и техники.

Публикации. Основное содержание диссертация изложено в 75 опубликованных работах (в том числе 9 брошюр, 7 изобретений) и в 18 научно-технических отчетах, ОЦНТИ ВНИИСа в 1978 г. отозван киновыпуск "Новые промывочные растворы для глубокого бурения".

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, основных выводов и приложения. Она написана на 420 с., включает 40 рис., 80 табл., список использованной литературы (219 наименований). Приложение дано на 107 с.

При подготовке некоторых материалов диссертация и внедрении разработанных рекомендаций автор сотрудничал с Е.В.Девятковым, С.М.Тамзатовым, У.С.Карабалиным, Е.А.Конюсоловым, Б.Ф.Пичугиным, В.М.Подгорновым, Н.А.Ризановым, Н.Е.Самойловым, Л.С.Скворцовым, Е.М.Солосьевым, В.М.Солосьевым, Б.Х.Хахаевым, а также рядом буровых мастеров и ИТР объединения "Казнефтегазгеология" и некоторых других буровых предприятий страны.

Автор выражает признательность проф.Л.К.Мухину за плодотворное обсуждение отдельных аспектов работы.

ОБОСНОВАНИЕ СОЛЕВОГО СОСТАВА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПРОВОДКИ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО ТЕКТОГЕНЕЗА

Промывка в хомогенных породах

К выполнению данного раздела диссертации автор приступил в тот период, когда для проводки скважин в условиях солевого тектогенеза применялись главным образом нефтесульфосонные глинистые растворы (НЭГР), насыщенные только NaCl и обработанные органическими реагентами (крахмал, КМЦ, КОСБ, глицерин и др.). Эти растворы обеспечивали нормальное бурение в однородной толще галита и считались неэффективными в хомогенных породах более разнообразного состава. Концентрированные растворы $MgCl_2$ использовались только при прохождении разрезов с калийно-магниевыми пластами.

Анализ литературного и промышленного материала показал, что характер взаимодействия глинистых растворов с солями значительно сложнее, чем растворение их в призабойной зоне и выпадение в осадок при охлаждении раствора на устье. Полиэлектролитный раствор, контактирующий с разнородными солями, даже при постоянной температуре стремится к состоянию, называемому точкой совместной кристаллизации. При этом наиболее растворимые соли переходят в раствор, а некоторая часть растворенных солей кристаллизуется. Особенности этих процессов применительно к бурящейся скважине при температуре 0-100°C рассмотрены в диссертации.

Проведены анализы фильтратов буровых растворов по ряду бурящихся скважин в Прикаспийской впадине и установлена качественная связь состава фильтрата с интенсивностью наводнообразования (при прочих равных условиях). Во внимание принимали опыт бурения с растворами, насыщенными солями с поверхности, а также с растворами, засоленными выбуренным солевым пластом.

С точки зрения обоснования солевого состава буровых растворов исходили из допущения, что хомогенная часть разреза представляется только четырьмя породами: галитом (NaCl), сильвинитом (KCl), бишофитом ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) и карналлитом ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$).

Выполненные обобщения позволили конкретизировать известные рекомендации по выбору солевого состава раствора для бурения хомогенных пород. Кроме NaCl, в раствор было рекомендовано

вводить определенное (в зависимости от литологической обстановки) количество хлоридов магния и калия.

Эксперименты показали, что скорость диффузионного растворения солей особенно при высокой температуре существенно уменьшается, если контактирующий с ними полисолевой рассол превратить в структурированную хладкость и обработать ее высокомолекулярными органическими реагентами и нефтепродуктами, иммобилизующими часть водной фазы раствора. При этом увеличивается период устойчивого состояния образцов из чистых и особенно "заглинизированных" солей. (Опыты проведены совместно с В.М.Соловьевым в лаборатории проф. Л.К.Мухомова). Поскольку высокомолекулярные реагенты являются одновременно регуляторами фильтрационных свойств, то на практике расход реагентов определенного вида и периодичность обработки раствора с целью ограничения растворимости и пластифицирования засоленных пород удается контролировать с учетом косвенного показателя-вязкости бурового раствора.

Особенно большие трудности при проводке скважины возникают в отложениях биоприта и карналита. Проведенные опыты подтвердили правильность выбранного специалистами Волгограда, Саратова, Полтавы курса на использование в подобных условиях промывочных жидкостей на углеводородной основе.

Промывка в терригенной части разреза.

Конкретизированы представления о сущности физико-химических явлений, приводящих к разупрочнению глин в контакте с рассолами и стабилизированными суспензиями, приготовленными на их основе. Преследовались цели создания растворов для проходки не разобраных между собой хемогенной и терригенной частей разреза, позволяющих увеличить выход открытого ствола и упростить тем самым конструкцию скважины, а также сократить номенклатуру применяемых реагентов и особенно солевого сырья.

При рассмотрении теоретических аспектов проблемы автор использовал научные труды В.С.Баранова, Б.В.Байджика, В.П.Наватова, А.И.Булатова, Д.В.Вадеевского, С.М.Гамзатова, И.М.Горьковой, Б.В.Дерягина, С.Ю.Жуковича, Л.И.Кульчицкого, Е.Г.Леонова, В.И.Лесовидова, М.Р.Мамлютова, Н.А.Марампольского, А.Х.Ибрагим-заде, А.К.Мискарли, С.С.Морозова, К.Ф.Пауса, А.И.Пенькова, П.А.Резникова, В.И.Рябенко, М.К.Сейд-Раи, О.Н.Самойлова, Е.М.Сергеева, Н.А.Садорова, Л.Е.Симоняна, К.Терцаги, Б.С.Филатова,

Т.Г.Фараджева, А.А.Шамсиева, Н.Н.Шерстнева, Л.А.Шрейнера, Е.Д.Щукина, А.Н.Ярова, С.Н.Ятрова, а также Р.Э.Гриша, В.Ф.Роджерса, Дж.Келли и других иностранных специалистов.

При проводке скважины с буровыми растворами на водной основе глинистые породы разупрочняются в результате увлажнения и воздействия знакопеременных нагрузок. По мнению многих специалистов, главной причиной увлажнения глинистых пород в приставочной зоне скважины является осмос. Для его торможения необходимо, чтобы молярная концентрация электролитов в буровом растворе была выше, чем в поровой жидкости. Имеются основания предположить, что вводимые в раствор соли вместе с другими компонентами раствора и породы участвуют в формировании полупроницаемой мембраны на стенке скважины. Но поскольку через мембрану в приставочную зону проникает только опресненная вода, то электролиты, присутствующие в буровом растворе, непосредственного влияния на более удаленные слои породы оказать не могут.

Если глинистые породы в условиях естественного залегания увлажнены слабо (высокая степень литификации), то, очевидно, на начальной стадии взаимодействия с буровым раствором они насыщаются водой под действием поверхностных сил, т.е. вследствие капиллярной пропитки, диффузионно-пленочной миграции и т.п., а лишь затем устанавливаются осмотические перетоки.

При капиллярной пропитке в породу вместе с водой переносятся электролиты, которые могут непосредственно влиять на темп разупрочнения пород.

Изучены некоторые особенности взаимодействия слабоувлажненных (воздушносухих) глин с различными жидкостями: исследовано деформационное поведение искусственных глинистых и глиносолевых образцов в условиях, приближенных к забойным, на установках Л.К.Мухомова-В.М.Соловьева и Е.Г.Леонова-В.С.Войтенко; выполнен большой объем работ с помощью хроматографической колонки, позволившей определить скорость пропитки уплотненных глинопорошков; полезная информация получена при анализе водных вытяжек из проб увлажненной глины, отобранных из колонки на разной высоте. С помощью сканирующего микроскопа с рентгенооптической приставкой "Камека" у нескольких проб определено распределение элементов по поверхности микрошлифов, в том числе K, Ca, Mg, Na, Si до и после пропитки глин полисолевыми растворами. Поскольку процессы исследовались применительно к условиям солевого тектогенеза, то в отличие от большинства

других авторов опыты проводились с концентрированными полисолевыми растворами.

Подтвержден полученный на практике вывод о том, что высокая минерализация раствора, достигнутая за счёт обработки только хлоридом натрия, является недостаточным условием для сохранения устойчивости слабоувлажнённых глин. Поэтому для снижения скорости капиллярной пропитки в НЭТР наряду с высокомолекулярными органическими реагентами вводили хлорид магния, который усиливает эффект упорядочения структуры воды и повышения её вязкости. От добавки в НЭТР 15-20% $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ период устойчивого состояния образцов повышался в 10-16 раз.

Однако промышленные опыты, параллельно проведенные на буровых Прикаспийской впадины, свидетельствовали о том, что для борьбы с осипами и обвалами в терригенной части разреза (глинистые породы пермотриаса) в ряде случаев требовалась обработка раствора электролитами, вызывающими глубокие и необратимые изменения структуры глин и повышающими их водоустойчивость. Хорошие результаты были получены от добавок в НЭТР растворимых силикатов (В.Д. Горюнов). Но в наших исследованиях особое внимание обращалось на возможность модифицирования глин хлоридом калия, вводимым в концентрированный полисолевой раствор.

Эффект калийно-магнелиевой минерализации

Главной предпосылкой для постановки исследований был положительный опыт применения на буровых Уральской области (1965г.) НЭТР с добавкой 10-15% карналлита. Учитывалось также, что KCl не вступает в реакцию обменного разложения с выбуриваемыми обломками и вязкотонкими водами, а его содержание можно заменять в широких пределах даже в концентрированных растворах электролитов. Хлорид калия, как отмечалось выше, является одним из компонентов полисолевого раствора, предназначенного для ограничения растворимости пород хемогенной части разреза.

Однако полученные на практике результаты не согласовались с широко распространенным и основанным на достоверных лабораторных данных предположением, которое заключается в том, что ионы K^+ могут внедряться в кристаллическую решетку некоторых глинистых минералов только при отсутствии в растворе посторонних ионов и особенно Mg^{2+} и Ca^{2+} . Это положение было реализовано специалистами,

создавшими так называемые хлоркалийные глинистые растворы, которые содержат глину, воду, 3-5% KCl , органические стабилизаторы, а также K_2CO_3 и KOH для связывания polyvalentных катионов.

В диссертации дано объяснение кажущегося противоречия в результатах исследований влияния посторонних катионов на процессы модификации глин ионами K^+ . Доказано, что в пристволевой зоне может иметь место молекулярно-ситовый эффект. Ионы K^+ , обладающие наибольшей подвижностью, концентрируются в передних порядках мигрирующей жидкости и могут активно взаимодействовать с глиной, скрепляя пакеты прочными связями, и тем самым несколько компенсировать понижение прочности пород, вызванное гидратационными процессами. После того, как в увлажняющемся слое пристволевой зоны интенсифицируются осмотические явления, высокое осмотическое давление бурового раствора будет ограничивать влагоперевос в породу.

Глинистые частицы с дисперсностью, близкой к коллоидной, помещенные в полисолевой раствор, взаимодействуют одновременно со всеми его компонентами. В этом случае отрицательное влияние посторонних веществ на модифицирование глин ионами K^+ проявляется в полной мере. (Именно такой способ подготовки образцов для кристаллохимических исследований применяли предыдущие исследователи).

С помощью хроматографической колонки установлено, что процесс разделения ионов K^+ и Mg^{2+} наиболее отчетливо проявляется в случае, если использовать полисолевой раствор, насыщенный по $NaCl$ и содержащий 10-20 г/л ионов Mg^{2+} и не менее 50 г/л ионов K^+ . При уменьшении парциальной концентрации $MgCl_2$ в полисолевом растворе эффект разделения ионов менее заметен. Поэтому в упомянутой выше рецептуре хлоркалийного глинистого раствора соблюдение принципа "монокатионности", очевидно, можно считать оправданным.

Применение в хемогенно-терригенных породах. (Обобщение полученных результатов)

Оказалось возможным с определенным допущением регламентировать степень минерализации растворов для конкретной литологической обстановки и по этому признаку разделить буровые растворы на четыре типа. Для каждого типа установлены рациональные сочетания добавок товарных солей и реагента МН-1, являющегося отходом магнеливого производства, состоящего из хлоридов калия, натрия и магния. Следует особо подчеркнуть, что буровые растворы

I-IV типов по минерализации (табл. I) должны быть структурированными и обработанными органическими реагентами системами и иметь параметры, соответствующие геолого-техническим условиям проводки скважин в данном районе. Такие растворы названы калийно-магниевыми.

Для каждого типа раствора нами разработаны и апробированы на предприятиях Миннео КазССР временные нормы расхода солей и защитных реагентов.

Таблица I

Рекомендуемая область применения	Тип раствора	Минерализация, кг/м ³		Плотность фильтрата, кг/м ³	Добавка солей, кг на м ³ воды	
		общая	по Mg ²⁺		кариналит, бишофит	КСЭ-1, галит
Неустойчивые надосевые и подосевые отложения	I	80	10	1070	160 100x)	100x)
Галит с засоленными терригенными пропластками	II	250	15	1140	200	150
Хомогенно-терригенные отложения с включением КСЭ	III	350	15	1210	200 200x)	250 250x)
То же, но с включением калийно-магневых солей и при рапоропроявлениях	IV	400	40	1230	600 800x)	160 150x)

Значком "x" выделены добавки солей в сочетании "бишофит-хлорид калия" или "бишофит-КСЭ-1".

ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ С КОНДЕНСИРУЕМОЙ ТВЕРДОЙ ФАЗОЙ

Недостатки минерализованных глинистых суспензий

В связи с расширением объемов глубокого бурения на подосевные залежи нефти и газа большую актуальность приобрели работы, направленные на решение проблемы повышения термостойкости буровых растворов вообще и на водной основе в особенности.

Термостойкость — это характеристика бурового раствора, которая должна оцениваться применительно к конкретным условиям проводки скважин, заключается в способности раствора с заданной минерализацией сохранять определенные технологические параметры

в течение длительного периода времени при минимальных расходах и стоимости защитных реагентов, а также материалов, составляющих твердую дисперсную фазу системы. В нашей стране и за рубежом уже создан ряд органических защитных реагентов, весьма устойчивых к солевой агрессии, высокой температуре, и пути дальнейшего совершенствования состава подобных реагентов в достаточной мере определены. Что касается выбора материалов для получения твердой фазы буровых растворов, то он ограничен и сводится к применению природных образований, главным из которых является глинистые породы.

Полисолевая среда, в особенности содержащая хлориды калия и кальция, резко снижает коллоидно-химическую активность глинистой дисперсной фазы. Стабильность суспензий, их реологические, фильтрационные и коркообразующие свойства ухудшаются, что является причиной осложнений и даже аварий. Возрастают сроки исследовательских работ в скважине, уменьшается их информативность, ухудшаются условия вскрытия продуктивных горизонтов. Вследствие высокой каверзности ствола скважины снижается качество разобщения пластов и надежность крепления скважины. Кроме того, увеличиваются затраты времени на приготовление, химобработку глинистых суспензий и периодическое перемешивание их в емкостях после утилизации.

Качество высокоминерализованных буровых растворов в ряде случаев удается значительно улучшить при использовании солевых разновидностей глин, в т.ч. палигорскита, а также добавками мела, асбеста. Из литературы известно предложение структурировать рассолы тонкодисперсными гидроксидами поливалентных металлов (М.А. Гейман, 1954). Но в специфических условиях бурения соленосных толщ (проникновения кислых газов и крепких пластовых рассолов, в том числе рапы, обогащение раствора гипсовым шламом, поддержание высокой степени утилизации бурового раствора и т.п.) необходимо располагать более эффективными составами буровых растворов и совершенной технологией их приготовления и применения.

Сущность выдвигаемых предложений

Новые возможности открыл предложенный в диссертации принцип получения буровых растворов, основанный на использовании в качестве дисперсной фазы продуктов химической конденсации труднорастворимых соединений, образующихся при смешении двух или более электролитов, вступающих между собой в реакции обменного разложения.

Анализ опубликованных работ по смежным отраслям науки и техники и особенно химической технологии и галургии указал на возможность конденсирования частиц, обладающих высокой степенью дисперсности, устойчивых к коагулирующему действию среды, в которой они образовались (маточного раствора), имеющих на определенной стадии старения хорошую адсорбционную активность. Важным являлось в то, что конденсируемые вещества по физико-химическим свойствам могут отличаться от природных образований данного вида.

Для разработки основ получения буровых растворов с конденсируемой твердой фазой потребовалось выполнение большого объема научных исследований в основном экспериментального характера. При этом непосредственно использовать материалы по химической технологии неорганических соединений не представлялось возможным, т.к. в них преследовалась противоположная цель - получение крупных однородных кристаллов, легко отделяющихся от маточного раствора.

На начальной стадии исследований конденсирование частиц осуществляли только путем приливания осадителя к исходному раствору в процессе перемешивания, что имитировало самый простой вариант получения раствора в условиях буровой. Концентрацию и состав солей в исходном растворе выбирали с учетом требований бурения в определенном разрезе, а величину добавки осадителя - методом подбора.

Дисперсии конденсируемых гидроксидов были названы гидроксидными гелями или сокращенно гидрогелями, а дисперсии труднорастворимых солей - солегелями.

Качественная связь структурных свойств гелей с кристалло-химическим состоянием конденсируемых частиц

В процессе старения гидрогели и солегели, не обработанные защитными реагентами, утрачивают агрегативную устойчивость, а нагревание значительно ускоряет этот процесс.

Рабочая гипотеза. Конденсируемые водные дисперсии могут сохранять агрегативную устойчивость и тиксотропные свойства до тех пор, пока твердая дисперсная фаза находится на промежуточных ступенях превращений (стадия растущего кристалла) и поэтому способна упорядочить вокруг себя родственные частицы и за счет высокой поверхностной энергии обеспечивать значительную адгезивную прочность адсорбционных слоев.

Некоторая часть новообразований может контактировать между собой по коагуляционному принципу; не исключается, однако, возможность непрочного срастывания кристаллических решеток частиц и образования агрегатов, которые при внешнем воздействии разрушаются, а затем при наличии пересыщения в системе могут вновь восстанавливаться. Доводов геля осадителем приводит к появлению новых порций свежесформированных частиц и придает системе внутреннюю несбалансированность, а следовательно, кристаллохимическую активность.

При обработке конденсируемых дисперсий некоторыми органическими реагентами возможно образование систем с полиминеральной структурой.

Экспериментальное подтверждение. Периодические замеры η_{sp}/c и τ_0 гелей в процессе старения позволили выявить четыре характерных периода их структурных изменений: I - индукционный, СНС равен нулю; II - рост прочности тиксотропной структуры, СНС достигает максимальных значений, характер разрушения структур "упруго-хрупкий" (по П.А.Резниченко); III - снижение СНС, структура "пластифицируется" и постепенно утрачивает тиксотропные свойства; IV - значения СНС стабилизируются на низком уровне, состояние структурн-нетиксотропное. Продолжительность этих периодов у гидрогелей была значительно больше, чем у солегелей.

В работе использовали дифрактометр УРС-50М. Исследования проводились по методу "мазков", для чего на стеклянную подложку наносили отжатый под вакуумом гель. Обычно применяемый в рентгенографии метод порошкограмм оказался непригодным, т.к. кристалли солей, выделившиеся из маточного раствора после высушивания, "закрывали" рефлексы истинной твердой фазы геля.

Изменение степени пересыщения растворов определяли кондуктомером ОК-102/1 на установке, состоящей из стакана, магнитной мешалки ММ-3 и потенциометра ЭПП-09МЗ с самописцем.

Непосредственное изучение форм и размеров частиц проводилось под электронными просвечиваниями (ЭМ-7) и растровым (Stereoscan - 4-10) микроскопами. Ранние стадии кристаллизации выявляли с помощью двухлучевого спектрофотометра ИК-22 по возникновению тонкой структуры после пропускания в области волновых чисел 3000-3600 и особенно 1600-1700 см^{-1} . В некоторых случаях использовали измерительную кювету сравнения, заполненную водой или раствором, имитирующим дисперсионную среду геля.

Для более углубленного изучения процесса конденсации частиц

и структурообразования в этих дисперсиях проведены разовые эксперименты с использованием прецизионных калориметров. Закономерности изменения дисперсности частиц изучали седиментационным методом.

Гидрогели магния. В системе $H_2O-25\% MgCl_2-2\% NaOH$ первые признаки помутнения раствора и заметное снижение его электропроводности отмечала через 40-45 мин после добавки $NaOH$. Величина pH системы изменялась в пределах 8,3-7,5. На микрофотографиях ($\times 30.000$), полученных в этот период, видны скопления частиц с кристаллической, полукристаллической структурой и хаотически расположенные яглы хлористого магния. Отмечалось сужение полос ИК-спектра в области валловых чисел $1600-1700\text{ см}^{-1}$.

На рентгенограмме I-суточного гидрогеля видны линии $NaCl$ ($d = 32,5; 28,1; 19,83; 19,65\text{ нм}$), брусита ($d = 26,3; 23,9\text{ нм}$), других соединений ($d = 74,41; 31,1; 24,3; 23,9; 22,0\text{ нм}$). Именно такое кристаллохимическое состояние соответствовало периоду повышения прочности тиксотропной структуры. Через 7 суток, когда СИС значительно уменьшились, на рентгенограмме появились несколько новых линий, а рефлексы стали более яркими.

Для идентификация ряда линий использованы результаты работ А.А.Байкова, В.Ф.Хуравлева, А.Г.Бергмана, П.П.Вирохова, Б.И.Смирнова, Е.С.Осоловской и Е.В.Сегаловой, В.И.Вель, изучавших твердые хлормagneзиальные цементы.

Установлено, что гели I и 7-суточного возраста содержали пятиокисные оксихлориды $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$. На более поздних стадиях старения (60 суток) образовался - трехокисный оксихлорид $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$.

В последующих опытах изучали процесс конденсирования твердой фазы в полисольных растворах, содержащих, кроме $MgCl_2$, хлориды натрия и калия. Установлено, что в системе $H_2O-MgCl_2-NaCl-NaOH$ трехокисные оксихлориды магния выделяются значительно быстрее, чем в растворах без $NaCl$, а в системе $H_2O-MgCl_2-NaCl-KCl-NaOH$, в которой концентрации солей соответствовали четырем типам растворов в табл. I, рефлексы на рентгенограммах идентифицированы с $Mg(OH)_2$, $NaCl$, KCl , а некоторые - с оксихлоридами магния.

На различных стадиях старения соотношение между этими компонентами изменяется. Уменьшается количество аморфной фазы, а оксихлориды принимают трехокисную форму, т.е. конечный продукт кристаллизации этого класса соединений. Периоду максимальной прочности тиксотропной структуры гидрогеля магния соответствовала

пятиокисная форма оксихлорида магния, обладающего высокой кристаллохимической активностью.

Гипотеза о структурообразовании в конденсируемых дисперсиях гидроксидов подтверждена также исследованиями твердой фазы системы, состоящей из $H_2O-10\% FeSO_4-2\% NaOH$. Наиболее структурированная система при pH = 4-5 существовала в том случае, когда твердая фаза была представлена кристаллическим гидросульфатом $(Na, H_2O) \cdot Fe_2(SO_4)_3$, а также гидроксидами $Fe(II)$ и $Fe(III)$ с неустойчивой полимерной структурой. В ходе дегидратации и ферритобразования система утрачивала тиксотропные свойства.

С о л е г е л и. Наиболее обстоятельным исследованиям была подвергнута система с конденсируемым гипсом, получаемая в результате смешения в стехиометрическом соотношении растворов $MgSO_4$ и $CaCl_2$ (а.с. 387377). Темп снижения пересыщения раствора и роста частиц гипса зависел от концентрации растворов. При смешении 0,25N растворов солегалы образовывался через 60-90 с, а при 0,75N - через 20-30 с. Частицы твердой фазы быстро укрупнились за счет перекристаллизации.

Проведены сравнительные исследования гипсового солегала трехсуточного возраста и суспензии гипса (реактив "х.ч."), перетертого в ступке с раствором, имитирующим дисперсионную среду солегала. Системы заметно отличались друг от друга по стабильности (табл. 2). Очевидно, что причиной тому являлась не только существенная разница в размере и форме частиц, но и в параметрах кристаллической решетки и характере связи с молекулами воды.

Кроме гипсового солегала, исследованы дисперсии конденсируемых силикатов и карбонатов кальция и магния, названные соответственно силикатными и карбонатными солегаллами. Силикатные солегалы получали при добавке 1-2% насыщенного раствора $CaCl_2$ или $MgSO_4$ в 10%-ный раствор хлоридного стекла. Эти системы обладали хорошей стабильностью и тиксотропными свойствами. Дисперсная фаза солегалы с $MgSO_4$ состояла в основном из рентгеноаморфных (некристаллизованных) соединений, и лишь некоторые рефлексы можно было идентифицировать с $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($d = 71; 43,3\text{ нм}$) и $MgO \cdot SiO_2$ ($d = 28,9; 19,6; 13,8\text{ нм}$). В солегаллах с $CaCl_2$ образовались соединения типа $d-CaSiO_3$ ($d = 43,2; 38; 27,4; 19\text{ нм}$) и $\beta-CaSiO_3$ ($d = 27,7; 26,2\text{ нм}$). Твердая фаза карбонатного солегала была представлена карбонатами кальция или магния и практически не содержала рентгеноаморфных образований. Этот солегал обладал явно выраженной тиксотропной

Таблица 2
Характеристика суспензии перетертого гипса (х.ч.)
и гипсовых осадков, содержащих по 20% твердой
фазы

Характери- стика	Использо- ванная ап- паратура	Суспензия гипса	Осадок, приготовленный	
			обычным спосо- бом	по способу "Р"
<u>Технологические параметры</u>				
$\eta_{sp}, \text{мПа}\cdot\text{с}$	ВОН-3	Расхождение	21	20
$\tau_0, \text{Па}$		за	17	20
СНС, Па	СНС-2	15 - 20	8,2/9,0	14,6/17,0
$V, \text{см}^3$	НМ-6	мин	57	13
$T, \text{с}$	ПВ-5		34	н/т
Отстой, %	цилиндр		18	2,5
<u>Свойства твердой фазы</u>				
Размер час- тиц, мкм	ЗМ-7 МБИ-8 54-10	1,25x0,25x x 0,125	0,04x0,008x x 0,004	0,0008x0,0003x x 0,0001
Механикоост- ные расстоя- ния, 10^{-1} мкм	УРС-50ИМ	7,7; 6,1; 4,29; 3,81; 3,06	7,4; 4,32; 3,86; 3,14; 3,86	7,45; 4,47; 4,26; 3,37
Форма состоя- ния воды (по ЯАР)	Braker sxp	N-7800 Гц (кристали- зац.) N-488 Гц	N-14150 Гц N-488 Гц N-1464 Гц (адсорбц.)	N-14150 Гц N-480 Гц N-2800 Гц (адсорбц.)
Поглощенное тепло:	Калори- метры			
- при конденса- ции частиц, кДж/моль;	ЭКС-1700	-	109	95
- при разбав- ления пасты 1% КССБ, кДж/кг	САМТ	0,076	0,085	0,293

структурой всего в течение нескольких минут после приготовления.

Следовательно, тиксотропные осадки, как и гидрогели, полу-
чаются только на стадии, когда твердая фаза представлена в со-
новном промежуточными, неустойчивыми соединениями.

Полученные результаты подтвердили гипотезу о структурировании
в конденсируемых водных дисперсиях и в свою очередь стимулировали
разработку способов поддержания кристаллохимической активности
новообразований в течение длительного времени, составляющего
многие месяцы. Без этого конденсируемые дисперсии не могли бы
служить основой для конструирования рецептур буровых растворов.

Условия процесса кристаллизации твердой фазы

Способ активированной затравки. Он заключается в том, что раст-
вор осадителя не приливается к исходному раствору, а добавляется в
смеси с тонкодисперсными частицами различных материалов. Реакция
обменного разложения при этом протекает не только в объеме раст-
вора, но и на поверхности частиц, что придает им энергию расту-
щих кристаллов и способствует выполнению функции структурообразую-
щего компонента в агрессивной среде.

Как и следовало ожидать, способ обладает селективностью. При
образовании гидрогеля магния наибольший эффект получается за счет
введения щелочной взвеси асбеста, поскольку его кристаллы пред-
ставляют собой трубки с бруситовым слоем на внешней стороне и
изоморфны с конденсируемыми гидроксидами и оксидоклоридами. На ски-
нограммах (x800) проб гидрогеля отчетливо видны ступеньки конден-
сированных частиц на поверхности волокон асбеста.

Установлено, что 2-3-процентная добавка щелочной асбестовой
взвеси сокращает индукционный период образования гидрогеля маг-
ния от нескольких часов до 10-15 мин. Максимальную прочность
структура гидрогеля приобретает через 2-3 ч после смешения хлор-
магниевого рассола и щелочной затравки.

Несколько меньшее влияние на процесс структурообразования
оказывала добавка пасты из дружковской глины. Щелочные затравки
из паллигорскита, мела и барита, добавленные в хлормagneвий
рассол, очень слабо влияли на ускорение процесса структурообра-
зования. Этот факт трудно объяснить лишь по отношению к паллигор-
скиту, т.к. его кристаллическая структура близка к хризотилу, а
следовательно, изоморфна с твердой фазой гидрогеля магния.

Одной из разновидностей щелочной затравки для получения
гидрогелей является водная суспензия извести, называемая извест-

ковим молоком. Опыты с системами $\text{H}_2\text{O}-20\% \text{MgCl}_2-\text{MgSO}_4$ и $\text{H}_2\text{O}-5\% \text{MgCl}_2-2\% \text{H}_2\text{SO}_4$ показали, что твердая фаза конденсируется не только в объеме, но и на "щелочной" поверхности частиц известня. Оксихлориды в такой системе не обнаружены.

Способ регулирования дисперсности (а.с. 515869). Он назван сокращенно РД, предназначен в основном для получения солегалей и позволяет резко замедлить процесс кристаллизации новообразований еще на стадии зародышей. Способ РД заключается в том, что в один из растворов электролитов до его смешения с другим раствором вводится очень небольшое (до 0,2%) количество органического стабилизатора - КОСБ, ОСБ, нефтепродукт, синтетическое ПАВ и др.

На примере гипсового солегея показано (см. табл. 2), что способ РД улучшает стабильность и другие технологические параметры солегея за счет повышения адсорбционной активности частиц гипса, как следует из данных ЯМР и характера тепловых эффектов, обнаруженных при образовании пастообразного солегея (25 см³ 1,4Н раствора $\text{MgSO}_4 + 1 \text{ см}^3$ 2,2Н раствора CaCl_2) и последующего его разбавления 1%-ным раствором КОСБ.

Проведенные исследования позволили разработать технологию получения минерализованных буровых растворов с химически конденсируемой дисперсной фазой, которая заключается в следующем: приготвление исходного раствора с минерализацией, обусловленной спецификой разбуриваемого разреза; растворение небольшого количества реагента-осадителя или приготвление химически активированной затравки и добавка в исходный раствор; интенсивное перемешивание раствора в механическом, гидравлическом устройстве или при циркуляции через скважину; обработка полученного геля реагентами-понижателями водоотдачи и стабилизаторами; утяжеление, если это необходимо. При этом полностью исключается необходимость длительного диспергирования в агрессивной среде большого количества глины, экономится дефицитные солейстойкие глинопоршки, защитные реагенты и ускоряется процесс приготвления буровых растворов даже при использовании обычных технических средств.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЕЙ И СОЛЕТЕЛЕЙ

Реологические свойства

Серьезные исследования выполнены Е.А. Коноваловым (под на- званием Е.М. Соловьевым руководством) на вискозиметрической установке МИИХ в ГИ. Измерения $\eta_{\text{пл}}$ и T_0 проведены при темпера-

турах от 15 до 150°C. Эту же установку использовали как автоклав для нагрева растворов в "жестком" режиме, т.е. при прокачивании через капилляр. В лабораторных исследованиях при высоких температурах применяли автоклав с перемешиванием конструкции Б.Н. Никитина. Массовые эксперименты по определению $\eta_{\text{пл}}$ и T_0 проводились с вискозиметром Fann V-5, предельное СИС измеряли на приборе СИС-2.

Гидрогель магния. Установлено, что добавки практически любого количества солей NaCl , CaCl_2 , KCl , MgCl_2 (с учетом их взаимной растворимости) не оказывали влияния на показатели необработанного гидрогеля магния. Палигорскит и бентонит при концентрации до 7-10% уменьшали СИС, $\eta_{\text{пл}}$ и T_0 геля, а при концентрации 15-20% резко загущали его. Примерно такое же влияние на гидрогель оказывали утяжелители.

С точки зрения получения приемлемых реологических параметров пределы утяжеления гидрогеля баритом составляют 2100-2300 кг/м³, малом 1450-1470 кг/м³, пиритными отарками 1650-1700 кг/м³.

СИС, $\eta_{\text{пл}}$, T_0 гидрогеля при нагревании уменьшаются. На основании статистической обработки зависимостей $\eta_{\text{пл}}(t)$ и $T_0(t)$, выделенных для различных составов гидрогеля магния, предложен ряд уравнений, позволяющих подсчитать $\eta_{\text{пл}}$ и T_0 при высоких температурах по замеренным значениям этих показателей при 20°C. Эти данные рекомендовано использовать при ориентировочных гидравлических расчетах.

Опыты показали, что структурные и реологические показатели гидрогеля, обработанного КД-500 и лагносульфонатами, сохраняют удовлетворительные значения при температуре до 150°C. Это относится также к гидрогелям, утяжеленным баритом.

Глинисто-гидрогелевые растворы. Эти системы получали при добавках гидрогеля к минерализованным малоглинистым растворам, утратившим стабильность под влиянием внешних факторов, а также путем обработки глинистых растворов с калийно-магниевыми солями щелочью или щелочными затравками, в т.ч. известью.

Во всех случаях выявлялась возможность регулировать структурные и реологические параметры малоглинистых растворов при низких и высоких температурах. Термостойкость защитных реагентов повышалась.

Солегалы. При 18-20°C и вплоть до температуры замерзания

солегеlei, обработанные органическими реагентами, сохраняют хорошую стабильность и реологические параметры. Но при нагревании даже до 50-60°C они расслаиваются. Особенно это относится к гипсовому солегеlei.

Применение способа РД позволяет несколько повысить термостабильность солегеlei. В качестве присадок - "регуляторов дисперсности" было испытано несколько десятков реагентов. По влиянию на структурные свойства гипсового солегеlei присадки разделены на 4 группы: повышающие стабильность системы при достаточно низких СНС (флотореагент ФР-50, мазут), упрочняющие структуру (гудрон, олеогеlei окисленного битума в дизтопливе, МНН-5), снижающие СНС без заметного нарушения стабильности (нефти, ДС-РАС, лагносульфонаты), снижающие СНС и стабильность (фенолы, КОС-310).

Несколько лучшими структурными свойствами обладали силикатные и карбонатные солегеlei, полученные по способу РД (вводили 0,2% КОСБ) и обработанные КМЦ, КОСБ, ССБ.

Фильтрационные и коагребразующие свойства

Работа проводилась при температурах 20°C на ИМ-6 и до 150°C (при $\Delta p = 2 \text{ МПа}$) на установках типа УИВ.

Гидрогеlei магния. Водоотдача гидрогеlei, не обработанного органическими реагентами, имеет очень высокие значения и составляет примерно 100 см³ за 30 мин по ИМ-6. Это объясняется особыми свойствами фильтрационной корки.

Введение в гидрогеlei понизителя водоотдачи приводит фильтрационный показатель к значениям, характерным для глинистых растворов, применяемых в осложненном разрезе, т.е. 5-10 см³ за 30 мин.

При нагревании водоотдача гидрогеlei увеличивается. На основании полученных данных можно сделать вывод, что до температуры 90°C хорошие фильтрационные свойства гидрогеlei обеспечиваются при добавках крахмала, КМЦ-500, КМЦ-600, КОСБ-2, окзила и их комбинаций. При температурах 120-130°C расход реагентов возрастает (табл.3), хотя водоотдача гидрогеlei после нагрева значительно ниже, чем глинистых суспензий схожей минерализации (ор.растворы 8,11,12 в табл.3).

В ходе автоклавных испытаний было установлено, что при многократных нагреваниях pH гидрогеlei, в отличие от глинистых суспензий, практически не уменьшается и поддерживается на уровне 7-7,5, что обусловлено способностью дисперсной фазы гидрогеlei растворяться при понижении щелочности среды. Поэтому термостойкость высокомолекулярных реагентов в среде гидрогеlei магния значительно выше, чем в глинистых растворах.

Таблица 3

Изменение параметров буровых растворов IV типа при нагревании с одновременным прокачиванием в вискозиметрической установке (2 цикла по 4 ч) при температурах 120 и 150°C

№ раствора	Добавка реагентов	до нагрева			после охлаждения ^{х)}		
		$\delta, \text{см}^3$	T, c	pH	$\delta, \text{см}^3$	T, c	pH
<u>Гидрогель магния с 2% МазН</u>							
I	1% КМЦ-500	22	87	7,2	65 92	48 34	7,5 7,3
2	2% КМЦ	16	147	7,4	28 41	73 43	7,5 7,3
3	3% КМЦ	8	203	7,4	10 36	129 75	7,4 7,3
4	1% КМЦ+5% окзила	16	84	7,4	36 56	51 27	7,5 7,6
5	М4 + мел ($\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$)	14	133	6,6	30 52	75 32	6,9 6,9
6	2% КМЦ+5% окзила	9	119	7,4	10 33	63 54	7,5 7,7
7	М6 + мел	7	154	6,9	10 31	72 36	6,9 6,8
8	3% КМЦ+5% окзила	6	207	7,2	6 27	186 60	7,6 7,7
9	М8 + барит ($\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$)	6	222	6,6	9 29	129 120	6,8 6,8
10	М8 + барит ($\rho = 2000 \text{ кг/м}^3$)	7	н/т	6,4	10 33	135 150	6,5 6,6
<u>Суспензия гидроокислой глины</u>							
II	3% КМЦ-500+5% окзила	3	144	6,2	20 102	33 69	5,6 5,4
<u>Суспензия Bentonite</u>							
I2	3% КМЦ+6% окзила	3	91	6,2	26 114	26 27	5,6 5,8
<u>Гидрогель из окс. Карбонатная-18</u>							
I3	10% окзила+мел ($\rho = 1340 \text{ кг/м}^3$)	9	92	6,8	13 47	54 22	7,0 6,9

^{х)} в числителе приведены показатели растворов, прогретых при 120°C, а в знаменателе - при 150°C.

Для работы при забойных температурах, превышающих 130-140°C, требуется применение новых, более эффективных понизителей водоотдачи или ингибиторов их термоокислительной деструкции.

Противоприхватные свойства гидрогелей оценивались по напряжению отрыва кольца от фильтрационной корки при различных перепадах давления ($F_{отр}$ по методу А.И.Пенькова). Абсолютные значения $F_{отр}$ у гидрогелей, в том числе утяжеленных, оказывались в несколько раз ниже, чем $F_{отр}$ у глинистых растворов, обработанных нефтью и специальными ПАВ. При водоотдаче 5 см³ за 30 мин $F_{отр}$ у глинистых растворов были равны 0,28-0,60 МПа, а у гидрогелей - 0,02-0,22 МПа.

Глинисто-гидрогелевые растворы. Присутствие в малоглинистой суспензии тонкодисперсных адсорбционно-активных частиц гидроксилов и оксидов снижает расход понизителей водоотдачи особенно при повышенных температурах и многократном нагревании в автоклаве и даже в циркуляционной установке, т.е. в жестком режиме.

В отличие от глинистых суспензий, $F_{отр}$ фильтрационных корок у данных систем изменяются во время старения, достигая максимальных значений через 1-2 суток после приготовления. Абсолютная величина $F_{отр}$ корок гидрогелей с 10-30% глины мало отличается от "чистых" гидрогелей.

Солегеи. Их водоотдача регулируется значительно большими добавками реагентов, чем при работе с гидрогелями. При использовании способа РД фильтрационная корка более однородна по объемному заполнению твердой фазой.

Для снижения водоотдачи солегелей применяли КССБ, оксал, КМД-500. "Регулирование дисперсности" наиболее эффективно достигалось добавкой 0,1-0,2% КССБ, а также солегеля битума в дизтопливе. Почти во всех случаях после нагревания при температуре выше 60-70°C водоотдача солегелей резко ухудшалась.

Фильтрационная корка гипсового и карбонатного солегелей, особенно содержащих глину и утяжелитель, имела большую толщину, высокую послойную прочность (данные В.Л.Михеева) и представляла опасность для возникновения прихвата инструмента, образования сальников, прохождения геофизических приборов. Силикатные солегеи обладали удовлетворительными коркообразующими свойствами.

Колматирующие свойства. Совместно с В.М.Подгорным разработана комплексная методика исследования колматирующих свойств буровых растворов с помощью ртутных порозиметров низкого и высокого давления, установки УИПК-Д и электронного сканирующего

микроскопа. Изучены различные варианты сочетаний размеров пор породы и частиц дисперсной фазы бурового раствора. Полученные порогаммы и сканогаммы шрифтов кернов до и после воздействия бурового раствора позволили изучить некоторые особенности процессов очистки поровых каналов. Коэффициент восстановления проницаемости при работе с безглинистыми гелями составил 0,7-0,85 по сравнению с 0,27-0,29 для суспензий часовой крошки глины.

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На конкретных эпизодах из опыта бурения 24 скважин показано, как отрабатывались рецептуры и технологии приготовления и применения новых буровых растворов с заданными структурно-механическими, реологическими и фильтрационными параметрами и какие при этом возникали научно-технические задачи, связанные с недостатками испытываемых систем. Материал представлен по следующей схеме: утяжеленные гидрогеи магния (отдельно гидрогеи из привозных солей и из естественных рассолов); гидрогеи, утяжеленные баритом, мелом, мелом с баритом, пылящими огарками; солегеи различного состава (гипсовые, силикатные, карбонатные).

Для устранения трудностей в структурировании разбавленных и крепких рассолов с 1975 г. на ряде буровых применялся метод химически активированных затравок. Опыт обработки "щелочной асбестовой взвесью" рассмотрен на примере скважины Цыгановская-44, Аксай-2, Павловская-3 (Уральская НРЭ), Пустынная-5 (Гурьевская обл., объединение "Эмбанефть").

Определенное внимание уделялось регулированию реологических параметров и СНС гидрогелей при бурении глинистых прывластков большой мощности в соленосных и подсолонных отложениях. Так, начиная с 1975-76 годов, в Казахстане были пробурены в условиях АВПД скв.98, 86 (пл.Кенжик), скв.25,34 (пл.Каратабе), скв.2 (пл.Северный Кендсай), скв.3 (пл.Бийскан) и другие.

Солегеи различного состава также прошли опытно-промышленную проверку, которая подтвердила вывод о трудностях в регулировании их фильтрационных и коркообразующих свойств.

Существенным недостатком буровых растворов, обработанных калийно-магниевыми солями, является их концентрационное загущение при проходке разрезов, отличающихся высокой глинистостью. Термостойкость таких растворов, естественно, резко снижается, и воз-

растает опасность возникновения прихвата в зонах отложения фильтрационной корки. В ряде случаев целесообразно осуществлять разбавление раствора рассола карналита или бишофита с одновременным наращиванием полезного объема бурового раствора. Хороший эффект дает обработка ССБ, КОСБ с повышенным содержанием хром-пика, оканом, а также агетаном. Прекрасные результаты были получены в 1974 г. при использовании реагента Д-7, любезно предоставленного В.И. Катеневым из ОЗ СевКавНИПИнефть.

ВЛИЯНИЕ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ РАСТВОРОВ НА ГИДРОГЕЛЕВУЮ И ГЛИНИСТУЮ ОСНОВЫ НА НЕУСТОЙЧИВОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОРОД

Материал изложен в двух аспектах: сделана попытка дать количественную оценку степени разупрочнения пород по четырем скважинам Прикаспийской впадины с использованием метода Леонова-Войтенко, а также по 12 скважинам проведен критический анализ наиболее типичных эпизодов борьбы с осыпями и обвалами с помощью различных, в том числе калийно-магниевых растворов.

За исходную принималась зависимость предела текучести пород в приотвальной части скважины σ_T от разности геостатического σ_H и гидростатического σ_{H_2O} давлений:

$$\sigma_T = \sqrt{3} (\sigma_H - \sigma_{H_2O}) g, \text{ Н/м}^2$$

где H — расстояние (в м) от земной поверхности до рассматриваемого сечения, g и g_m — плотности бурового раствора и породы (кг/м^3), g — ускорение свободного падения (м/с^2).

Промысловые эксперименты по отработке данной методики проводили в бурящихся скважинах на площадях Шубаркудук в Актыб-инской области (скв. 3 и 4) и Биликжал в Гурьевской области (скв. 3) а для сравнения использовали фоновые данные по скв. СТ-2 Биликжал, законченной значительно раньше. Сопоставимые интервалы в этих скважинах бурили с промывкой нефтемulsionным глинистым раствором, насыщенным только NaCl и содержащим до 3% CaCl₂ (НЭГР), и калийно-магниевым раствором на гидрогелевой и глинистой основах.

Экспериментальные и расчетные данные, представленные в диссертации, показывают, что с достаточной для практических целей достоверностью по приведенной выше зависимости можно определять σ_T не только для отдельных пропластков, сложенных пластичными солями или глинами, но и для целого литологического комплекса, представленного пластичными породами с включением

хрупкого терригенного материала (кажущийся предел текучести σ_T^*).

В ряде случаев обнаруживалось, что если соли чередовались с терригенными пропластками, то данные комплексов пород характеризовались σ_T^* более высоким, чем в монотонной солевой толще. Видимо, терригенные пропластки выполняют роль разгружающего свода. Изменение σ_T^* во времени существенно зависит от типа бурового раствора и может служить объективным критерием оценки его влияния на темп разупрочнения пород терригенной части разреза.

Для отложений кунгурского яруса Прикаспийской впадины предложено принять $\sigma_T^* = 50-60 \text{ МПа}$ при бурении с калийно-магниевым раствором и $38-46 \text{ МПа}$ с НЭГР. Для переходной зоны и верхов под-солевого палеозоя, не осложненных АВПД, σ_T^* равен примерно 40 МПа (калийно-магниевый) и 30 МПа (НЭГР); для зон с АВПД σ_T^* со значительно большими допущениями можно принять равным $15-20 \text{ МПа}$.

Анализ типичных эпизодов борьбы с осложнениями ствола скважины в Западных Казхостане, Оренбургской, Уральской, Актыб-инской, Гурьевской областях, на площади Сев. Нахич в Узбекистане, в Якутии и Красноярском крае показал, что калийно-магниевые растворы резко ограничивают растворимость соленосных пород. При этом практические данные в основном подтверждают правильность рекомендаций, приведенных в табл. I.

Достаточно четко наметились два варианта использования растворов, обработанных калийно-магниевыми солями.

При бурении поисковых скважин в разрезе, не изученном с точки зрения вероятности возникновения осложнений, обычно использовали НЭГР. В случае появления первых признаков осыпей и обвалов 25-30% "активного" объема НЭГР заменяли на рассол карналита или бишофита с добавкой МИН-1. После непродолжительной циркуляции через обсаженный участок ствола или перемешивали на поверхности этот раствор обычно дестабилизировался: из него выпадал выбуренный шлам и грубодисперсные частицы глины. Затем раствор обрабатывали 1,5-2% NaOH, крахмалом и КОСБ, т.е. переводили в раствор на гидрогелевой основе, несколько раз прорабатывали осложненный участок ствола и продолжали углубление скважины.

При бурении скважин в условиях, когда интенсивное разупрочнение пород в контакте с НЭГР не вызывало сомнения, на калийно-магниевый раствор с соответствующей минерализацией и плотностью переходили еще до начала разбуривания потенциально неустойчивой зоны.

Интересные результаты были получены в отношении регламентирования величины водоотдачи. Если в растворе концентрации ионов Mg^{2+} превышала 15-20 г/л, то при водоотдаче, равной 20-25 см³ по КМ-6, во многих случаях удавалось нормально разбуривать очень неустойчивую (при промывке НЭГР) терригенную часть разреза. Прихваты инструмента в интервалах отложения фильтрационной корки раствора с высокой водоотдачей отсутствовали.

При невысокой концентрации ионов Mg^{2+} и значительных добавках KCl (обычно в составе МН-1) для уменьшения темпа увлажнения пород необходимо было вводить в буровой раствор большее количество крахмала и КССБ. Поэтому водоотдачу поддерживали на уровне 8-10 см³ по КМ-6.

Успешность операций по борьбе с катастрофическими осыпями и обвалами в глубоких скважинах путем перехода от НЭГР на калийно-магниевый раствор составляла 85-90%. Фактов повышения темпа разупрочнения хемогенно-терригенных пород после перехода на данный раствор не отмечалось. Выходы открытого ствола в отложениях кунгурского яруса по некоторым скважинам Западного Казахстана достигли 4-4,6 тыс.м.

ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И СОСТАВОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ КОНДЕНСИРУЕМЫХ ДИСПЕРСИЙ

Подобриет. Предложение в 1965-66 годах принцип и технологии получения буровых растворов, судя по литературным материалам, находится в поле зрения специалистов, начиная с 1972-73 годов. В табл.4 приведены известные нам сведения о проведенных в нашей стране промышленную апробацию или внедренных гидрогелях и осле-гелях.

В 1972 г. в США запатентован (№ 3878110) безглинистый буровой раствор, по составу в точности совпадающий с гидрогелем магния. В 1974 г. фирма *Shell* рекомендовала в качестве жидкости с кислоторастворимой твердой фазой для вскрытия пластов "голи оксидов железа и алюминия" (J.P.T., 1974, в. 26, X, p.1221). В этом же году в польском журнале были описаны эксперименты с буровыми растворами, один из которых назывался "hydrogel Mg" (Zestzytu naukowe akademii, в. 462, 1974, s. 147). Определенные перспективы имеет предложенный нами совместно с В.И.Подгорновым и описанный в диссертации способ получения минерализованных пен с

Таблица 4
Апробированные в различных районах страны буровые растворы с конденсируемой твердой фазой (значком х) отмечены сластем, разрабатывание под ними руководством)

Условное наименование	Состав раствора	Место проведения испытаний	Разрабатываемые месторождения
Калийно-магниевый гидрогелевый раствор	Вода, карбонат или бисульфат + КМ (МН-1), мелочная загущенка, орг-анка	Западный Казахстан, Астраханская, Оренбургская области, Красноярский край	Самолет, Ахасев, Скворцов, Девятис, Бураев, Соловьев
"Частый" гидрогель магния	Вода, бисульфат или рела, целочная загущенка, органика	Саратовская, Оренбургская обл., Калмыкия	Самолет, Конюхов, Разнов
Битумно-сульфонатный гидрогель магния	Тот же + оксиды окисленного битума в-дизтопливе или асфальто-смолистая нефть	Актюбинская, Гурьевская, Аст. раханская области	Подгорнов, Фофанов, Греченко, Андреев, Дайкало
Гидрогель железа	Вода, сернокислосое железо (отход), целочная загущенка	Различные районы Украинской ССР	Харив, Татаренко и др.
Селегель алюминия ("буровой галь-раствор")	Вода, сернокислосый алюминий, силикат натрия, мелочь, органика	Калмыкия, Якутия	Белоз, Коновалов, Аутамонов
Гидрогель натрия	Вода, хлористый натрий или рела, мелочная загущенка	Башкирия, Уральская обл.	Конюхов, Мавлютов, Зозуля, Бонашын и др.
Образованный гидрогель магния	Взвесь мелочного отхода в воде, бисульфат или карбонат, органика	Гурьевская обл.	Долгих, Каримов
Гидрогель цинка	Раствор хлористого цинка (отход), мелочь, органика	Саратовская обл.	Курилин
Глинистый селегель	Вода, сернокислосый магний, хлористый калий, органика	Черныговская, Саратовская области	Подгорнов
Силикатный селегель	Вода, силикат натрия, хлористый калий или пшеничная вода, органика	Ярославская обл., Якутия	Подгорнов, Андреев, Конюхов, Аутамонов
Карбонатный селегель	Вода, кальцинированная сода, хлориды калия или магния, органика	Актюбинская обл.	Подгорнов, Андреев, Самойлов

конденсируемой твердой фазой. Их следует использовать для удаления жидкости с забоя газовых скважин и для промывки при бурении. По принципу конденсирования можно получать гидрогели и оселегели из частично растворимых раздробленных промышленных отходов. За счёт добавок взаимосаждаемых электролитов повышается седиментационная устойчивость суспензий из неглинистых пород (ЕВС по С.Н.Ятрову), что до настоящего времени представлялось сложной задачей.

Кроме того, конденсирование твердой фазы является на сегодня единственным способом структурирования растворов таких сильных коагуляторов, как соли железа, алюминия, цинка и др., и получения недиспергируемых по отношению к глинам буровых растворов, а также утяжеленных до 1600-1800 кг/м³ растворов с низким содержанием твердой фазы и коркообразующими свойствами.

Система с конденсируемой твердой фазой предложено применять для получения суффозионно-стойких тампонажных растворов (В.В. Грачёв, В.Д.Малеванский, Л.С.Цыбина).

Конденсирование гидроксидов и оксихлоридов магния в концентрированном хлормagneином или калийно-магнеином растворе (см. табл. I) позволило получить ряд модификаций неглинистых буровых растворов, названных гидрогелями магния. Испытанный в конце 60-х годов на буровых Уральской области в соленосных отложениях гидрогель магния из товарного карналита ("Нефтяник", 1965, №5, с.12-13) был первым в мировой практике калийно-магнеином буровым раствором с конденсируемой твердой фазой.

Области применения. "Чистые" гидрогели рекомендованы для бурения скважин в хомогенной части разреза, вскрытия продуктивных пластов особенно с АВПД, глушения скважин при капитальном ремонте. В терригенной части разреза гидрогель обогащается глиной, а необходимость в конденсировании твердой фазы может отпасть. Но при этом следует иметь в виду, что глинисто-гидрогелевые растворы обладают повышенной термостойкостью по сравнению с глинистыми суспензиями сходной минерализации, уникальными противосирихвными свойствами и незначительно изменяют свои параметры при разбуривании цементного камня и поступлении рапы до 10-15 м³ в сутки. Структурные и реологические параметры поддерживаются путем ввода (0,1-0,3%) щелочи или извести.

Гидрогель магния является надежной основой для получения буровых растворов, устойчивых к сероводородной агрессии, т.е. гидроксиды, растворяясь, нейтрализуют среду. Гидрогель магния,

обработанный крахмалом и Т-66, успешно применяется при разбуривании сероводородсодержащих отложений в Уральской, Актыбинской и Прикаспийской НРЭ. Известен положительный опыт работ с гидрогелем в условиях проявления М₂ в Красноярском крае.

Безглинистый гидрогель магния имеет ряд преимуществ перед глинистыми суспензиями при вскрытии продуктивных горизонтов: как терригенных, так и карбонатных коллекторов. Частицы его обладают очень слабой адгезией к скелету породы и легко вымываются из поровых каналов. Гидроксиды магния быстро растворяются в слабосилой среде. В целом гидрогель даже после добавки большого количества утяжелителя (барит, пиритные огарки, гематит и т.п.) сохраняет высокую стабильность, что обеспечивает хорошие условия для оборудования забоя скважины и вызова притока. Гидрогель плотностью до 2300 кг/м³ использовался для глушения скважин в Западном Казахстане. При этом он хорошо дегазировался с помощью ДНС-2.

Гидрогель магния хорошо эмульгирует нефть и битумные композиции и может быть переведен в гидрофобную эмульсию при встрече с пластами карналита и бисофита, а также для вскрытия продуктивных горизонтов.

Гидрогели, в том числе гидрогель магния, имеют невысокую щелочность (рН = 7,5-8,5). Поэтому при приготовлении и эксплуатации гидрогелей следует соблюдать те же правила охраны труда, что при работе с глинистыми растворами.

Гидрогели магния имеют хорошие смазочные и противосирихвные свойства, что значительно улучшает условия работы турбобуров, буровых насосов.

Кроме разработки технологии и экономичных составов буровых растворов с конденсированной твердой фазой, выполненная работа позволила расширить представления о процессах, протекающих при химической обработке минерализованных глинистых суспензий. Например, возникающее иногда резкое ухудшение фильтрационных свойств суспензии может быть связано с образованием в ней гипсового или других видов оселегелей, а повышенная эффективность обработки глинистого раствора органическими реагентами совместно со щелочью является следствием конденсации гидроксидов.

Сырьевая база. Достаточно широкие испытания и внедрение минерализованных буровых растворов с конденсируемой твердой фазой, описанные в диссертации, потребовали большого (свыше 20 тыс. тонн) расхода оселевого сырья, которое прежде не входило в номенклатуру реагентов для буровых предприятий. Наряду с

товарными солями (карналлит, бисмофит), для приготовления растворов впервые использованы многотоннажные обременительные отходы титано-магнелиевых комбинатов, на которые в 1977 году были составлены технические условия. Ежегодное потребление ценного солевого сырья, названного минерализаторами (ММН-1, ММН-2), превышает 6 тыс. тонн. Минерализаторы поставляются в мешках, не слеживаются, быстро растворяются в воде и насыщенном хлоридом натрия рассолах.

В ряде районов страны гидрогель магния готовят из крепких пластовых рассолов и ралы. Например, в объединении "Оренбургнефтегазгеология" с такими растворами пробурено около 30 глубоких скважин.

С переходом на массовое бурение с растворами, насыщенными хлоридами калия и магния, потребность в органических защитных реагентах (крахмал, КМЦ, КОСБ и др.) возросла по некоторым районам страны примерно в 2 раза по сравнению с периодом преимущественного распространения глинистых суспензий, насыщенных NaCl . Применение гидрогелей магния и глинисто-гидрогелевых растворов вместо полисолевых глинистых суспензий позволяет значительно сократить расход защитных реагентов. Тем не менее дефицит в органических реагентах сдерживает расширение объемов внедрения этих систем.

Использование вместо растворов NaOH щелочных затравок, в том числе известкового молока и щелочных отходов, устраняет дефицит в этом важном компоненте гидрогелевых растворов.

Некоторые сведения о расходе и стоимости реагентов для приготовления гидрогеля магния представлены в табл. 5.

Эффективность внедрения. Обобщение материалов бурения 79 поисково-разведочных скважин в Прикаспийском регионе позволило определить основные позиции, по которым получен экономический и технологический эффект от внедрения данных растворов:

- ликвидированы катастрофические осипи и обвалы пород, препятствовавшие углублению скважин с традиционными составами буровых растворов (по 17 скважинам);

- вследствие ликвидации проработок ствола и профилактики осложнений в потенциально неустойчивом разрезе повышена по сравнению с проектом коммерческая скорость (по 24 скв.);

- сокращены затраты времени на приготовление бурового раствора, экономлены химреагенты, барит, стойкий глинопорошок, частично заменены дефицитные КМЦ-600 и крахмал на

Таблица 5

Сведения о расходе реагентов для обработки гидрогелей магния различных типов^{x)}

Скважина	Интервал, м	Средний расход реагентов (кг на 1 м проходки)					Стоимость реагентов, руб/м
		Кар-нал-лит (об-молит)	Ще-лочь	Крах-мал	КМЦ-600	КОСБ (жид-кий)	
<u>Гидрогель I типа</u>							
Александров-ская-18	2872-3458	313	5,1	11,6	-	-	15,8
Морткук-17	3555-4431	268	6,3	12,0	-	-	20,9
Баяталап-37	2010-2312	288	8,1	12,5	-	-	15,9
<u>Гидрогель II типа</u>							
Билкиж-3	3378-5085	211	2,9	13,1	-	-	13,2
Кенкиж-98	2043-4105	205	5,8	15,6	-	-	14,7
Баяталап-43	1904-2065	222	2,9	5,7	7,6	-	15,8
Каратобе-34	4136-4443	237	8,8	16,2	1,3	-	17,3
Кумкете-6	2113-4088	217	4,1	6,4	3,1	-	12,3
Улькентобе-2	1642-4050	204	1,5	8,4	2,4	-	12,6
<u>Гидрогель III типа</u>							
Шубаркулун-4	4763-5502	392	16,2	27,0	-	13,7	28,4
Шубаркулун-3	4000-5750	380	10,7	25,7	-	16,0	26,9
Каратобе-36	3500-4680	317	14,9	35,7	-	9,3	29,9
<u>Гидрогель IV типа</u>							
Карпенки-18	934-1998	289	11,0	-	-	5,1	10,6
Зал.-Теплов-ская-35	2995-3672	из ралы	10,7	1,6	-	2,2	2,4

х) см. табл. I

^{x)} см. табл. I

лигносульфонатные реагенты (по I2 скв.);

- существенно замедлено пластическое течение глины и калийно-магниевых солей, что позволило перекрыть осложненную зону промежуточной колонной (по II скв.);

- увеличен по сравнению с проектом выход открытого ствола, сэкономлены обсадные трубы, цемент (по 5 скв.);

- уменьшена интенсивность осложнений, связанных с газо-нефтеводопроявлениями и даже выбросами пород при разбуривании подсолесных отложений с АБЦД, что обеспечивало нормальный спуск эксплуатационной колонны и испытание возможно продуктивных горизонтов (по 5 скв.);

- проведено безаварийное бурение в условиях проявления крепких пластовых рассолов с суточным дебитом до 15 м³ (по 5 скв.).

Кроме того, применение калийно-магниевых растворов позволило сохранить номинальный диаметр ствола в отложениях галита с пропластками сильвинита, резко ограничить кавернообразование в калийно-магниевых отложениях небольшой мощности, а также в перемитой хемогенно-терригенной толще. Это способствовало повышению качества крепления скважин, разобщения пластов и проведению аварийных работ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В результате выполненного обобщения в области физико-химии буровых растворов решена крупная научно-техническая проблема, имеющая важное народно-хозяйственное значение - разработаны эффективная технология приготовления и экономичные составы буровых растворов, использование которых позволило осуществлять массовую проводку глубоких скважин с целью ускоренной разведки залежей нефти и газа в подсолесных отложениях Прикаспийского региона, предусмотренной решениями XXV и XXVI съездов КПСС, а также достичь повышения качества и сокращения сроков строительства глубоких нефтегазовых скважин в других районах страны.

2. Конкретизированы представления о физико-химических процессах, протекающих при капиллярной пропитке глины концентрированными растворами электролитов; обоснованы составы буровых растворов на водной основе, предназначенные для разбуривания в открытом стволе хемогенных и терригенных частей разреза и позволяющие упрочить конструкцию скважин, а также сокращать номиналь-

туру применяемых реагентов и особенно солевого сырья.

3. Буровые растворы, обработанные определенным количеством хлоридов натрия, калия, магния и защитных органических реагентов, обеспечивают нормальное состояние ствола скважины в разнородных по составу хемогенных породах. Для сохранения устойчивости терригенной части разреза недостаточно поддерживать высокое осмотическое давление раствора только за счет хлорида натрия. Химическая обработка должна быть также направлена на уменьшение скорости капиллярной пропитки слабосульфатированных перемитых глин путем введения органических реагентов, хлорида магния и адсорбционно-активной твердой фазы, которые упорядочивают структуру воды, повышают ее вязкость.

4. Доказана возможность предотвращения разупрочнения глинистых и глиносолевых пород, содержащих монтмориллонит и гидрослюда, путем насыщения полисолевого бурового раствора хлоридом калия при одновременном повышении концентрации хлорида магния и обработке высокомолекулярными органическими реагентами, являющимися одновременно повышенной водоотдачей. Наилучшие результаты в борьбе с кавернообразованием и текучестью глиносолевых пород получены при использовании суспензий, насыщенных по NaCl в концентрациях 10-20 г/л ионов Mg^{2+} и 30-40 г/л ионов K^{+} , обработанных крахмалом и КОСБ, имеющих водоотдачу не более 15-20 см³ по ИМ-6 и плотность, предопределяемую аномальностью порового давления.

5. Управление технологическими параметрами глинистых суспензий при бурении в условиях солевой агрессии представляет серьезную проблему несмотря на значительный расход защитных реагентов, т.к. глинистая дисперсная фаза в полисолевой среде утрачивает свою коллоидно-химическую активность.

Новые возможности получения солеустойчивых буровых растворов открывает принцип, основанный на использовании в качестве дисперсной фазы труднорастворимых соединений, которые конденсируются в растворе электролитов при добавках осадителя (а.с. 378377, 515869).

6. Выбраны сочетания электролитов (соль-щелочь, соль-соль), которые доступны для буровой практики и после смешения образуют устойчивые дисперсии гидроксидов или солей, пригодные к использованию в качестве основы для получения буровых растворов. На системах, имитирующих буровые растворы, с помощью современной аппаратуры

исследовано влияние различных факторов на зарожисобразование и последующую кристаллизацию твердой фазы. Установлена качественная связь структурно-механических свойств систем с кристалло-химическим состоянием их дисперсной фазы.

7. Безглинистые буровые растворы, полученные на основе водных дисперсий гидроксидов, конденсируемых в растворах калийно-магниевых солей при обработке щелочью и защитными реагентами, обладают высокой стабильностью, регулируемая технологическими параметрами при температуре до 130°C и плотности, изменяемой от 1150 кг/м^3 (плотность исходного рассола) до 2300 кг/м^3 . Технология приготовления этих систем, называемых гидрогелем магния, полностью исключает длительное диспергирование глины в агрессивной среде, позволяет экономить дефицитные реагенты и палигорскит, а также ускорить приготовление раствора даже при использовании обычных технических средств.

8. Аналогично гидрогелю магния получены промышленные жидкости специального назначения: гидрогель железа из сульфатных отходов, гидрогель кальция из хлоркальциевой рапы, структурированные суспензии из частично растворимых и предварительно измельченных промышленных отходов, минерализованные трехфазные пены и т.п.

9. Водные дисперсии химически осажденных карбонатов, сульфатов, силикатов кальция, называемые солегелями, отличающиеся от гидрогелей высокой скоростью укрупнения и кристаллизации частиц, их слабой адсорбционной активностью, крупнозернистой структурой фильтрационной корки, требуют значительно большего расхода стабилизаторов и понизителей водоотдачи. Конденсирование микрокристаллов солей позволяет поддерживать заданные структурные и реологические свойства систем при разбуривании неглинистых разрезов (ЕВС по проф. С.Н.Ятрову).

10. Эффективность разработанной технологии и различных составов буровых растворов подтверждена при массовой проводке поисково-разведочных скважин в подсоловых структурах Прикаспийского региона, а так же ряда скважин в Восточной Сибири, Средней Азии и других районах страны. Учетный экономический эффект только по 20 скважинам составил 4771 тыс. рублей. На 1.01.80 с использованием гидрогелей и солегелей пробурено 79 скважин. Успешное внедрение этих систем продолжается, причём растворы с калийно-магниевыми солями на глинистой и гидрогелевой основах по ряду предприятий Миннео РСФСР, Каз.ССР, Узб.ССР включены в технологи-

ческие проекты.

11. Имеющиеся лабораторные и промышленные данные позволяют заключить, что буровые растворы с конденсируемой твердой фазой и особенно гидрогели с их кислоторастворимыми частицами, слабой адгезией к скелету коллекторских пород и высокой стабильностью позволяют значительно улучшить качество вскрытия продуктивных пластов по сравнению с глинистыми суспензиями, уступая, однако, некоторым жидкостям на углеводородной основе.

12. Установленные в данной работе закономерности могут оказаться полезными при создании новых и совершенствовании известных дисперсных систем, область применения которых выходит за рамки проводки скважин в условиях солевого тектогенеза, в частности, жидкостей для глушения скважин при капитальном ремонте, для затворения суффозионно-стойких тампонажных растворов, полимерных буровых растворов и других водных дисперсий с синтезируемой органоминеральной твердой фазой.

Основные материалы диссертации наложены в 75 опубликованных работах, в том числе:

Книги и брошюры

Ангелопуло О.К. Промышленные жидкости. В кн.: Апанович Е.Г., Ваденин Д.В., Ангелопуло О.К. Бурение сверхглубоких скважин. -М.: Недра, 1969, с. 77-119.

Ангелопуло О.К. Калийцевые глинистые растворы. -М.: Гостехиздат, 1962. - 64 с.

Ангелопуло О.К. Гидрогель магния - новый тип неглинистого бурового раствора для проводки нефтегазовых скважин в сложных геологических условиях. Гурьев, 1977, 57 с. -Рукопись представлена ред. журнала "Газовая пром-сть". Деп. во ВНИИГазпроме, 1977, № 194Д.

Ангелопуло О.К., Самойлов Н.Е. Глинистые растворы при бурении глубоких скважин в Западных Казахстане. -М.: ОНТИ ВНИИМС, 1968. -52с.

Ангелопуло О.К., Мухин Л.К. Усовершенствование методов оценки термостойкости глинистых растворов. -М.: Недра, 1967. -88 с.

Ангелопуло О.К., Самойлов Н.Е., Никитин В.Н., Симонен В.В. Исследование некоторых ПАВ в пресных и минерализованных буровых растворах. -М.: ОНТИ ВНИИМС, 1970. -21с.

✓ Ангелопуло О.К., Хахаев Б.Н., Сидоров Н.А. Буровые растворы, используемые при разбуривании солевых отложений в глубоких скважинах. - М.: ВНИИОЗНГ, 1978. - 71 с.

Кочешков А.А., Желтов Е.В., Тосунов Э.М., Ангелопуло О.К. Опыт заканчивания скважин в США. - М.: Гостехиздат, 1962. - 170 с.

Филатов Б.С., Ангелопуло О.К. Промывка скважин и промывочные растворы (учебное пособие для специальности 0211 - бурение нефтяных и газовых скважин). - М.: МИИХ и ГП, 1977. - 73 с.

Статья в журналах и научно-технических сборниках

Ангелопуло О.К. Основы выбора бурового раствора для борьбы с обвалами. - Нефтяник, 1974, №5, с.15-16.

Ангелопуло О.К. Битумно-эмульсионные буровые растворы на водной основе. - РИТС "Бурение газ. и газоконд. скв.", 1974, №2, с.21-25.

Ангелопуло О.К. Активированные асбесто-карбонатные буровые растворы. - РИТС "Бурение газ. и газоконд. скв.", 1975, №4, с.34-36.

Ангелопуло О.К. Обработка буровых растворов при вскрытии подсоединяемых отложений. - Газовая пром-сть, 1976, №7, с.16-18.

Ангелопуло О.К. Особенности нормирования расхода солей для обработки буровых растворов. - РИТС "Бурение", 1977, №5, с.12-15.

Ангелопуло О.К. Калийные буровые растворы. - Нефтяник, 1977, №7, с.9-10.

Ангелопуло О.К., Мухин Л.К. Глинистые растворы при бурении Аралсорской скважины в интервале 4968-5900 м. В сб. НТС по глубокому бурению МИИХ и ГП. - М., 1966, №7, с.59-67.

✓ Ангелопуло О.К., Самойлов Н.Е. Структурообразующие добавки к минерализованным растворам. - Нефтяник, 1969, №5, с.12-13.

Ангелопуло О.К., Самойлов Н.Е. Структурированные минерализованные промывочные растворы. В сб. НТС по глубокому бурению МИИХ и ГП. - М., 1974, №6, с.47-61.

Ангелопуло О.К., Девятков Е.В., Муравлев Г.И., Скворцов Д.А., Поликарпова Т.П. Калийный буровой раствор на основе гидрогеля магния. - Газовая пром-сть, 1977, №5, с.18-21.

Ангелопуло О.К., Скворцов Д.С., Самойлов Н.Е. Получение гидрофильных и гидрофобных эмульсий нефти с гидрогелем магния. - РИТС "Бурение", 1971, №2, с.14-18.

Ангелопуло О.К., Петросянец А.А., Плугин В.Ф. О коррозионно-механическом изнашивании при граничном трении. - Физ.-хим. механика материалов, АН УССР, 1975, №3, с.10-14.

Ангелопуло О.К., Карабалин У.С. Новые исследования КазНИГПИ в области буровых растворов. - Нефтяник, 1979, №12, с.4-6.

Ангелопуло О.К., Симонен В.В., Самойлов Н.Е., Скворцов Д.С. Применение многосолевых растворов для бурения в хемогенных отложениях. - РИТС "Бурение", 1970, №10, с.12-15.

Ангелопуло О.К., Карабалин У.С. Исследование неустойчивого поведения пород в глубоких скважинах на некоторых площадях Прикаспийской впадины. - Гурьев, 1977, с.49. - Рукопись предст. ред. журн. "Газовая пром-сть". Деп. во ВНИИГазпроме 30.12.77, №208Д.

Ангелопуло О.К., Подгорнов В.М. Структурирование минерализованных буровых растворов труднорастворимыми микросталлами неорганических соединений. Резюме докл. на УН Межд. конф. "Теххим-76", ЧССР, 1976.

Ангелопуло О.К., Биков М.В., Подгорнов В.М. Исследование процессов кристаллизационного структурообразования с помощью растровой электронной микроскопии. Резюме докл. на III Межд. сим. в области силикат. химии, ЧССР, 1975.

Ангелопуло О.К., Коновалов Е.А. Исследование безглинистого бурового раствора с помощью капиллярной циркуляционной установки. РИТС "Бурение", 1973, №11, с.23-26.

Изобретения

А.С. 515869 (СССР). Способ приготовления безглинистого минерализованного бурового раствора /О.К.Ангелопуло, В.М.Подгорнов, Н.Е.Самойлов, Б.Н.Хахаев. - Опубл. в Б.И., 1976, №20.

А.С. 376377 (СССР). Раствор для заполнения горных выработок /О.К.Ангелопуло, В.М.Подгорнов - Опубл. в Б.И., 1978, №19.