

Dielectric Scanner*

Многочастотный метод
диэлектрической дисперсии

Измерение объемов флюидов в породе



ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- Непосредственная оценка влагоемкости породы, независимо от удельного сопротивления воды (R_v), с глубиной исследования до 10 см и с последующей оценкой таких параметров, как
 - Остаточное нефтегазонасыщение в выработанных пластах
 - Нефтегазонасыщенность в низкоомных или низкоконтрастных глинистых и тонкослоистых коллекторах
 - Насыщение и подвижность углеводородов в залежах высоковязкой нефти
 - Минерализация воды
- Получение оценки экспоненты « mp » ($m=n$) в уравнении Дахнова-Арчи непрерывно по разрезу посредством анализа структуры карбонатных отложений, для дальнейшего расчета насыщенности за пределами зоны проникновения
- Оценка емкости катионного обмена (ЕКО) для учета влияния глинистости в терригенных отложениях
- Высокоразрешающий метод оценки влагоемкости породы в тонкослоистых разрезах

Компоновка антенны Dielectric Scanner на прижимном башмаке. Синие диполи обеспечивают измерения с продольной поляризацией, а красные – с поперечной поляризацией. С помощью двух коаксиальных электрических датчиков (РА и РВ) контролируется плотность прилегания башмака, а также определяются диэлектрические свойства бурового раствора и глинистой корки на выбранных частотах.



Для определения нефтенасыщения традиционным способом, как правило, требуются недели и месяцы лабораторных исследований керна, в противном случае оценка Кнг будет включать неопределенность, вызванную погрешностью в принятых коэффициентах уравнения расчета насыщенности. При использовании характеристик породы, регистрируемых Dielectric Scanner*, больше не нужно так долго ждать получения точных оценок емкостных характеристик.

В Dielectric Scanner впервые в отрасли применяется технология анализа частотной диэлектрической дисперсии для точной количественной оценки объема остаточных углеводородов, экспоненты « mp » в уравнении Дахнова-Арчи и ЕКО пород. Параметры, которые раньше можно было получить только по результатам анализа керна или в виде приблизительных оценок, теперь предоставляются на скважине в виде непрерывных каротажных диаграмм. По замерам частотной дисперсии диэлектрических свойств строится точная радиальная характеристика прискважинной зоны, предоставляющая новую незаменимую информацию о свойствах пород и распределении флюидов для использования в комплексной петрофизической интерпретации. В сочетании с традиционными методами ГИС, исследования диэлектрической дисперсии Dielectric Scanner позволяют получить более точную характеристику пород для определения подсчетных параметров и управления разработкой.

Многозондовая аппаратура

Основным компонентом Dielectric Scanner является массив антенн, расположенных на коротком прижимном башмаке. Каждая из кросс-дипольных антенн включает совмещенные электромагнитные диполи. Источники (ТА и ТВ) расположены по центру башмака, а пары приемников (РА1-4 и RB1-4) расположены симметрично относительно центра, что обеспечивает оптимальную точность измерений и компенсацию за влияние скважины. Для сведения к минимуму влияния скважины, короткий, полностью подвижный антенный башмак плотно прижимается к стенке скважины гидравлическим каверномером, что обеспечивает оптимальный контакт с породой даже в размытом стволе. Электромагнитные волны возбуждаются в породе на четырех частотах и с поляризацией по двум направлениям для получения высокоточных и высокоразрешающих замеров свойств породы на расстоянии до 10 см от стенки скважины.

Физические основы метода диэлектрической дисперсии

Одним из революционных прорывов, совершенных с помощью Dielectric Scanner, стало непрерывное по разрезу измерение диэлектрической дисперсии, которая представляет собой изменение диэлектрических свойств породы в зависимости от частоты. По результатам радиальной интерпретации замеров с высоким разрешением, полученных на зондах разного размера (каждый с поляризацией по двум направлениям и на четырех частотах), определяются диэлектрическая проницаемость и электрическая проводимость на каждой частоте. Традиционные приборы диэлектрического каротажа обеспечивают измерения только на одной частоте и имеют ограниченную область применения, а при интерпретации их данных не учитывается влияние структуры породы, проникновения фильтрата бурового раствора и неизвестной или переменной минерализации пластовой воды.

Для интерпретации замеров диэлектрической проницаемости и проводимости на каждой частоте, выполненных Dielectric Scanner, применяется специальная петрофизическая модель. Выходными параметрами модели являются влагоемкость породы (а следовательно,

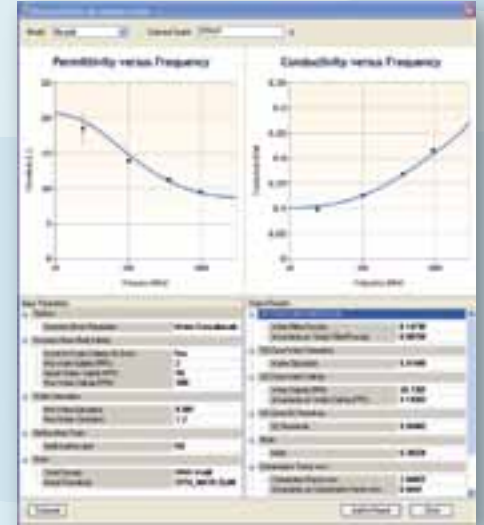
и водонасыщенность, если известна общая пористость), минерализация воды и структурные характеристики в карбонатах или ЕКО в глинистых песчаниках.

Одновременно совместный анализ дисперсии диэлектрической проницаемости и проводимости освобождает получаемую оценку влагоемкости от влияния минерализации. Более того, минерализация воды является дополнительным результатом такого анализа. Для скважин, пробуренных на РНО (растворе на нефтяной основе), расчетная минерализация воды будет соответствовать минерализации пластовой воды.

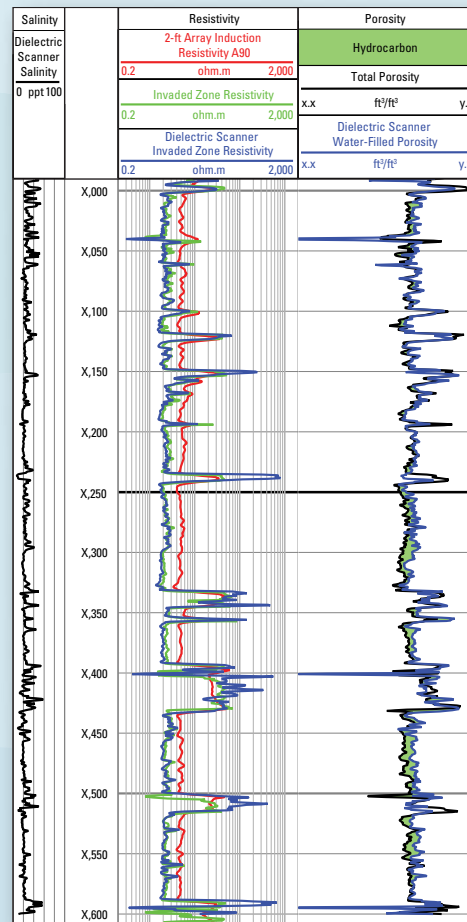
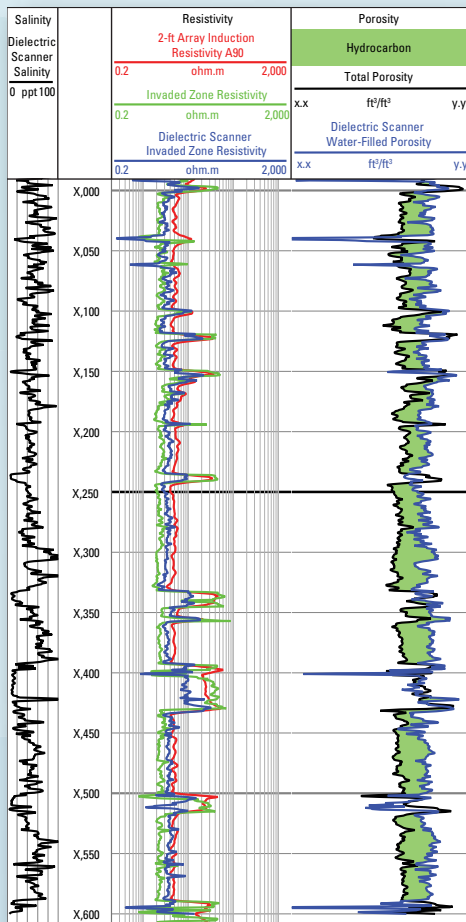
В карбонатах диэлектрическая дисперсия в основном определяется структурой породы. В свою очередь, по результатам исследований Dielectric Scanner можно получить непрерывную характеристику структуры породы в пластовых условиях в виде каротажной кривой экспоненты mn (принимая $m=n$).

В песчано-глинистых отложениях результатом обработки является непрерывная каротажная диаграмма емкости катионного обмена. В залежах высоковязкой нефти или при неглубоком

проникновении фильтрата бурового раствора, измерения Dielectric Scanner охватывают и полностью промытую, и неизмененную зоны, что позволяет определить содержание подвижных углеводородов.



Графики дисперсии (замеренные величины диэлектрической проницаемости и проводимости на четырех частотах) и их сходимости с моделью, построенной по расчетным параметрам.



Результаты обработки данных аппаратуры одночастотного электромагнитного каротажа предыдущего поколения (симулированы с использованием замера на одной частоте) представлены на планшете слева. Такая аппаратура неспособна учитывать изменчивость структуры породы, что приводит к завышению расчетных значений R_{ho} - удельного сопротивления зоны проникновения (вторая дорожка).

На планшете справа результаты анализа многочастотных данных Dielectric Scanner дают оценку влагоемкости, совпадающую с общей пористостью данного водонасыщенного песчаника (третья дорожка), что подтверждается совпадением оценок R_{ho} по результатам диэлектрического сканирования и микробокового каротажа на второй дорожке.

Примеры из реальной практики



Результаты диэлектрического сканирования подтверждают 95% остаточной нефтенасыщенности



Компания-оператор на Ближнем Востоке решила уточнить свое представление о насыщении высокопористого карбонатного пласта, в котором изменчивость коэффициентов m и n увеличивала неопределенность интерпретации данных стандартных ГИС. Дополнительная погрешность вносилась крайне высокой минерализацией фильтрата промывочной жидкости, составлявшей около 190 г/л по NaCl.

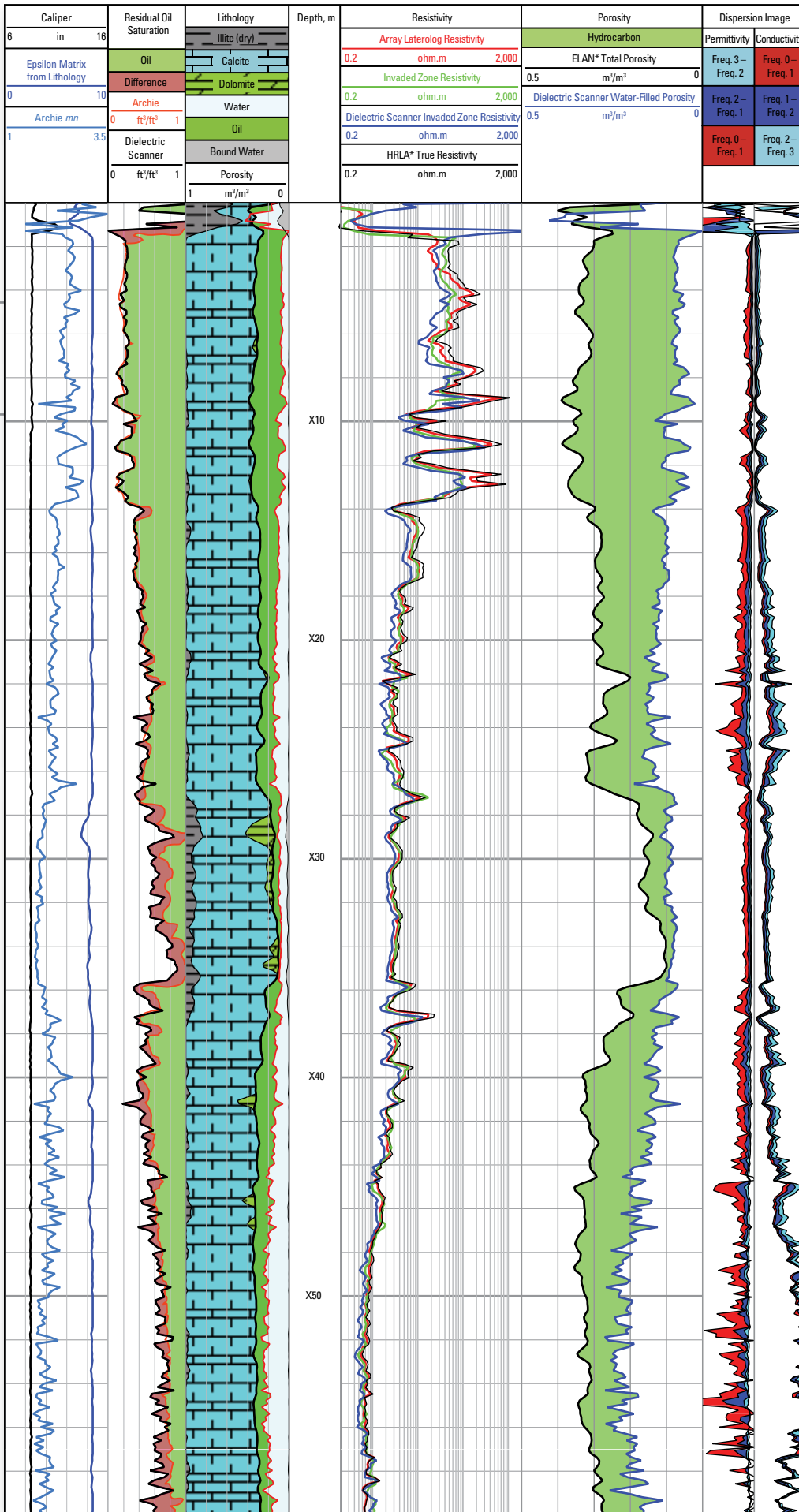
Информация о структуре карбонатов, полученная в результате исследований DielectricScanner, позволила определить значения экспонент m и n (принимая $m=n$), не полагаясь на потенциально неточные оценки по результатам обработки стандартных методов ГИС и не дожидаясь результатов лабораторных анализов керна. Точные значения m и n в уравнении Дахнова-Арчи необходимы, поскольку оно служит основой для оценки насыщения по значениям удельного электрического сопротивления.

Как показано на пятой дорожке, существенное расхождение между влагоемкостью, рассчитанной по данным Dielectric Scanner (синяя кривая) и общей пористостью, определенной по стандартным методам, указывает на большой объем остаточных углеводородов в породе. На второй дорожке насыщенность углеводородами по данным Dielectric Scanner учитывает изменчивость коэффициентов уравнения Дахнова-Арчи и подтверждает, что Кно достигает 95%. При определении насыщенности стандартным методом с постоянными значениями коэффициентов m и n в уравнении Дахнова-Арчи не учитывается их изменчивость, о чем свидетельствует расхождение (закрашенное красным цветом) между оценками насыщения по традиционному методу и по данным Dielectric Scanner. Подтверждением высокого уровня Кно служит совпадение оценок $\rho_{3П}$ (R_{XO}) по данным Dielectric Scanner и по стандартным методам электрометрии (дорожка 4).

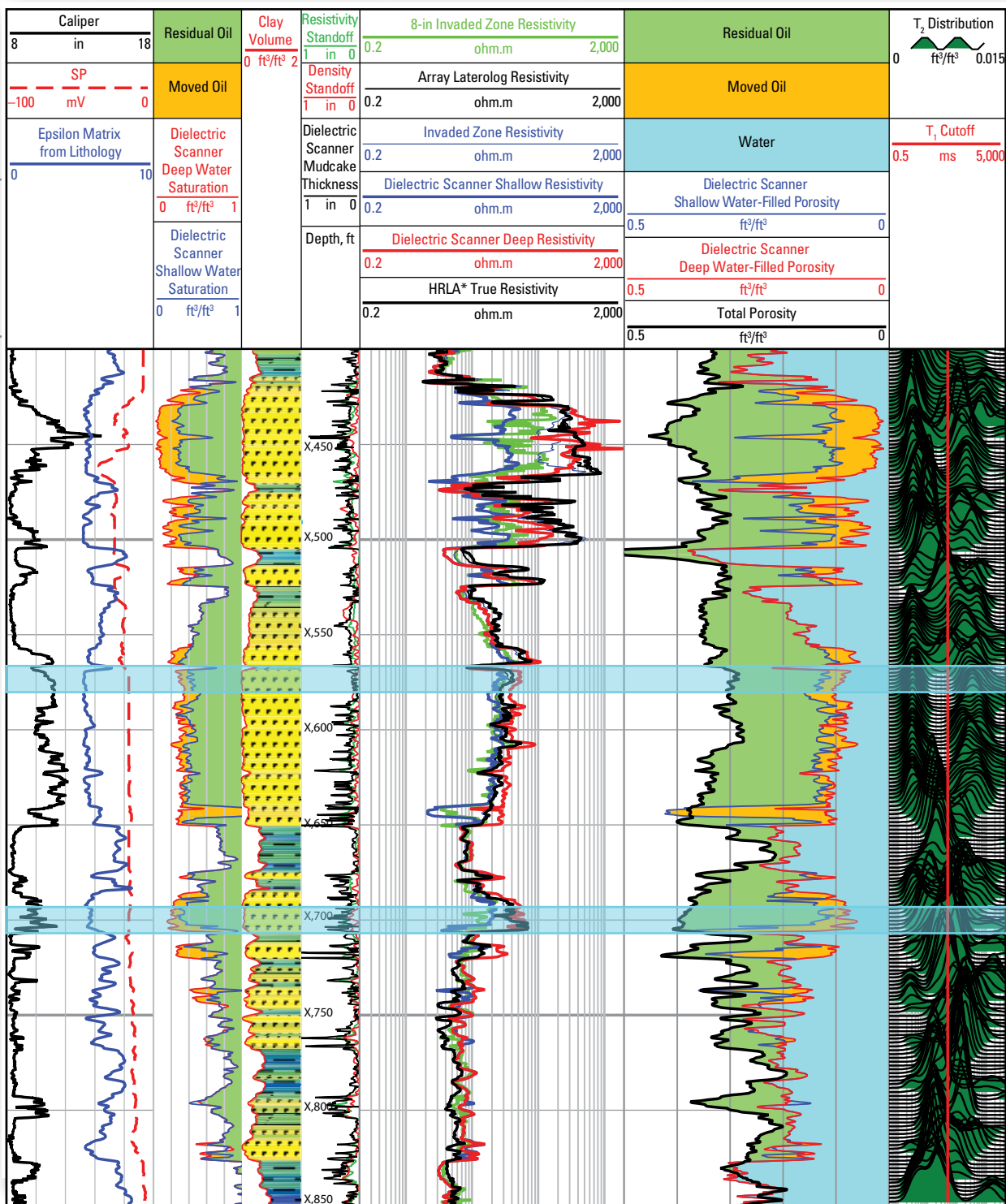
Объемный метод насыщения в карбонатах

Точная оценка нефтегазонасыщения карбонатов по влагоемкости, независимой от минерализации, и по структурной характеристике породы.





Подтверждение 95% Кно путем сопоставления оценок $\rho_{3\text{ЭП}}$ (R_{XO}). Оценка R_{XO} по данным Dielectric Scanner в данном карбонатном пласте близка к замеру R_{XO} стандартным методом (четвертая дорожка), что подтверждает 95% Кно.



образец керна,
глубина, X574фт,
насыщение - нефть



образец керна,
глубина, X701фт,
насыщение - нефть+вода



Подвижная высоковязкая нефть, подтвержденная по образцам бокового грунтоноса. Если по данным электрометрии (пятая дорожка) и по ЯМК (седьмая дорожка) не так легко отличить нефть от пресной пластовой воды ниже интервала X,430-X,500, то оценки объемов флюидов с помощью Dielectric Scanner (шестая дорожка) и рассчитанные по ним значения насыщенности (вторая дорожка) четко указывают на значительное количество подвижной высоковязкой нефти до глубины X,720 футов, что подтверждается образцами бокового грунтоноса.



Исследования диэлектрической дисперсии с помощью Dielectric Scanner позволили прирастить 45 м эффективных нефтенасыщенных толщин



С помощью стандартных методов ГИС не удавалось достаточно полно оценить продуктивность тонкослоистого объекта в нефтегазоносном бассейне Ориноко (Венесуэла). Измеряемые значения УЭС занижались из-за тонкой слоистости песчано-глинистых пород, что затрудняло выделение продуктивных коллекторов и приводило к занижению оценок насыщенности. Оценки пористости пород, насыщенных вязкими нефтями, полученные по ЯМК, были занижены, что, в свою очередь, значительно сказывалось на оценке насыщенности.

К тому же положение осложнялось кавернозностью стенок скважины, о чем свидетельствует кавернометрия (на первой дорожке). Тем не менее, прижимной зонд Dielectric Scanner достаточно плотно прилегал к породе, и неровность стенок скважины не повлияла на достоверность показаний прибора.

Высокий уровень УЭС (дорожка 5) в нефтенасыщенном интервале X,430 - X,500 футов наблюдался и в других скважинах данного участка. Однако, ниже этого интервала отмечаются стабильно низкие значения удельного сопротивления. Данные ЯМК (распределение T2) на седьмой дорожке также явно указывают на наличие нефти в верхнем интервале, однако с глубиной кажущаяся пористость снижается.

Данные Dielectric Scanner позволили снять неопределенность относительно коллекторских свойств нижнего интервала и позволили выделить подвижную нефть в интервалах суммарной толщиной 45 м (150 футов): от X,560 до X,650 футов, а затем от X,690 до X,720 футов. Анализ образцов, отобранных боковым грунтоносом, подтвердил результаты Dielectric Scanner.

В тонкослоистых разрезах он определяет объемы

Оценка влагоемкости с высоким вертикальным разрешением, и радиальное профилирование насыщения по многочастотным замерам без погрешностей, связанных с приближенностью оценок R_p и R_n в уравнении Дахнова-Арчи.

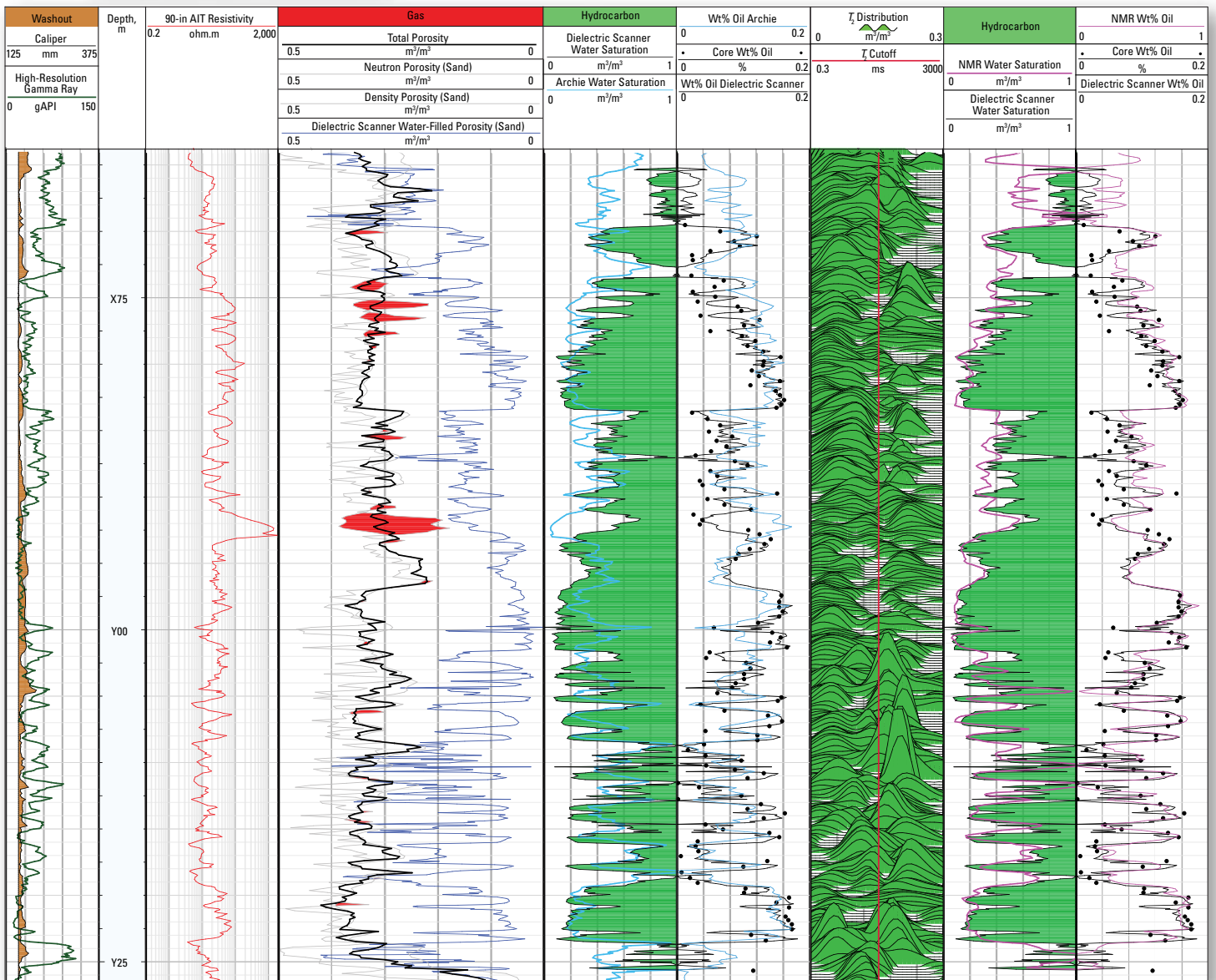




В битуминозных песках в Канаде было быстро и точно определено весовое процентное содержание битума

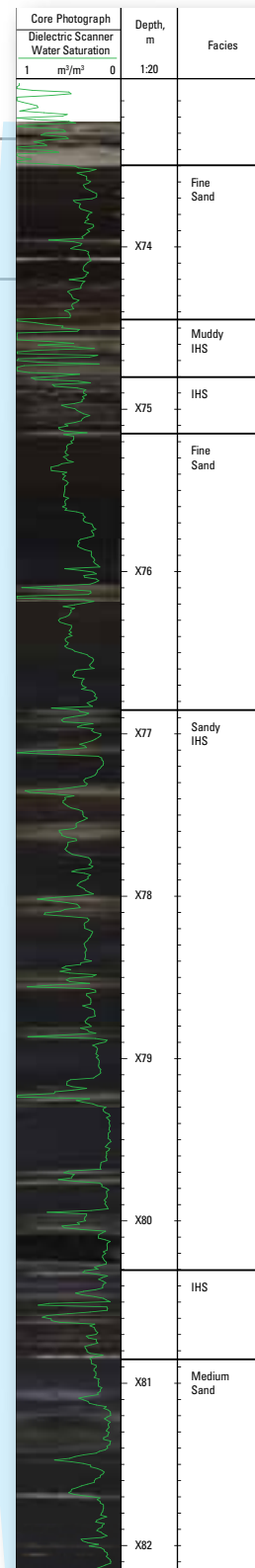
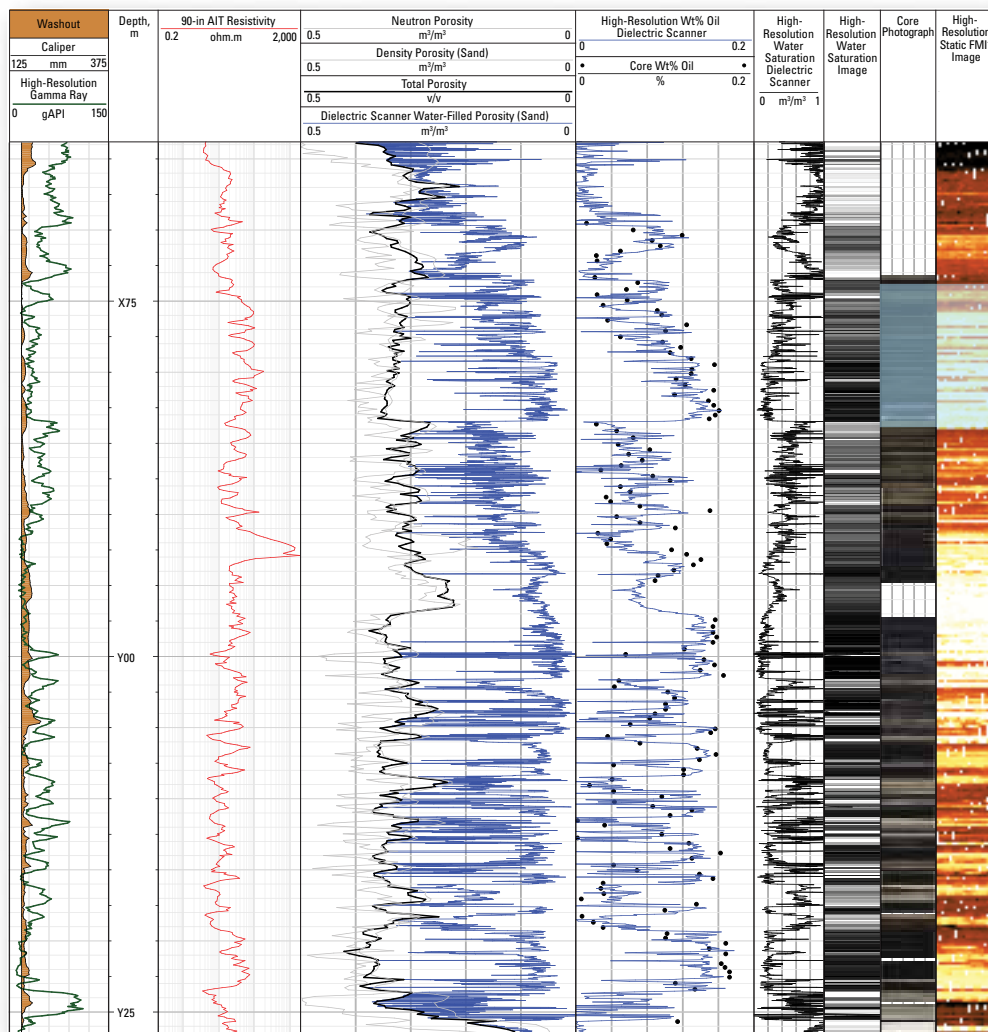


Из-за значительной изменчивости минерализации и удельного сопротивления пластовой воды в залежах высоковязкой нефти с тонкими глинистыми перемычками, канадской компании-оператору приходилось по несколько месяцев ожидать результатов анализа керна по методу Дина Старка. В отсутствие результатов анализа, позволявших вводить поправки в расчеты насыщенности традиционными методами, значение ρ_b принималось постоянным, что приводило к погрешностям в определении водонасыщенности в интервалах, не охарактеризованных керном.



Быстрые точные ответы. Оценки водонасыщенности и объема УВ, полученные по замерам диэлектрической дисперсии Dielectric Scanner, имеют большую точность и вертикальную разрешенность по сравнению с оценками по уравнению Дахнова-Арчи или по ядерно-магнитному каротажу.

На основании оценок влагосодержания по замерам диэлектрической дисперсии Dielectric Scanner, весовое содержание битумов точно определяется на несколько месяцев раньше, чем будут получены результаты лабораторных исследований керна. Операторы могут с полной уверенностью сокращать частоту отбора керна и количество точек анализа при планировании работ на месторождениях с большим фондом скважин.

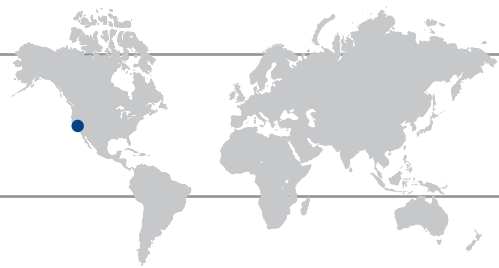


Высокая вертикальная разрешающая способность. Определение с высоким разрешением весового процентного содержания битума по данным Dielectric Scanner точно совпадает с результатами выполненного в дальнейшем анализа керна на четвертой дорожке даже в тонких глинистых интервалах, которые выглядят светлее на фотографии керна на черном фоне насыщенного битумом керна. IHS – косая гетеролитическая слоистость.

При исследовании пластов **высоковязкой нефти** он определяет объемы

Насыщенность высоковязкой нефтью и её подвижность определяется с высоким разрешением и не зависит от вязкости нефти и удельного сопротивления пластовой воды

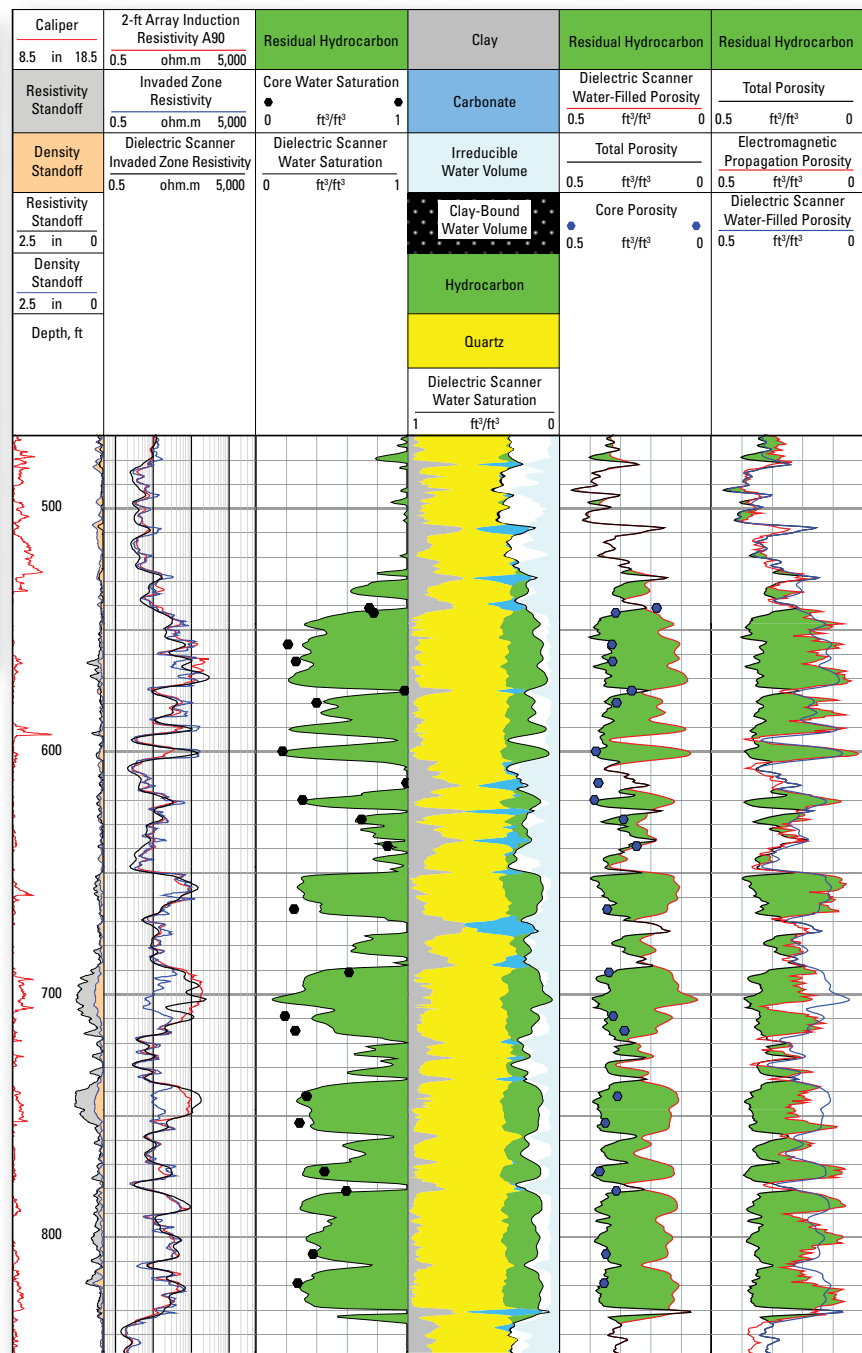




Пропущенный нефтенасыщенный интервал в размытых зонах залежи высоковязкой нефти

Размытые участки ствола скважины, вскрывшей залежь высоковязкой нефти на месторождении Симрик в Калифорнии, США, не позволяли качественно провести ГИС. Вымытые каверны вызвали расхождение кривых удельного сопротивления, которое можно принять за проникновение, как показано на отметках 700 и 745 футов на второй дорожке. Оценки влагоемкости по данным традиционного электромагнитного каротажа (аппаратура с жестким корпусом, работающая на одной частоте), вызывали сомнения, потому что представлялось маловероятным, что прибор плотно прилегал к

стенкам скважины при наличии в стволе таких каверн. Оценки влагоемкости и насыщенности, полученные по данным Dielectric Scanner (пятая и третья дорожки, соответственно), нечувствительны к кавернности ствола скважины. Достоверность полученных оценок насыщения подтверждается анализом образцов бокового керна (черные точки, дорожка 3). Получение точной оценки влагоемкости позволило на 23% снизить пессимистически завышенную водонасыщенность.



Точное определение удельного сопротивления и влагоемкости в кавернозном стволе скважины. Прижимной башмак Dielectric Scanner позволил получить достоверную оценку ρ_{3D} в размытом стволе, и доказать, что расхождение между другими двумя кривыми удельного сопротивления на второй дорожке не было обусловлено проникновением фильтрата бурового раствора. Аналогичным образом оценка влагоемкости по Dielectric Scanner, приведенная на пятой дорожке, является представительной, включая интервалы ствола с размытыми стенками, в отличие от данных, полученных аппаратурой предыдущего поколения.

Программа интерпретации и контроля качества данных Dielectric Scanner

Программный комплекс Dielectric Pro* обеспечивает контроль качества и полную интерпретацию данных Dielectric Scanner. После предварительной обработки и контроля качества первичных данных, программой производится полная инверсия замеров зондов разного размера и поляризации до получения характеристик диэлектрической дисперсии. В том же программном комплексе производится комплексная литолого-петрофизическая интерпретация данных имеющихся ГИС для получения оценок общей пористости и диэлектрической проницаемости твердой фазы породы. Эти результаты, совместно с характеристиками диэлектрической дисперсии, используются на завершающем этапе интерпретации, при котором по выбранной петрофизической модели оцениваются влагоемкость породы, минерализация воды и структурные характеристики.

Опираясь на тщательно разработанный, эффективный граф обработки, комплекс Dielectric Pro обеспечивает выполнение достоверной интерпретации в минимальные сроки даже для сложных условий.

Анализ поровых флюидов

- Определение остаточной насыщенности и минерализации воды в зоне проникновения с высоким вертикальным разрешением
- Радиальный профиль насыщения в залежах высоковязкой нефти или при небольшом радиусе зоны проникновения

Анализ свойств матрицы

- Карбонаты: комплексный параметр "mn" ($m=n$) непрерывно по разрезу для уточнения оценок насыщения по УЭС
- Глинистые песчаники: оценка ёмкости катионного обмена с высоким вертикальным разрешением для уточнения глинистости и электрических параметров

Дополнительные области применения

- Анализ тонкой слоистости
- Структурная анизотропия в очень тонких прослоях



Dielectric Scanner



Технические характеристики

Выходные данные	Относительная диэлектрическая проницаемость и проводимость на четырёх частотах
Скорость записи	3600 фут/ч [1,097 м/ч]
Вертикальная разрешающая способность [†]	1 дюйм [2.5 см]
Глубинность исследования	1 - 4 дюйма [2.5 - 10 см]
Точность на максимальной частоте	Соответствует влагоемкости 0.002 фут ³ /фут ³ (0.2 %) Диэлектрическая проницаемость: ±1% или ±0.1 Проводимость: ±1% или ±5 мСм/м
Диапазон измерения на максимальной частоте	Диэлектрическая проницаемость: 1 - 100 Проводимость: 0.1 – 3000 мСм/м
Совместимость	Комплексный каротажный прибор Platform Express* Большинство приборов для открытого ствола
Максимальная температура	302 °F (150 °C)
Максимальное давление	15000 фунт/кв. дюйм (103 МПа)
Наружный диаметр	4.77 дюйма (12.12 см)
Диаметр ствола скважины, минимальный	5.5 дюйма (14 см)
Диаметр ствола скважины, максимальный	22.0 дюйма (55.9 см)
Минимальное сужение	5.25 дюйма (13.3 см)
Тип бурового раствора	Как РВО, так и РНО
Длина	11.27 фута (3.44 м)
Масса	262 фунта (119 кг)
Прочность на растяжение	50000 фунтов (222411 Н)
Прочность на сжатие [‡]	4400 фунтов (19572 Н)
Способы спуска	На кабеле, на трубах (TLC), на тракторе

[†] 1 дюйм в зависимости от частоты

[‡] 8000 фунтов (35586 Н) с системой усиления для спуска на трубах (TLC)

www.slb.com/ds

Schlumberger