

На правах рукописи

НЕСТЕРОВА ГАЛИНА ВЛАДИМИРОВНА

**ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ПОВТОРНЫХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СКВАЖИНЕ
КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ТЕРРИГЕННЫХ ПЛАСТОВ**

25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Новосибирск 2009



Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН

Научный руководитель:

доктор технических наук
Ельцов Игорь Николаевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
Назарова Лариса Алексеевна

доктор технических наук
Могилатов Владимир Сергеевич

Ведущая организация:

Институт геологии и геоинформатики Тюменского
государственного нефтегазового университета

Защита состоится 10 сентября 2009 г. в 9 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 003.068.03 при Учреждении Российской академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, в конференц-зале

Адрес: пр-т ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090

Факс: (383) 333- 25- 13

e-mail: YeltsovIN@ipgg.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН

Автореферат разослан 7 августа 2009 г.

И.о. учёного секретаря
диссертационного совета,
доктор технических наук



И.Н. Ельцов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объектом исследования диссертационной работы являются терригенные пласты-коллекторы и изменение во времени их гидрофизических свойств в околоскважинном пространстве.

Актуальность работы определяется важностью разработки новых методов оценки фильтрационно-ёмкостных параметров пластов-коллекторов, в первую очередь, проницаемости, по данным электрического и электромагнитного каротажа. Стандартные методики подсчёта запасов и определения фильтрационно – ёмкостных свойств пластов-коллекторов основаны на анализе связи данных, полученных при изучении взятого из скважин керна, и данных геофизических исследований в скважине. Отбор керна довольно трудоёмкая операция и требует значительного времени. Заключение, сделанные по керну и по данным геофизических исследований в скважине (ГИС), также не всегда сопоставимы из-за разных масштабов исследований, неполного выноса керна и погрешностей в его привязке. Оценки пористости, проницаемости, водонасыщенности по геофизическим измерениям и геолого-технологическим исследованиям скважины (ГТИ) получаются более оперативно. При наличии опыта совместной геофизической и гидродинамической интерпретации и многократных измерений, реально отражающих динамику процессов в зоне влияния скважины, появляется возможность создания более надёжного и оперативного метода оценки фильтрационно-ёмкостных параметров пласта, что является актуальной и первоочередной задачей ГИС. Применение предложенной в диссертации методики на практике даёт возможность оперативно уточнять параметры пластов-коллекторов, в первую очередь, песчано-глинистых.

Цель исследования – повышение достоверности интерпретации скважинных геофизических измерений, улучшение качества и надёжности определения фильтрационно-ёмкостных свойств путем построения комплексной электрогидродинамической модели на основе данных многократных геофизических и геолого-технологических измерений.

Задача исследования – создать методику комплексной обработки и интерпретации данных повторных электромагнитных измерений в скважине и методику определения гидрофизических параметров пласта на основе электрогидродинамического моделирования.

Фактический материал и методы исследования. В работе проанализированы данные ГИС и ГТИ в четырёх скважинах Когалымского и Русскинского месторождений (Западная Сибирь). Данные предоставлены ЗАО "Лукойл-АИК" (по Когалымскому

месторождению) и ОАО «Сургутнефтегаз» (по Русскинскому месторождению). В исследовании использовались результаты изучения кернов, бурового раствора и пластовых флюидов. Для интерпретации данных применялись программные комплексы МФС ВИКИЗ, Select, EMF PRO (ИНГГ СО РАН), IDENTIF (ИГиЛ СО РАН). Для верификации результатов моделирования использовались программы двумерного моделирования показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ, разработанные И.В. Суродиной (ИВМиМГ СО РАН) и В.Н. Глинских (ИНГГ СО РАН). При моделировании гидродинамических процессов в окрестности скважины использовались программы А.А. Кашеварова (ИГиЛ СО РАН).

Основной метод исследования – математическое моделирование электрических и электромагнитных каротажных диаграмм, процессов фильтрации, солепереноса, роста и разрушения глинистой корки, эффективной электропроводности гетерогенных сред. При решении обратных задач использовались методы минимизации невязки каротажных и синтетических данных (алгоритмы Нелдер-Мида, Ньютона).

При верификации полученных результатов использовались материалы заключений организаций, проводивших ГИС, определения петрофизических характеристик кернового материала (ЗАО "Лукойл-АИК", ОАО «Сургутнефтегаз»).

Защищаемые научные результаты:

1. Построенная на основе комплексной геоэлектрической и гидродинамической интерпретации данных повторных измерений в скважинах Когалымского месторождения с учётом результатов ГТИ электрогидродинамическая модель околоскважинного пространства корректно описывает эволюцию зоны проникновения и удовлетворяет комплексу электрических и электромагнитных измерений.
2. Согласованная электрогидродинамическая модель околоскважинного пространства позволяет определять фильтрационно-ёмкостные параметры пластов по данным многократных скважинных измерений методами ВИКИЗ и БКЗ без использования петрофизических зависимостей, определяемых на керне.
3. Теоретически, на основе математического моделирования гидродинамических процессов в прискважинном пространстве, обосновано, что при концентрации солей в буровом растворе, превосходящей таковую в пластовом флюиде, радиальный профиль УЭС может быть только монотонно возрастающим.

Научная новизна и личный вклад

Предложена методика определения гидрофизических параметров пласта на основе данных повторных электрических и электромагнитных исследований в скважине, ГТИ и комплексной электрогидродинамической интерпретации без использования данных измерений на керне.

На основе предложенной методики выполнена комплексная геофизическая и гидродинамическая интерпретация данных повторных измерений в скважинах Когалымского месторождения. Показано, что построенная электрогидродинамическая модель адекватно описывает эволюцию зоны проникновения на основных этапах работ в скважине и удовлетворяет комплексу электрических и электромагнитных измерений.

На основе анализа известных уравнений электропроводности двухкомпонентных сред соискателем обоснован выбор соотношения параметров гидродинамической модели – пористости, водонасыщенности, солёности пластовой жидкости и геоэлектрического параметра – удельного электрического сопротивления (Кашеваров и др., 2003). На конкретных примерах показано, что формула может эффективно использоваться в широком классе моделей терригенных коллекторов, вскрываемых скважинами, с применением пресных и солёных глинистых буровых растворов.

Созданная на основе предложенной в диссертационной работе методики электрогидродинамическая модель прискважинного пространства позволяет определить не только пористость и водо-нефтенасыщенность, но и оценить динамический параметр – проницаемость. Для изучаемых скважин была проведена оценка проницаемости пластов по результатам гидродинамического моделирования без привлечения данных измерений на кернах. Полученные значения проницаемости хорошо согласуются со значениями, взятыми из заключений сервисных компаний, определённых по всему комплексу ГИС с использованием результатов исследований кернового материала.

Предложена и программно реализована схема расчёта профилей удельного электрического сопротивления при различных концентрациях солей в буровом растворе. Проведённые расчёты позволяют обосновать характер радиального профиля УЭС при сильно проводящем буровом растворе. Выполнена комплексная электрогидродинамическая интерпретация данных ВИКИЗ по скважине Рускинского

месторождения, полученных при использовании сильнопроводящего бурового раствора.

Теоретическая и практическая значимость работы. Повторные геофизические измерения в скважине позволяют построить электрогидродинамическую модель прискважинной зоны. Учёт фактора времени в геоэлектрической модели делает возможным оценку проницаемости коллектора, что особенно значимо при отсутствии условий для отбора керна по всей толще продуктивных пластов. Количественная петрофизическая интерпретация данных каротажа, то есть определение пористости, проницаемости, водо- и нефтенасыщенности изучаемых пластов-коллекторов, только по результатам комплексной электрогидродинамической интерпретации повторных каротажей в скважине без привлечения измерений на керне намного оперативнее. Для скважин, пробуренных на сильнопроводящем буровом растворе, автором на основе математического моделирования обоснован известный из практики монотонный характер кривой радиального распределения УЭС.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на научных конференциях и конгрессах: Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2008» (Новосибирск, 2008), Научно-практической конференции «Геомодель-2008» (Геленджик, 2008), Международной конференции «Математические методы в геофизике ММГ-2008» (Новосибирск, 2008), II Международной геолого-геофизической конференции и выставке «К эффективности через сотрудничество» (Тюмень, 2009), Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2009» (Новосибирск, 2009).

Основные результаты опубликованы в 9 печатных работах, из них в ведущих научных рецензируемых журналах, определённых Высшей аттестационной комиссией – 3 (Каротажник, № 1, 2008; № 9, № 10, 2009).

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка использованной литературы (110 наименований). Работа изложена на 173 страницах, включая 52 рисунка и 14 таблиц.

Автор благодарен д.ф.-м.н. А.А. Кашеварову за содержательные и плодотворные обсуждения, предоставленные программы и большую помощь при выполнении работы.

Автор благодарит ЗАО "Лукойл-АИК" и лично В.Ю. Матусевича, ОАО «Сургутнефтегаз» и НПП ГА «Луч» за предоставленные материалы.

Соискатель выражает благодарность д.т.н. Ю.Н. Антонову, к.г.-м.н. Л.М. Дорогиницкой, к.т.н. Н.А. Голикову, к.ф.-м.н. Н.К. Корсаковой, к.г.-м.н. М.А. Павловой и д.ф.-м.н. В.И. Пеньковскому за обсуждения и сотрудничество. Автор благодарен к.ф.-м.н. В.Н. Глинских, к.т.н. А.Ю. Соболеву, к.ф.-м.н. И.В. Суродиной за предоставленные программы и внимание к работе.

Автор глубоко признателен научному руководителю д.т.н. И.Н. Ельцову за ценные идеи, постоянное внимание к работе, участие и поддержку.

Автор глубоко благодарен академику РАН М.И. Эпову, оказавшему большое влияние на формирование научных взглядов соискателя.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Во введении определены объект, цель и задача исследования, сформулированы основные полученные результаты, актуальность и научная новизна работы.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ БЛОКИ – ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ, ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЙ

В первой главе изложена методика построения электрогидродинамической модели околоскважинного пространства. На рис. 1 приведена поэтапная схема комплексной обработки данных с элементами одномерного и двумерного моделирования.

Она включает одномерную геоэлектрическую интерпретацию повторных электрических и электромагнитных измерений в скважине, одномерную гидродинамическую интерпретацию и двумерное гидродинамическое моделирование процессов, происходящих в окрестности скважины (двухфазная фильтрация, перенос солей, рост и разрушение глинистой корки). Связь между модельными блоками осуществляется через уравнение связи гидродинамических параметров (пористости, водонасыщенности, концентрации солей) и удельного электрического сопротивления, обобщающее уравнение Арчи.

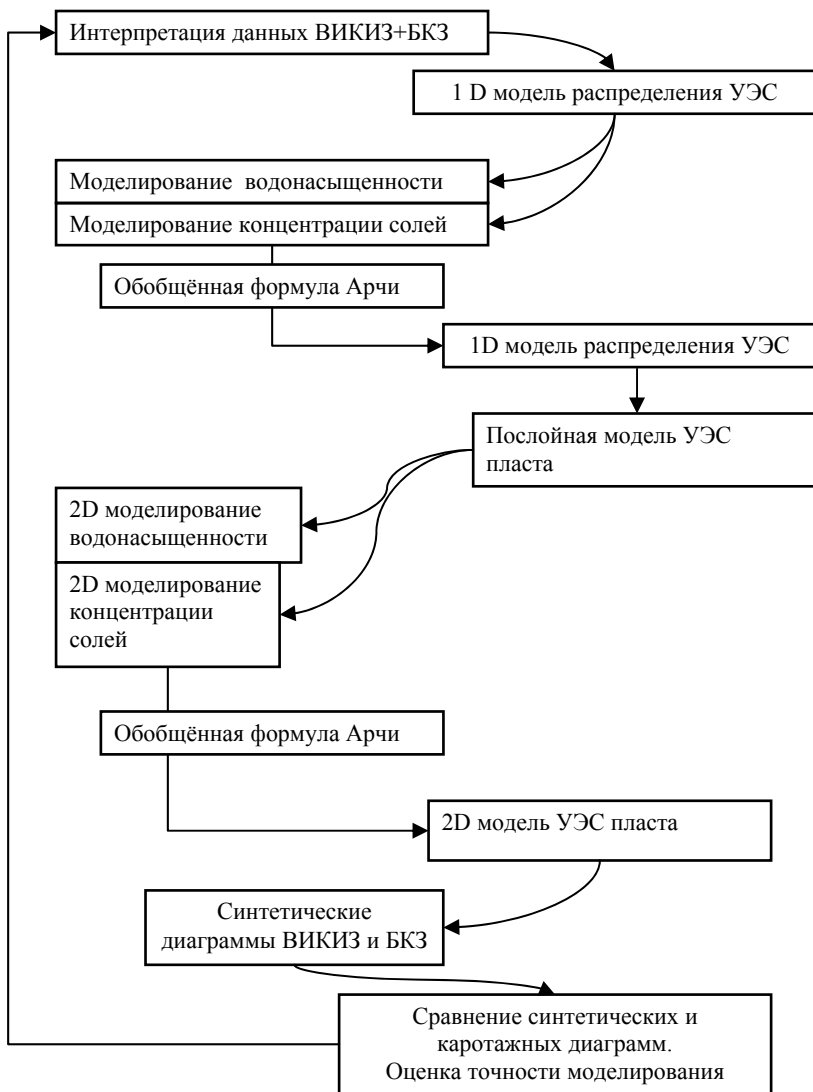


Рис. 1. Схема комплексной поэтапной интерпретации данных многократных наблюдений в скважине

Завершающим этапом является верификация построенной модели прискважинного пространства сравнением каротажных диаграмм ВИКИЗ и БКЗ и синтетических диаграмм, полученных двумерным моделированием показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ.

Далее в данной главе приведено описание всех этапов построения электрогидродинамической модели прискважинного пространства. В работе описаны используемые геоэлектрические модели и особенности одномерного (1D) и двумерного (2D) моделирования показаний зондов ВИКИЗ и БКЗ.

Двухфазная фильтрация несмешивающихся жидкостей описывается уравнениями Баклея-Левретта. Для моделирования солепереноса используется уравнение переноса консервативной примеси. Скорость роста глинистой корки на стенке скважины пропорциональна расходу бурового раствора в пласт. Варьируемыми параметрами являются параметры пласта, характеристики флюидов (концентрация солей, вязкость, параметры в формуле, задающей значения фазовых проницаемостей), параметры глинистой корки. Параметры распределения флюидов в зоне проникновения подбираются так, чтобы минимизировать среднеквадратичное отклонение удельной электропроводности, полученной при гидродинамической интерпретации, от удельной электропроводности, соответствующей геоэлектрической модели среды, полученной при геоэлектрической интерпретации данных ГИС.

Был проведён анализ петрофизических моделей эффективной электропроводности гетерогенных сред: формулы Овчинникова, Glover'a, модели на основе теории эффективной среды (А.К. Вейнберг, А.С. Семенов, P. Sen, M. Cohen, F. Yonezava, C. Scala, K. Mendelson, A. Bussian, L. Schwartz), модель баллистического осаждения (R. Dasgupta, S. Roy, S. Tarafdar), имитирующая формирование анизотропной среды. Проанализированы перколяционные сетевые модели эффективной электропроводности (J. Bigalke, P. Wong, J. Koplik, J. Tomanic, M. Jonas, J.R. Scopper, J.H. Schon), а также фрактальные модели (A. Katz, A. Thompson, S. Roy, S. Tarafdar, R.R. Nigmatullin), которые задают параметры в формуле Арчи через фрактальные размерности образца породы. Значения эффективной электропроводности, рассчитанные по программам, разработанным соискателем, сравниваются с результатами расчётов по формуле Арчи. На основе анализа известных моделей электропроводности двухкомпонентных сред обоснован выбор уравнения связи параметров гидродинамической модели – пористости,

водонасыщенности, солёности пластовой жидкости, с геоэлектрическим параметром – УЭС (Кашеваров и др., 2003).

Выполнен обзор работ в области совместного анализа данных скважинных измерений и гидродинамических процессов в околоскважинном пространстве (И.Г. Ярмахов, С.Б. Попов, А.А. Кашеваров, И.Н. Ельцов, М.И. Эпов, Н.К. Корсакова, В.И. Пеньковский, D. Tobola, S. Holditch, C. Yao, J-h. Zhang, Z-h. Li, S. Li, L. Shen, F. Alpak, C. Torres-Verdin, D. Navaro, R. Liu, K. Moharty, G. Li, C. Zhou, Ch. Li, P. Worlington, F. Costa, L. Loures, F. Moraes). Эти работы отличаются прежде всего по типу скважинных электрических и электромагнитных измерений, поскольку они производятся различными видами приборов. Используются АИТ (Schlumberger Array Induction Imager Tools), Dual Induction Log (диаграммы двухзондового индукционного каротажа), Dual Lateral Log (диаграммы двухзондового бокового каротажа), совместная интерпретация диаграмм двухзондового индукционного каротажа и БКЗ.

Особенность настоящей работы – использование индукционного прибора ВИКИЗ в сочетании с высокочастотными зондами БКЗ. Прибор ВИКИЗ обладает более высокой разрешающей способностью, чем перечисленные инструменты, а совместная интерпретация измерений ВИКИЗ и БКЗ позволяет более детально определять профиль удельного электрического сопротивления в прискважинной области. Другие отличия нашего подхода связаны с предлагаемыми способами моделирования процессов фильтрации и переноса солей, в частности, в некоторых работах используется только одномерное моделирование гидродинамических процессов, разные модели образования и разрушения глинистой корки и т.д. В большинстве работ используется также другая форма уравнения связи гидродинамических параметров и УЭС.

Основными составляющими предложенной в диссертационной работе методики комплексной интерпретации являются: совместная интерпретация данных ВИКИЗ, БКЗ и кавернометрии; сочетание послойной одномерной интерпретации и двумерного моделирования; подбор параметров в результате сравнения геоэлектрических моделей УЭС и распределения УЭС, полученного в результате гидродинамического моделирования распределений солёности и водонасыщенности; согласование разновременных геоэлектрических моделей распределения УЭС посредством использования гидродинамической модели, в которой распределение водонасыщенности, солёности, УЭС изменяется со временем; верификация построенной модели УЭС околоскважинного пространства

сравнением синтетических и каротажных диаграмм ВИКИЗ и БКЗ с учётом реальной точности зондирующих систем.

Глава 2. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На основе описанной в первой главе методики была проведена комплексная интерпретация данных повторных измерений ВИКИЗ и БКЗ в трёх скважинах Когалымского месторождения. В результате построены согласованные электрогидродинамические модели УЭС околоскважинного пространства. На рис. 2 приведена геоэлектрическая динамическая модель для скважины № 1, в которой был проведён уникальный натурный эксперимент: сделаны четыре одновременных каротажа ВИКИЗ, а в моменты первого, третьего и четвертого измерений дополнительно выполнялись другие виды каротажа, в частности БКЗ. Для этой скважины полно представлены данные других скважинных измерений, результаты исследований отобранного на изучаемом интервале керна, дано подробное описание проводимых в скважине операций. Такая информация важна для детального изучения процессов в околоскважинном пространстве. Для практического использования, как было показано на других скважинах, для создания электрогидродинамической модели достаточно двух разнесённых по времени измерений. Поскольку процессы фильтрации существенно нелинейны, то повторные измерения необходимы для хорошей настройки гидродинамической модели, что, в свою очередь, улучшает точность определения фильтрационно-ёмкостных параметров пластов.

В скважине № 1 между измерениями выполнялись работы, которые существенно изменяли гидродинамическую ситуацию в скважине; по журналу бурения проанализированы операции на скважине между моментами проводимых измерений и суммарное по времени гидродинамическое воздействие на пласт. Распределения УЭС, представленные на рис. 2, соответствуют моментам проведённых в скважине измерений и получены в результате применения описанной методики.

Во второй главе также обсуждаются вопросы построения детальных одномерных моделей радиального распределения УЭС, влияние детализации на качество моделирования; сравниваются результаты одномерной гидродинамической интерпретации и двумерного гидродинамического моделирования.

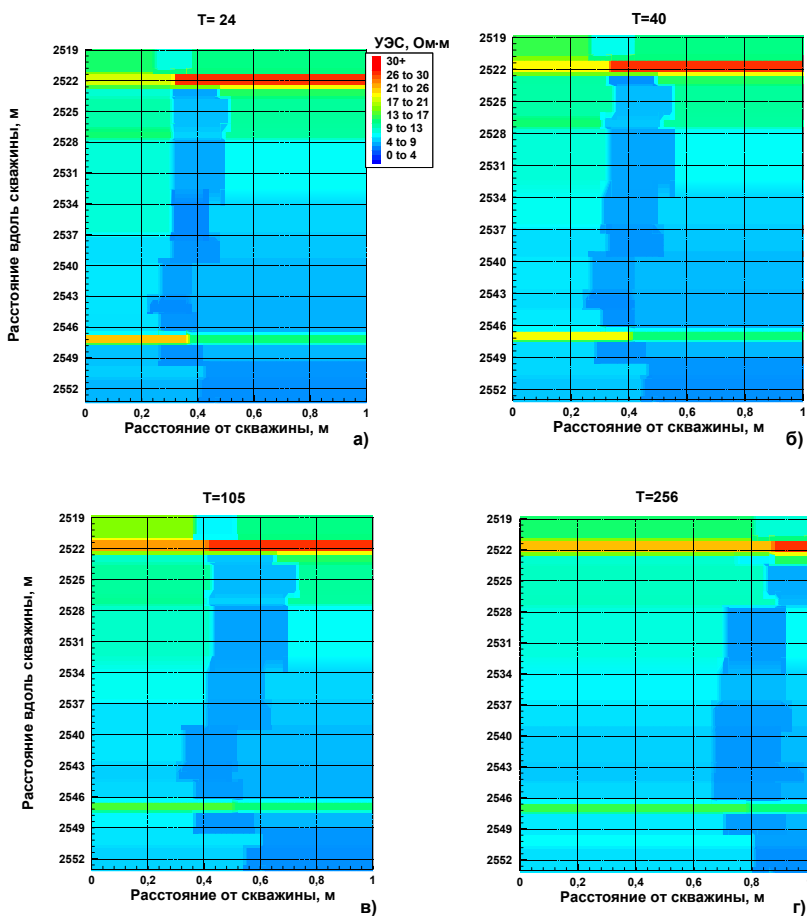


Рис. 2. Эволюция распределения УЭС в окрестности скважины № 1 на продуктивном интервале (пласт БС11-26), Т – время после вскрытия пласта (час.).

а) момент первого измерения; б) момент второго измерения;
 в) момент третьего измерения; г) момент четвёртого измерения

Таким образом, для трёх скважин Когалымского месторождения построены электрогидродинамические модели околоскважинного

пространства, для чего были использованы математические модели процессов различной физической природы: двухфазной фильтрации несмешивающихся жидкостей, солепереноса, роста и разрушения глинистой корки, распространения электрического и электромагнитного полей, учтены технологические данные бурения. Это позволило связать разновременные наблюдения в единый динамический процесс изменения водонасыщенности, солёности и удельного электрического сопротивления в околоскважинном пространстве.

Глава 3. ОЦЕНКА ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТА

Важным практическим результатом построения электрогидродинамической модели околоскважинного пространства является петрофизическая интерпретация данных каротажа, то есть определение фильтрационно-ёмкостных свойств (пористости, проницаемости и нефтенасыщенности) изучаемого пласта. Совместная гидродинамическая и геофизическая интерпретация разновременных наблюдений восполняет отсутствие или неполноту исследований kernового материала.

Традиционно по данным ГИС определяются пористость, нефтенасыщенность и эффективная мощность продуктивного пласта, т.е. статические характеристики, необходимые для подсчёта запасов. В типовом комплексе ГИС для прогнозирования проницаемости используются различные варианты корреляционных зависимостей. Важным приложением построенной по предложенной в диссертации методике электрогидродинамической модели является возможность оценки проницаемости пластов по результатам комплексного электрогидродинамического моделирования.

Для оценки проницаемости используется подход, основанный на расчёте объёма фильтрата бурового раствора Q , поступившего в пласт:

$$-0.5Q_0^2 = \frac{r_b k_c}{\alpha} \left(\frac{Q_0 \ln(D/r_b)}{k_0 [S_f^m + \mu_0 (1 - S_f)^{n_2}] - F / \mu_w} \right),$$

где $Q_0 = \frac{Q}{2\pi}$ – приведённый объём фильтрата бурового раствора, r_b – радиус скважины, k_c – коэффициент проницаемости глинистой корки, $\alpha = \frac{\delta(1+\delta)}{(1-m_c)r_b}$, m_c – пористость глинистой корки, δ – доля глинистых

частиц в буровом растворе, $D = L\left(\frac{t}{2}\right)$, L – радиус влияния скважины, k_0 – проницаемость слоя, S_f – водонасыщенность неизменённой части пласта, показатели степени n_1 (вода) и n_2 (нефть) меняются от 2 до 3.5, $\mu_0 = \frac{\mu_w}{\mu_{oil}}$, μ_w , μ_{oil} – вязкости воды и нефти, $F(t) = \int_0^t P_b dt$, P_b – превышение давления в скважине над пластовым давлением.

На рис. 3 приведено сравнение значений проницаемости, полученных по стандартной методике по комплексу ГИС с использованием результатов исследований кернов, и значений, рассчитанных по предложенной в диссертации методике.

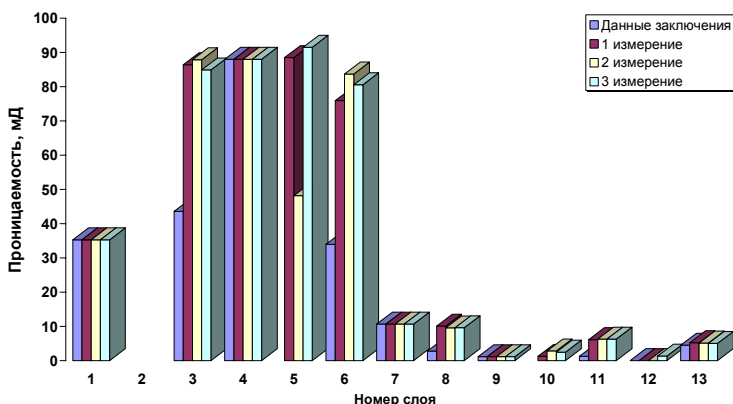


Рис. 3. Проницаемость слоёв, определённая по повторным измерениям и взятая из заключений организаций, проводивших ГИС. Скважина № 1 Когалымского месторождения

Расчётные значения проницаемости для трёх разных измерений достаточно хорошо согласуются между собой. Абсолютные значения проницаемости различаются, но совершенно бесспорно выделяются хорошо, средне и плохо проницаемые коллектора. Таким образом, можно говорить о полуколичественной оценке проницаемости по данным многократных измерений и электрогидродинамического моделирования.

Глава 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ В ПЛАСТ СИЛЬНОПРОВОДЯЩЕГО БУРОВОГО РАСТВОРА

Использование биополимерных растворов на водной основе с высокой концентрацией солей и, соответственно, низким УЭС ($0.02 \div 0.06$ Ом·м) влияет на каротажные диаграммы и кривые зондирования. Методика совместной электрогидродинамической интерпретации применена для обработки данных измерений в скважине Русскинского месторождения, пробуренной на сильнопроводящем буровом растворе.

В диссертации проанализировано влияние концентрации солей в буровом растворе на свойства зоны проникновения и каротажные диаграммы зондов ВИКИЗ. Предложен метод, который позволяет по результатам проведённого двумерного гидродинамического моделирования рассчитать синтетические кривые радиального распределения УЭС при любой солёности бурового раствора. Для расчёта используется формула:

$$C_2(r, z) = \frac{C_1(r, z) - C_{b_1}}{C_{f_1} - C_{b_1}} \cdot (C_{f_2} - C_{b_2}) + C_{b_2},$$

где $C_1(r, z)$ – рассчитанный в результате двумерного гидродинамического моделирования массив концентрации солей при концентрации солей в буровом растворе C_{b_1} , $C_2(r, z)$ – поле концентрации солей при буровом растворе концентрации C_{b_2} ; C_{f_1} , C_{f_2} – концентрации солей в пластовом флюиде. По одному расчёту можно воспроизвести пространственное распределение $C(r, z)$ при любом соотношении концентраций солей в буровом растворе и пластовом флюиде.

На рис. 4 представлены результаты расчёта синтетических кривых радиального распределения УЭС в середине хорошо проницаемого, нефтенасыщенного слоя с параметрами: пористость $K_p = 21.3\%$, проницаемость $K_{пр} = 87.6$ мД, нефтенасыщенность $K_n = 70.8\%$ для значений концентраций бурового раствора 1 г/л, 5 г/л, 10 г/л, 21 г/л, 50 г/л, 100 г/л, 250 г/л при постоянной концентрации солей в пластовом флюиде 21 г/л.

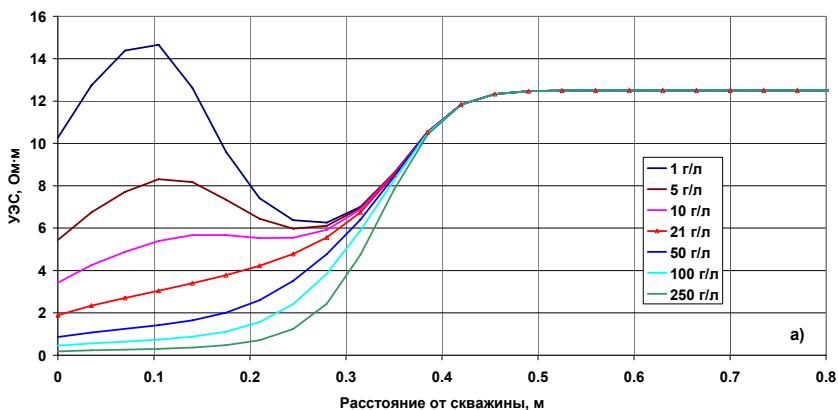


Рис. 4. Радиальное распределение УЭС, рассчитанное для различных концентраций солей в буровом растворе. Хорошо проницаемый нефтенасыщенный слой

По программе двумерного моделирования рассчитаны синтетические диаграммы ВИКИЗ, соответствующие различным распределением концентраций солей. Как и следовало ожидать, наибольшее влияние низкое сопротивление фильтра бурового раствора оказывает на показания короткого зонда. Диаграммы длинного зонда ВИКИЗ различаются значительно меньше.

Для скважин, пробуренных на сильнопроводящем буровом растворе, теоретически обоснован известный из практики характер кривой радиального распределения УЭС: при концентрации солей в буровом растворе, превышающей концентрацию солей в пластовом флюиде, радиальный профиль распределения УЭС становится монотонно возрастающим (понижающее проникновение). Этот вывод подтвержден результатами интерпретации данных для скважины № 4 Рускинского месторождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными результатами диссертационной работы являются новые методики интерпретации данных повторных электрических и электромагнитных измерений в скважине и определения гидрофизических параметров пласта, основанные на комплексном

поэтапном анализе данных геофизических и геолого-технологических измерений. По разработанной методике выполнена обработка данных повторных измерений ВИКИЗ и БКЗ в четырёх вертикальных скважинах Когоальмского и Русскинского месторождений. Показано, что построенная электрогидродинамическая модель прискважинной зоны с гидродинамических позиций адекватно описывает эволюцию зоны проникновения на основных этапах работ на скважине и удовлетворяет комплексу электрических и электромагнитных исследований.

На основе анализа известных моделей электропроводности двухкомпонентных сред обоснован выбор соотношения параметров гидродинамической модели – пористости, водонасыщенности, солёности пластовой жидкости, с удельным электрическим сопротивлением. На конкретных примерах показано, что такая форма соотношения может эффективно использоваться в широком классе моделей терригенных коллекторов, вскрываемых скважинами с пресным и солёным глинистым буровым раствором.

Теоретически, на основе математического моделирования обоснован вывод о характере радиального профиля распределения УЭС при использовании сильнопроводящего бурового раствора. Методика совместной интерпретации применена для обработки данных измерений в скважине Русскинского месторождения, пробуренной на сильнопроводящем буровом растворе.

Соискателем показана возможность установить зависимость между измеряемыми в скважине электрическими (БКЗ) и электромагнитными (ВИКИЗ) характеристиками и фильтрационно-ёмкостными свойствами среды, окружающей пробуренную скважину, без дополнительного анализа керна посредством обработки многократных измерений, отражающих эволюцию зоны проникновения, а также комплексирования методов анализа данных.

Практическое применение разработанной методики может дать экономический эффект, особенно на разведочных скважинах, где возможно проведение повторных наблюдений в оптимальные моменты эволюции зоны проникновения. Затраты на проведение работ по предложенной методике существенно меньше по сравнению с традиционными, использующими анализ керна. Существенно выше и оперативность получения оценок.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Нестерова Г.В.**, А.А. Кашеваров, И.Н. Ельцов. Эволюция зоны проникновения по данным повторного каротажа и математического моделирования // Каротажник. – 2008. – № 1. – С. 52-68.
2. **Нестерова Г.В.**, Кашеваров А.А., Ельцов И.Н. Оценка параметров пласта по данным повторных измерений в скважине // Материалы VI международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2008». – Новосибирск: СГГА, 22-24 апреля 2008 г. – С. 186-189.
3. **Нестерова Г.В.**, Кашеваров А.А., Ельцов И.Н. Моделирование проникновения сильнопроводящего бурового раствора в пласт // Каротажник. – 2008. – № 9. – С. 45-60.
4. Ельцов И.Н., Кашеваров А.А., **Нестерова Г.В.** Распределение электропроводности в околоскважинном пространстве при различных солёностях бурового раствора. // Материалы конференции «Геомодель 2008». Геленджик, 21 - 26 сентября 2008. – 4 с. – Электронный ресурс. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. **Нестерова Г.В.** Математические модели электропроводности двухкомпонентных сред и формула Арчи (по материалам публикаций) // Каротажник. – 2008. – № 10. – С. 81-101.
6. **Нестерова Г.В.**, Суродина И.В. Интерпретация диаграмм зондов ВИКИЗ и БКЗ на основе 2D математического моделирования // Международная конференция «Математические методы в геофизике ММГ-2008». – 13-15 октября 2008. – 6 с. – Режим доступа: URL: <http://www.sgcc.ru/Conf/mmg2008/index.html>, свободный.
7. Ельцов И.Н., **Нестерова Г.В.**, Кашеваров А.А. Интерпретация данных повторных электромагнитных измерений в скважине и оценка гидрофизических параметров пласта // II Международная геолого-геофизическая конференция и выставка «К эффективности через сотрудничество». – Тюмень, 2-5 марта 2009. – 4 с. – Электронный ресурс. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
8. **Нестерова Г.В.**, Суродина И.В. Верификация моделей околоскважинного пространства на основе синтетических двумерных диаграмм ВИКИЗ и БКЗ // Международный научный конгресс «ГЕО-Сибирь-2009». – Новосибирск: СГГА, 20-24 апреля 2009 г. – С. 65-68.
9. **Нестерова Г.В.**, Ельцов И.Н., Кашеваров А.А. Методика комплексной обработки данных повторного электрического и электромагнитного каротажа // Международный научный конгресс «ГЕО-Сибирь-2009». – Новосибирск: СГГА, 20-24 апреля 2009 г. – С. 60-64.

Технический редактор О.М.Вараксина

Подписано в печать 16.07.2009

Формат 60x84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс

Печ. л. 0,9. Тираж 150. Зак. № 29

ИНГГ СО РАН, ОИТ, пр-т Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090