

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Определение характера насыщения терригенных пластов-коллекторов  
методом ВИКИЗ на примере Федоровского месторождения  
Тюменской области»**

АВТОРЕФЕРАТ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Студента 6 курса 631 группы  
020302 специальности геофизика  
геологического ф-та  
Мишенского Ильи Олеговича

**Научный руководитель**

К. г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Б.А. Головин

**Зав. кафедрой**

К. г.- м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Методы ГИС, получившие широкое развитие в качестве прикладных методов сопровождения бурения нефтегазовых скважин в середине прошлого века, в настоящее время являются ведущими при выделении и определении подсчетных параметров пластов-коллекторов и характеризуются постоянным совершенствованием техники и методики выполняемых исследований.

Большое разнообразие методов ГИС обусловлено различными техническими и геологическими условиями бурения скважин, определяющими эффективность использования тех или иных методов.

В условиях осадочного комплекса Западно-Сибирской провинции, представленного песчано-алевролитовыми и глинистыми породами мезокайнозойского возраста, особую трудность для исследования представляют малопроницаемые глинистые коллекторы при наличии тонкого переслаивания с непроницаемыми отложениями, что требует применения высокоразрешающих методов ГИС.

Одним из методов, нашедших широкое использование в данных геологических условиях, является применяемый с конца прошлого столетия метод высокочастотных индукционных каротажных изопараметрических зондирований (ВИКИЗ), предназначенный для исследования пространственного распределения удельного электрического сопротивления пород, вскрытых скважинами, бурящимися на нефть и газ.

Помимо этого метод ВИКИЗ позволяет выполнять расчленение разреза, в том числе тонкослоистого, с высоким пространственным разрешением; оценивать положение водонефтяных и газоводяных контактов; определять удельное электрическое сопротивление не измененной части пласта, зоны прониновения фильтрата бурового раствора с оценкой глубины вытеснения пластовых флюидов; выделение и оценка параметров радиальных неоднородностей в области прониновения, в том числе скоплений соленой пластовой воды («окаймляющие зоны»), как прямого качественного признака присутствия подвижных углеводородов в коллекторах.

Целью работы является выделение проницаемых пропластков и оценка характера насыщения терригенных пластов-коллекторов методом ВИКИЗ на примере Федоровского месторождения Тюменской области.

Для обоснования применимости метода в работе решены задачи описания геологического разреза района работ; рассмотрены теоретические основы метода; для оценки эффективности результаты, полученные методом ВИКИЗ, сопоставлены с данными бокового каротажа (БК), гамма-каротажа (ГК) и индукционного каротажа (ИК).

Настоящая работа подготовлена с использованием результатов промыслово-геофизических исследований скважин Федоровского газонефтяного месторождения. Автор признателен сотрудникам треста «Сургутнефтегеофизика» за предоставленные материалы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Дипломная работа посвящена применению метода ВИКИЗ для выделения проницаемых пропластков и оценки характера насыщения терригенных пластов-коллекторов в разрезе Федоровского месторождения Тюменской области

В первом разделе, **геолого-геофизическая характеристика**, приводятся сведения о местоположении и геологическом строении исследуемой площади.

Фёдоровское месторождение открыто в 1971 году.

В административном отношении Федоровское месторождение расположено на территории Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области. От города Сургута до месторождения проложены насыпные дороги с асфальтным покрытием, которые пригодны для транспорта круглогодично.

В геологическом строении месторождения принимают участие породы палеозойского метаморфизированного фундамента и мезо-кайнозойского осадочного чехла. Общая мощность осадочных пород составляет 2900-3000 м.

Федоровское месторождение в тектоническом плане приурочено к одноименному куполовидному поднятию второго порядка, расположенному в центральной части Сургутского свода в соответствии.

По отражающему горизонту «Б», отождествляемому с кровлей верхнеюрских отложений, Федоровская структура представляет собой крупную брахиантиклинальную изометрическую складку с сильно изрезанными в структурном плане очертаниями. Протяженность залежи с юга на север 37 км, с юго-запада на северо-восток 42 км. В контуре изогипсы -2625 м амплитуда поднятия 105 м.

Фёдоровское нефтегазовое месторождение приурочено к Сургутскому нефтегазоносному району Средне-Обской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Фёдоровское месторождение относится к классу гигантских, а по степени промышленной освоенности к разрабатываемым. Годовая добыча нефти на месторождении составляет 12,5 млн. тонн. Запасы нефти оцениваются в 2,0 млрд. тонн. Залежи находятся на глубине 1,8-3,3 км. Начальный дебит скважин

составляет 17-310 т/сут. Плотность нефти составляет 0,86-0,90 г/см<sup>3</sup>.

В пределах Фёдоровского месторождения промышленные скопления нефти приурочены к среднеюрским отложениям (пласт ЮС2), отложениям валанжина (пласты БС16, БС10, БС11), готерива (пласты БС2, БС1), баррема (пласты АС9, АС7-8, АС6-1, АС5-8, АС4). Основные промышленные запасы связаны с коллекторами пластов БС10-БС11. Коллекторы представлены мелкозернистыми песчаниками с прослоями глин и алевролитов. Общий этаж нефтеносности составляет более 1000 м.

Раздел 2, **методика работ**, посвящен описанию теоретических основ и обоснованию применения метода ВИКИЗ в условиях Федоровского месторождения.

Как было показано в разделе 1 осадочный комплекс Западно-Сибирской провинции представлен мезо-кайнозойскими песчано-алевролитовыми и глинистыми породами, что делает благоприятным применение индукционных методов.

Основная цель электромагнитного (в том числе индукционного) каротажа заключается в возможно более точной оценке удельных электрических сопротивлений пластов. Для достижения этой цели применяются многокатушечные зонды. Параметры зондов выбираются таким образом, чтобы измеряемый сигнал в основном определялся УЭС неизменной части пласта, а влияние скважины и зоны проникновения было относительно небольшим. Такого рода зонды в каротаже принято называть фокусирующими.

В индукционном каротаже (частоты до 250 кГц) для проектирования зондов используются принципы частотной и геометрической фокусировки, базирующиеся на теории обобщенного геометрического фактора. При геометрической фокусировке моменты катушек и расстояния между ними подбираются таким образом, чтобы существенно уменьшить вклады (геометрические факторы) скважины и измененной проникновением прискважинной области.

Другим, менее распространенным способом фокусировки является измерение двухчастотной разности реальных частей э.д.с. или мнимой составляющей э.д.с. Улучшение радиальных характеристик фокусирующих зондов

приводит к увеличению влияния на сигнал вмещающих пород. Особенно это становится заметным, когда мощность пласта сравнима с длиной зонда. Другой особенностью фокусирующих систем является значительное уменьшение уровня измеряемого сигнала.

Таким образом, при их проектировании требуется найти компромисс между двумя альтернативными условиями: для улучшения радиальных характеристик необходимо понижать частоту или увеличивать длину зонда, а для улучшения вертикальных характеристик и увеличения измеряемого сигнала необходимо повышать частоту и укорачивать зонд. Все широко используемые зонды индукционного каротажа (6Ф1, 6Ф1М, 8И1.4) спроектированы с учетом этих противоречивых требований.

Принципиально иным является принцип фокусировки переменного электромагнитного поля в области высоких частот. Было установлено, что относительная разность амплитуд или фаз, измеренных в двух близко расположенных катушках, очень слабо зависит от параметров скважины даже на очень высоких частотах (до 15 МГц). Таким образом, измерение разности фаз позволяет выполнить сразу два требования: исключить влияние скважины, не утратив при этом хорошего вертикального разрешения. Применение высоких частот приводит к высоким уровням сигналов даже в относительно плохо проводящей (до 120 Ом) среде, что расширяет диапазон определяемых удельных электрических сопротивлений.

В высокочастотных методах при измерении относительных характеристик используются трехкатушечные зонды. Такой зонд состоит из одной генераторной (Г) и двух измерительных ( $I_1$ ,  $I_2$ ) катушек. Все катушки соосны. Измерительные элементы располагаются по одну сторону от генератора. Генераторная катушка питается переменным гармоническим током

Расстояние между центрами генераторной и дальней измерительной катушкой называется длиной зонда. Относительное расстояние между центрами измерительных катушек называют базой зонда.

Переменный ток в генераторной катушке возбуждает в однородной

проводящей среде переменное электромагнитное поле.

Разность фаз между ЭДС в двух катушках в однородной среде будет одинакова и зависит только от УЭС среды, если произведение частоты тока на длину зонда и база зонда постоянны. Трехкатушечные зонды, для которых выполняются эти условия называются изопараметрическими.

В однородной среде показания всех зондов ВИКИЗ соответствуют одному значению кажущегося сопротивления, равному УЭС среды.

Аппаратура ВИКИЗ обеспечивает измерение разностей фаз между ЭДС, наведенными в измерительных катушках пяти электродинамически подобных трехкатушечных зондов, и потенциала самопроизвольной поляризации ПС.

Габаритные размеры скважинного прибора составляют: диаметр 0,073 м, длина 4,0 м. Прибор состоит из зондового устройства, блока электроники и наземной панели.

В аппаратуре ВИКИЗ используется набор из пяти трехкатушечных зондов. Конструктивно зондовое устройство выполнено на едином стержне и все катушки размещены соосно. Все генераторные и измерительные катушки зондов меньшей длины размещены между катушками двухметрового зонда.

В пластах-коллекторах сигнал самого короткого зонда определяется параметрами зоны проникновения.

Зависимость показаний пяти трехкатушечных зондов на одной глубине от длины главной двухкатушечной пары называется кривой зондирования ВИКИЗ. Совокупность кривых зондирования на разных глубинах образует диаграммы ВИКИЗ. Диаграммы могут представляться в виде разностей фаз и кажущихся сопротивлений (КС).

В однородной среде показания всех зондов должны совпадать между собой в пределах погрешностей измерения. Если же показания различных зондов различаются (т.е. кривая зондирования не представляет собой горизонтальный отрезок прямой), то это свидетельствует о пространственной неоднородности УЭС. Поскольку все зонды имеют разную длину и работают на разных частотах, то основной вклад в измеряемый сигнал вносят токи, текущие

в различных областях среды. Причем, чем меньше частота и больше длина, тем больше удалена от зонда область, влияющая на его показания. В частности, если исследуются пласты достаточной мощности (больше длины зонда), то кривая зондирования отражает изменение УЭС в направлении от скважины к неизменной части пласта (так называемое радиальное зондирование). При этом измерение дифференциальной характеристики – разности фаз – позволяет подавить влияние прилегающей к зонду области (в частности, скважины).

В зондах ВИКИЗ измеряется пять разностей фаз от короткого до длинного зонда. Модель среды характеризуется числом модельных параметров. В модели скважина – зона проникновения – пласт их пять: УЭС бурового раствора, радиус скважины, УЭС зоны проникновения, внешний радиус зоны проникновения, УЭС пласта.

Первая основная задача ВИКИЗ – оценка радиального распределения удельного электрического сопротивления от скважины до неизменной части пласта – решается с использованием кривых зондирования. Принцип радиального зондирования основан на повышении глубинности зондов с увеличением их длины и уменьшением частоты, а также измерении разности фаз, слабо зависящей от параметров скважины.

Существует возможность выделения следующих ситуаций:

- глинистый низкоомный пласт, вскрытый скважиной;
- уплотненный малопроницаемый высокоомный пласт;
- водонасыщенный коллектор с повышающим проникновением;
- нефтенасыщенный коллектор с повышающим проникновением;
- газонасыщенный коллектор с понижающим проникновением;
- нефтенасыщенный коллектор с повышающим проникновением и окаймляющей зоной.

Второй основной задачей ВИКИЗ является расчленение разреза. Использование диаграмм, отражающих типичные геоэлектрические ситуации, позволяет выделять следующие элементы разреза:

- уплотненный малопроницаемый пласт в глинистых отложениях;



- уплотненный малопроницаемый пласт, перекрытый глиной и подстилаемый водонасыщенным коллектором;
- водонасыщенный коллектор в глинистых отложениях;
- водонасыщенный коллектор, перекрытый глиной и подстилаемый уплотненными малопроницаемыми породами;
- нефтенасыщенный коллектор в глинистых отложениях;
- водоплавающий нефтенасыщенный коллектор, перекрытый глиной;
- водоплавающий нефтенасыщенный коллектор, перекрытый газонасыщенными отложениями;
- газонасыщенный коллектор в глинистых отложениях;
- газонасыщенный коллектор, перекрытый глиной и подстилаемый нефтенасыщенным коллектором.

В разделе 4, **литологическое расчленение, выделение пластов-коллекторов и оценка характера насыщения**, основываясь на вышеизложенных теоретических предпосылках в разрезе одной из скважин Федоровского месторождения с использованием метода ВИКИЗ представилось возможным выполнить литологическое расчленение разреза и выделить интервалы залегания продуктивных пород-коллекторов.

*Выделение плотного пласта в породах-коллекторах.* Интервал 1926,4-1927,8 выделяется повышенным сопротивлением на диаграммах кажущихся сопротивлений (КС).

Из-за малой маломощности пласта (1,4 м) кажущиеся сопротивления занижены так, что КС ни для одного из зондов не выходит на значение УЭС пласта. Асимметрия диаграмм относительно центра пласта обусловлена несимметричностью трехкатушечных зондов. Степень симметрии диаграммы увеличивается для более длинных зондов. Кажущееся сопротивление на длинных зондах существенно занижено, в основном из-за влияния хорошо проводящих вмещающих отложений.

*Выделение водоплавающего нефтенасыщенного коллектора, перекрытого глиной.* Интервал 1996,6-2000,4 м выделяется повышенным сопротивлением на диаграммах КС.

Диаграммы КС сильно асимметричны относительно центра пласта. Положение кровли пласта совпадает с точками пересечения кривых

профилирования трехкатушечных зондов. Интервал совпадения кажущихся сопротивлений с пластовым примыкает к подошве.

Диаграммы длинных зондов в целом правильно отражают истинное распределение УЭС по разрезу, показывая падение сопротивления с глубины 1997,8 м, соответствующей кровле водонасыщенного пласта. Диаграммы коротких зондов отражают распределение УЭС в прискважинной зоне и продолжают нарастать в интервале 1997,8-2000 м, отражая повышающее проникновение фильтрата бурового раствора в пласт.

Принимая значение УЭС равное 5,6 Омм получаем  $K_{нг} = 50,7\%$ , что позволяет сделать вывод о нефтяном характере насыщения пласта в интервале 1996,6-1997,8 м.

*Выделение нефтенасыщенного коллектора в глинистых отложениях.* Интервал 2195,8-2201,0 м выделяется повышенным сопротивлением на диаграммах КС. Диаграммы асимметричны относительно центра пласта. Интервал совпадения кажущихся сопротивлений и УЭС пласта смещен к его подошве. Принимая значение УЭС равное 8,8 Омм в соответствии с формулами получаем  $K_{нг} = 60,4\%$ , что позволяет сделать вывод о нефтяном характере насыщения данного интервала.

Результаты метода ВИКИЗ хорошо согласуются с показаниями методов бокового и индукционного каротажа. Однако наличие глубоких зон проникновения и отсутствие информации об их параметрах не позволяет учесть их влияние на показания БК и ИК. Определяемое по данным этих методов электрическое сопротивление пласта является некоторым приближением к истинному сопротивлению пласта, что делает предпочтительным использование лишённого этих недостатков многозондового метода ВИКИЗ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод высокочастотных индукционных каротажных изопараметрических зондирований предназначен для исследования пространственного распределения удельного электрического сопротивления пород, вскрытых скважинами, бурящимися на нефть и газ.

Использование метода ВИКИЗ позволяет решать следующие задачи:

- расчленение разреза, в том числе тонкослоистого, с высоким пространственным разрешением;
- оценка положения водонефтяных и газоводяных контактов;
- определение удельного электрического сопротивления не измененной части пласта, зоны прониновения фильтрата бурового раствора с оценкой глубины вытеснения пластовых флюидов;
- выделение и оценка параметров радиальных неоднородностей в области проникновения, в том числе скоплений соленой пластовой воды («окаймляющие зоны»), как прямого качественного признака присутствия подвижных углеводородов в коллекторах.

В отличие от трехкатушечных зондов индукционного каротажа, в которых измеряются абсолютные значения сигналов на фоне скомпенсированного прямого поля, метод ВИКИЗ, базирующийся на измерении относительных фазовых характеристик, может использоваться для исследования в скважинах, заполненных сильнопроводящим (УЭС менее 0,5 Ом) буровым раствором.

Основываясь на результатах интерпретации диаграмм ВИКИЗ представилось возможным определить коэффициенты нефтегазонасыщения, литологию терригенного разреза, оценить неоднородность коллекторских свойств в интервалах пористо-проницаемых пластов, выделить интервалы уплотненных песчаников.