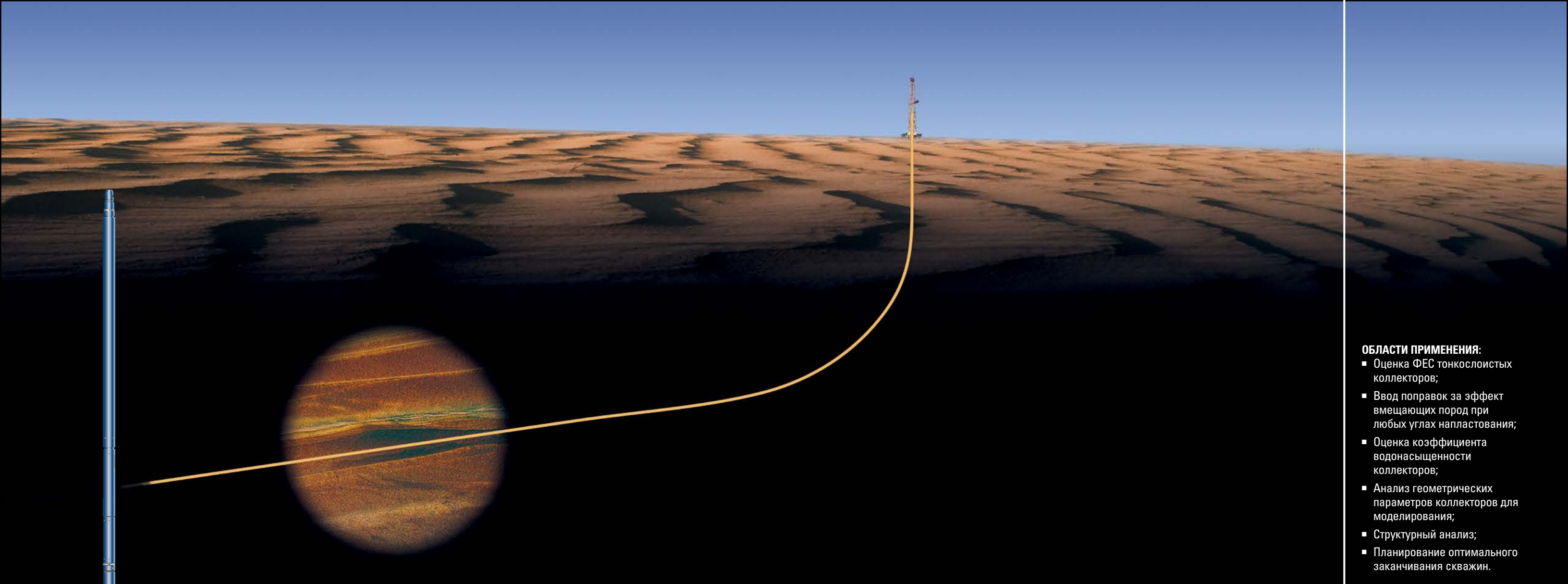


Прибор триаксиального
индукционного зондирования
Rt Scanner

www.slb.com/scanner



ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- Оценка ФЕС тонкослоистых коллекторов;
- Ввод поправок за эффект вмещающих пород при любых углах напластования;
- Оценка коэффициента водонасыщенности коллекторов;
- Анализ геометрических параметров коллекторов для моделирования;
- Структурный анализ;
- Планирование оптимального заканчивания скважин.

Прибор Rt Scanner позволяет проводить измерения проводимости в трех направлениях с несколькими радиусами исследований, выполнять корректную оценку нефтенасыщенности тонкослоистых низкоомных песчано-глинистых коллекторов.

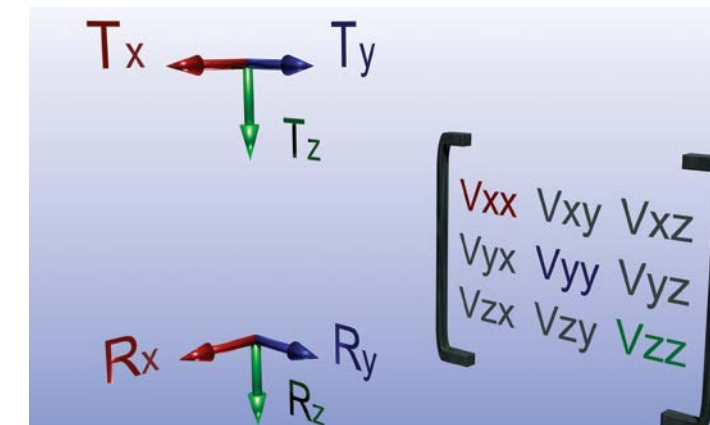
Результатами обработки данных триаксиального индукционного каротажа Rt Scanner являются: оценка УЭС вдоль напластования и ортогонально напластованию (горизонтальное R_h и вертикальное R_v , соответственно), а также – углы и азимуты падения напластований. Измерения в трех плоскостях с несколькими радиусами исследований позволяют получать, действительно, трехмерные характеристики пород. Рассчитываемые по таким данным значения коэффициента водонасыщенности позволяют наиболее корректно оценить запасы углеводородов, в частности, в условиях тонкого переслаивания песчано-глинистых отложений.

Компактный прибор имеет генераторную и несколько приемных триаксиальных станций, представляющих собой по три взаимно-ортогональных катушки с совмещенными центрами, что позволяет измерять тензоры электрических проводимостей на нескольких радиусах исследований. В результате обработки данных получают R_h и R_v с тремя радиусами исследований. Кроме этого, прибор имеет набор одноосных катушек для оценки влияния скважины на измерения, характеристики условий измерения и ввода в данные соответствующих поправок.

В дополнение к измерениям УЭС, в результате обработки данных получают значения углов и азимутов падения напластований, которые могут быть использованы для уточнения структурных построений. Кроме того, одним из результатов обработки данных прибора Rt Scanner является стандартный набор разноглубинных УЭС, полностью соответствующий измерениям многозондового ИК предыдущего поколения приборов (АИТ*). Это позволяет использовать новый прибор не в дополнение, а вместо прибора предыдущего поколения. Прибор совместим с большинством приборов компании для использования в необсаженных стволах скважин. При этом, общая длина компоновки приборов (со стандартным комплектом Platform Express) увеличится лишь на 2 м. Прибор Rt Scanner необходимо комплексовать с модулем инклинометрии (прибор GPIT) и механическим кверномером.

КАТУШКИ С СОВМЕЩЕННЫМИ ЦЕНТРАМИ

Ключевой особенностью прибора Rt Scanner, обеспечивающей уникальные характеристики измерений, являются катушки с совмещенными центрами. Возбуждение вихревых токов в вертикальной и горизонтальной плоскостях из общей точки, а также – измерение характеристик вторичных электромагнитных полей на общих точках глубин, позволяют получать свойства пород в трех измерениях. Несколько наборов приемных катушек с совмещенными центрами обеспечивают измерения с различными радиусами исследований. Получаемые измерения включают углы и азимуты падения напластований, а также - характеристики анизотропии УЭС пласта – критически важную информацию для оценки свойств в условиях низкоомных тонкослоистых песчано-глинистых коллекторов.



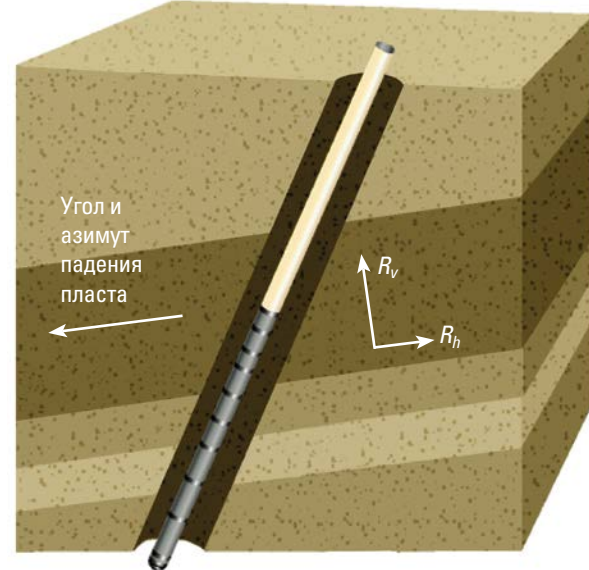
Генераторные и измерительные катушки прибора Rt Scanner с совмещенными центрами (слева) позволяют получать тензоры УЭС на каждой точке глубины – ценную информацию, особенно, в условиях тонкослоистого разреза.

Компактный прибор Rt Scanner имеет несколько триаксиальных зондов для трехмерных измерений проводимости пород.

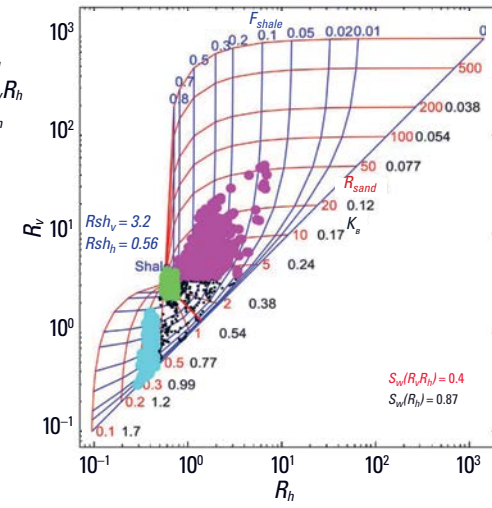
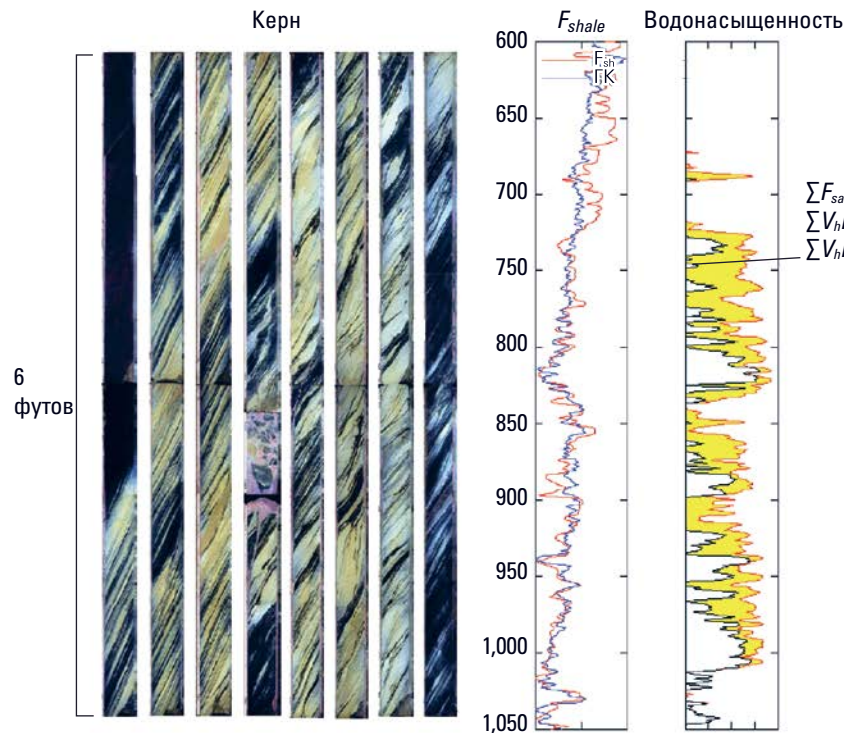
ДОСТОВЕРНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ ТОНКОСЛОИСТЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ.

Стандартные приборы индукционного каротажа позволяют измерять, главным образом, горизонтальное УЭС (R_h). Эти измерения приводят к некорректной оценке свойств в электрически-анизотропных разрезах, представленных тонким переслаиванием высокоомных нефте(газо)насыщенных песчаников и низкоомных глин. Низкоомные глины, в таких случаях, оказывают доминирующее влияние на измерения УЭС (также, как на ННК-т и некоторые другие методы ГИС), что приводит к заниженной оценке нефте(газо)насыщенности, а, зачастую, и к пропуску интервалов таких коллекторов.

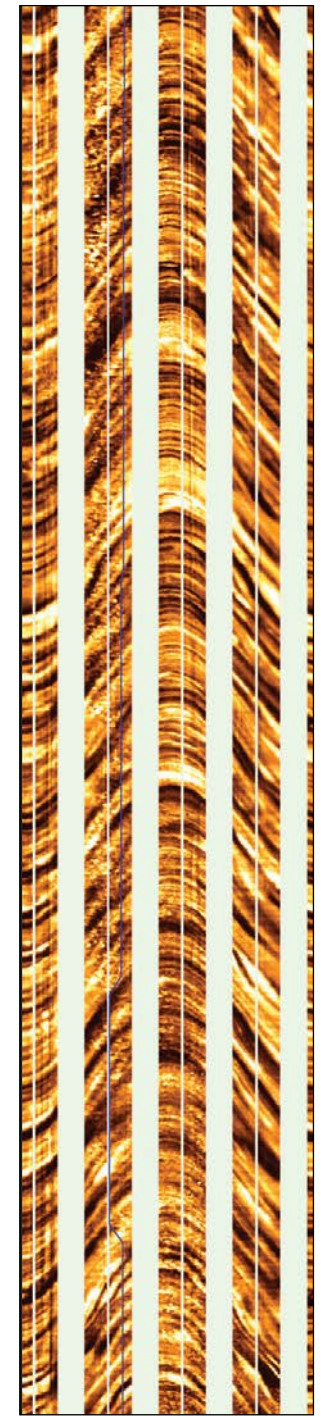
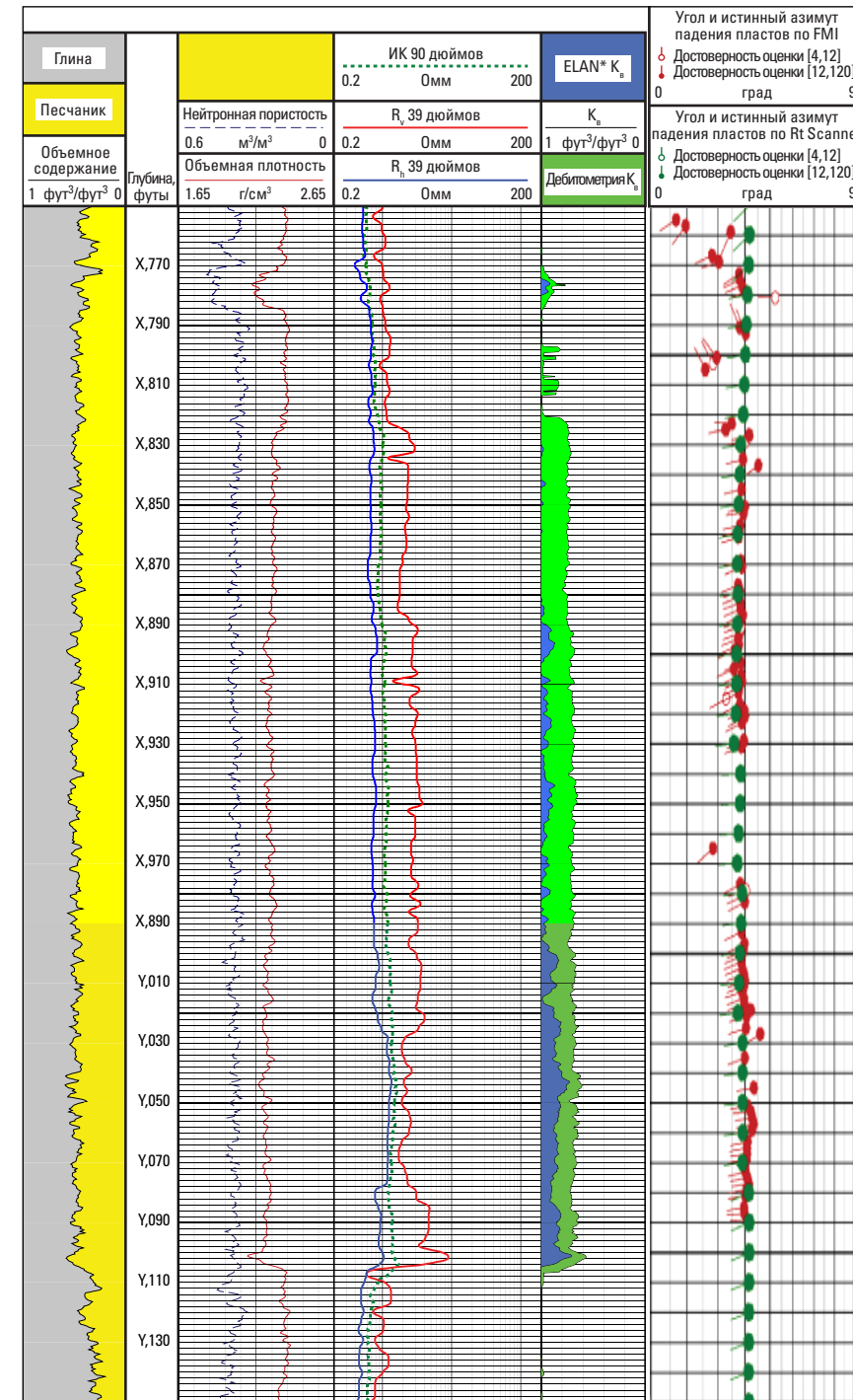
Прибор триаксиального индукционного каротажа позволяет получать как горизонтальное УЭС (R_h), так и вертикальное (R_v). Значения этих параметров получают вместе с оценками углов и азимутов падения напластований путем проведения одномерной инверсии данных, получаемых комплектом измерительных катушек прибора. Полученные данные позволяют рассчитывать УЭС доли пропластков песчаников (R_{sand}), исключая влияние низкоомных глин и учитывая относительные углы напластований. В результате получают высокоточную оценку нефте(газо)насыщенности коллекторов с учетом особенностей геометрии пластов.



Одномерная инверсия данных, получаемых набором соосных взаимно-ортогональных катушек позволяет получать горизонтальное (R_h) и вертикальное (R_v) УЭС, углы и азимуты падения напластований. R_h – УЭС породы в плоскости вдоль напластования, R_v – УЭС в плоскости перпендикулярно напластованию..

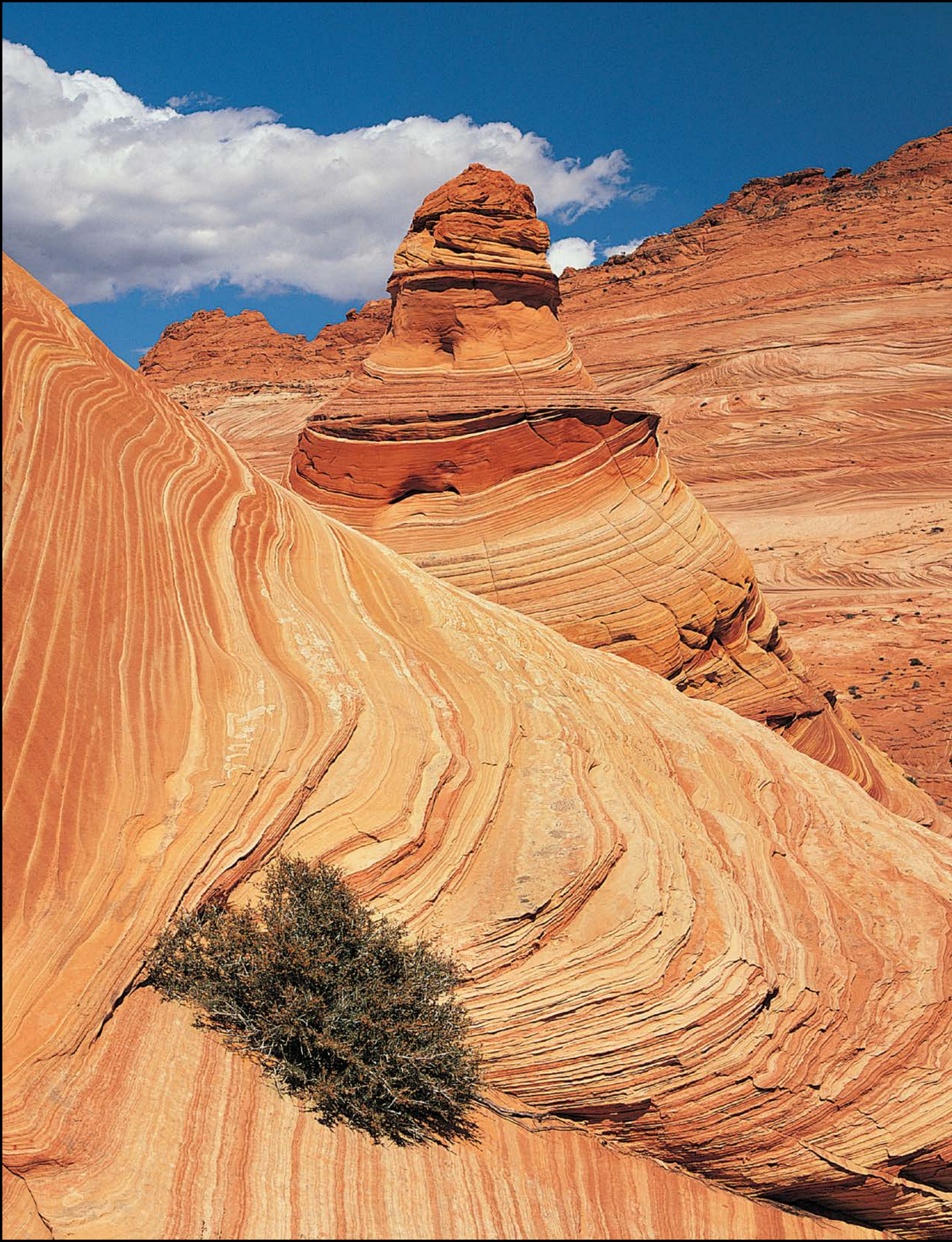


Палетка на графике зависимости $R_v=f(R_h)$ включает слоистую глинистость (F_{shale} , на треке слева) как один из параметров. Точки на графике, соответствующие глинам, водонасыщенным песчаникам и нефтенасыщенным песчаникам показаны, соответственно, зеленым, голубым и пурпурным цветами. Для каждой измеренной глубины по этому графику рассчитывается значение УЭС доли прослоев песчаника, из которого рассчитывается водонасыщенность песчаника. На треке водонасыщенности представлены значения данного параметра, получаемые по R_h (черная кривая), а также – по R_v и R_h (красная кривая). Для каждого значения глубины рассчитываются накопленные значения слоистой песчаности (ΣF_{sand}), линейного объема углеводородов, полученных только из R_h , а также – из R_v и R_h . Значения слоистой глинистости на треке F_{shale} хорошо коррелируются с фотографиями керна (интервал 850-950 футов).



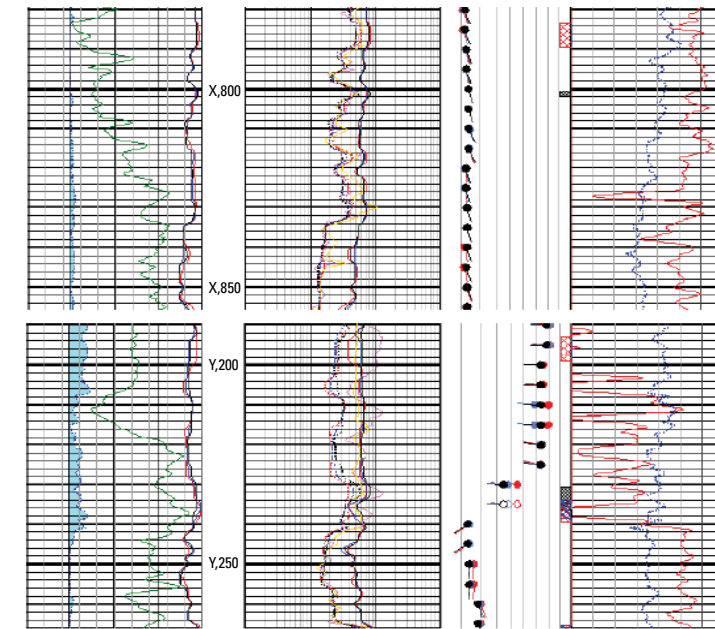
20 футов

Истинные свойства тонкослоистых нефтенасыщенных песчаников низкоомных песчано-глинистых пачек не могут быть корректно оценены приборами стандартного комплекса ГИС. На графическом планшете представлен пример одной из скважин, пробуренных в северной части Мексиканского залива. Справа от сводного планшета представлен имидж FMI интервала в 20 футов (6 метров), представленного тонкослоистыми песчано-глинистыми отложениями, залегающими с относительным углом в 60 градусов. Как видно на треке 2, тонкие пропластки глин оказывают существенное влияние на данные ННК-т и ГГК-п. Данные стандартного ИК также характеризуют, в основном, низкоомные глины. Однако, по результатам обработки данных Rt Scanner (R_v и R_h) четко выделяется интервал коллекторов, насыщенных углеводородами. Продуктивность интервала подтверждается данными промыслово-геофизических исследований (трек 4). Комбинация результатов оценки углов и азимутов падения напластований по данным Rt Scanner и микроимиджера FMI позволяет выполнить структурный анализ в изучаемом интервале.



ОЦЕНКА УГЛА ПАДЕНИЯ НАПЛАСТОВАНИЙ ДЛЯ ВВОДА ПОПРАВОК В ИЗМЕРЕНИЯ УЭС И РАСШИРЕННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

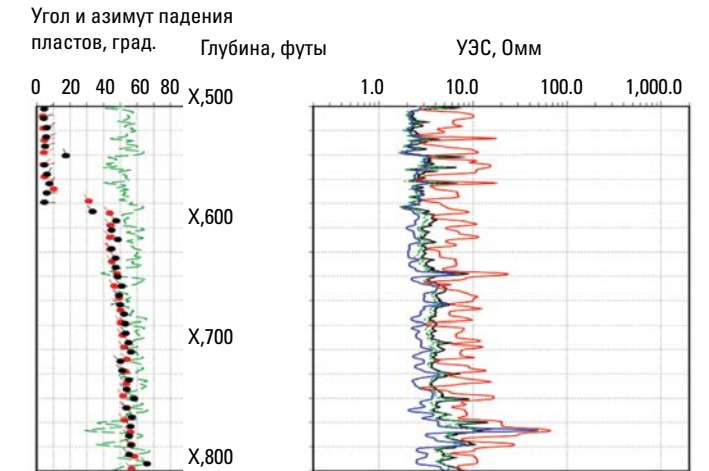
Благодаря тому, что Rt Scanner позволяет определять значения углов и азимутов падения напластований одновременно с оценкой УЭС в трех взаимно-ортогональных осях, в исходные данные могут вноситься дополнительные поправки: за эффект границ пластов, а также – за относительный угол напластований. Триаксиальные измерения прибора позволяют получать данные УЭС вдоль и перпендикулярно напластованию, а также – углы и азимуты падения пластов в широком диапазоне условий измерений: включая любые значения зенитного угла скважины (траектория скважины вплоть до параллельной напластованию), а также – в скважинах, бурящихся без бурового раствора.



Запись Rt Scanner в скважине без бурового раствора (заполненной воздухом) позволила выявить интервалы существенной анизотропии УЭС. Значения углов падения напластований, полученных по данным Rt Scanner совпадают с оценками структурных углов на керне даже в нижнем интервале, где присутствуют существенные размывы ствола скважины.

Значения углов и азимутов падения напластований рассчитываются каждые 10-50 футов (3-15 м). Несмотря на гораздо более низкое вертикальное разрешение, чем у пластовых микроимджеров или наклономеров, данные оценки углов и азимутов напластований позволяют получать очень полезную информацию о строении объектов исследований: границы пластов, структурные несогласия или разломы, секущие ствол скважины. Дополнительный стратиграфический анализ может быть проведен путем комплексирования данных Rt Scanner и микроимджера для применения в скважинах, бурящихся с раствором на углеводородной основе – OBMI*.

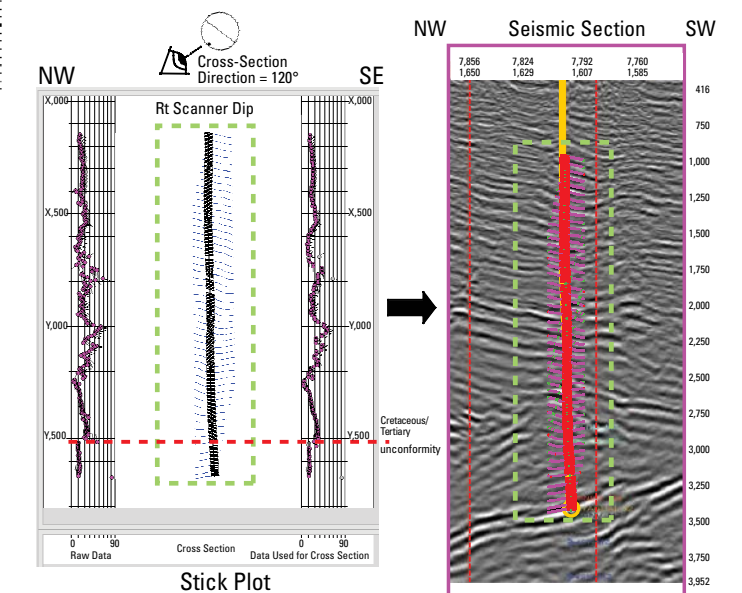
Диаграммы границ пластов по данным Rt Scanner могут использоваться для сопоставления с результатами обработки данных скважинной или поверхностной сеймики. Данные Rt Scanner, в комплексе с данными высокоразрешающей наклонометрии и результатами обработки сеймики существенно улучшают понимание геологического строения объектов разработки.



Угол и азимут падения пластов, град. Глубина, футы. УЭС, Омм.

Rt Scanner, рад. иссл. 54 дюйма
 OBM I
 GK
 gAPI
 IK 10 дюймов, Омм
 IK 90 дюймов, Омм
 R_h
 R_v

Оба прибора (Rt Scanner и OBM I) отмечают резкое изменение угла и азимута напластований на глубине X,580 футов, что свидетельствует о структурном несогласии на этой глубине. Резкая смена угла напластований заметна и по данным стандартного многозондового ИК (AIT): разноглубинные измерения УЭС (10 и 90 дюймов) по своим значениям совпадают с кривой R_h (Rt Scanner) выше глубины смены угла. Ниже этой глубины, где угол падения пластов имеет высокие значения, кривые стандартного ИК лежат между R_h и R_v по данным Rt Scanner. Совпадение значений R_v и R_h в тонкослоистых песчано-глинистых пачках является диагностическим признаком водонасыщенности коллекторов.



По результатам оценки углов напластований прибором Rt Scanner в скважинах А и Б была построена диаграмма наклонометрии с изображением границ пластов (Stick Plot). Далее, эта диаграмма была нанесена на сейсмический разрез для картирования коллекторов между двумя скважинами.

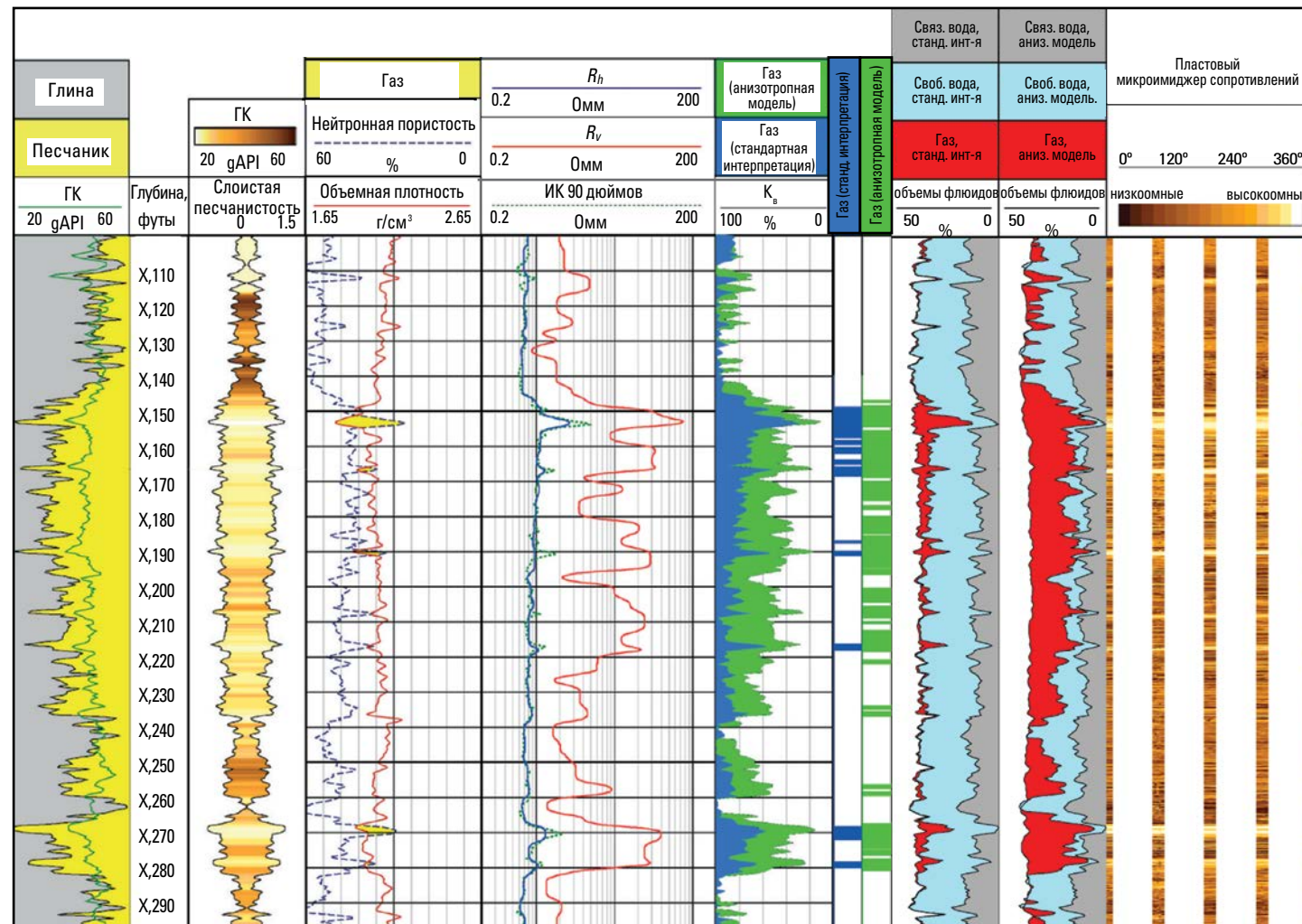
ОЦЕНКА ОБЪЕМА УГЛЕВОДОРОДОВ В ТОНКОСЛОИСТЫХ ПЕСЧАНИКАХ

Оценка коэффициента водонасыщенности тонкослоистых песчано-глинистых коллекторов по данным приборов индукционного каротажа, входящего в состав стандартного комплекса ГИС, зачастую, является существенно завышенной. Приборы стандартного индукционного каротажа позволяют измерять УЭС тонкослоистой пачки, сложенной песчаниками, алевролитами и низкоомными глинами вдоль плоскостей, перпендикулярных оси прибора. Мощности отдельных пропластков, как правило, составляет от нескольких миллиметров до десятков сантиметров. Таким образом, толщина отдельных пропластков, в большинстве случаев, ниже вертикальной разрешающей способности приборов ИК. Результирующее УЭС, оцениваемое по данным прибора ИК, при этом, будет, в наибольшей степени, определяться сопротивлениями низкоомных глин. Это приводит к получению заниженных оценок коэффициентов нефте(газо)насыщенности по данным стандартных приборов ИК.

С целью корректной оценки значений коэффициента водонасыщенности тонкослоистых песчано-глинистых коллекторов были использованы результаты обработки данных триаксиального индукционно-

го каротажа Rt Scanner: оценки вертикального (R_v) и горизонтального (R_h) УЭС. При обработке в данные были внесены все необходимые поправки, включая поправки за границы пластов и за углы падений напластований. При выполнении интерпретации данных использовалась модель, учитывающая коэффициент анизотропии глин, определенный в интервале вышележащих опорных глин. В результате, вместо значений водонасыщенности, близких к 100% (получаемых по результатам интерпретации стандартного ИК), получены значения этого параметра, составляющие от 20% до 50%.

Результаты оценки водонасыщенности по данным Rt Scanner по своим значениям оказались очень близкими к таковым, определяемым независимо по данным стационарных исследований ЯМК и на образцах керна. Последующий отбор проб пластовых флюидов испытателем пластов на кабеле подтвердил наличие углеводородов в изучаемом интервале, продуктивность интервала подтверждена последующим опробованием испытателем пласта, спущенным на колонне бурильных труб. Без корректной оценки водонасыщенности, полученной по данным Rt Scanner, потенциал этого тонкослоистого песчано-глинистого коллектора был бы оценен неверно и, вероятнее всего, объект был бы пропущен.



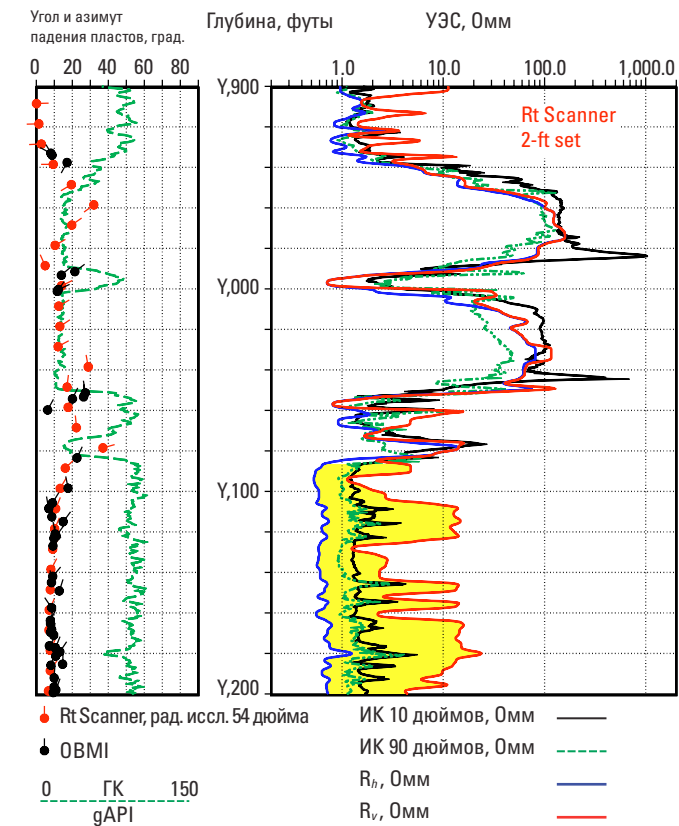
Сопоставление результатов интерпретации данных Rt Scanner с использованием анизотропной модели пород со стандартной интерпретацией данных ИК. По результатам интерпретации стандартного ИК большая часть продуктивных интервалов коллекторов могла быть пропущена (на треках 6 и 7 показаны интервалы коллекторов по результатам интерпретации, соответственно, стандартного ИК и данных Rt Scanner по анизотропной модели). Характер насыщения коллекторов по результатам совместного анализа данных ННК-т и ГТК-п определен как газ (пониженные значения объемной плотности, пониженное водородосодержание в интервалах X150-X155 футов, X188-X192 фута, X268-X271 фут).

ВНЕСЕНИЕ ПОПРАВОК ЗА ВЛИЯНИЕ ГРАНИЦ ПЛАСТОВ И ВЫСОКИЕ ЗНАЧЕНИЯ УГЛОВ ПАДЕНИЯ НАПЛАСТОВАНИЙ

Границы пластов влияют на измерения индукционного каротажа, особенно, в интервалах тонкослоистых песчано-глинистых отложений.

Триаксиальный индукционный каротаж Rt Scanner был проведен для оценки потенциала низкоомных коллекторов комплекса русловых отложений. По данным Rt Scanner в нижней части разреза, вскрытого скважиной, были выделены низкоомные нефтенасыщенные коллектора. В данные Rt Scanner были введены специальные поправки для устранения влияния границ пластов, выполнен учет угла падения пластов (на данных стандартного многозондового

ИК АIT эти эффекты отмечаются на глубинах X990 и X040 футов). Полученные по данным Rt Scanner значения УЭС пласта в 4 раза выше, чем по данным стандартного ИК. Таким образом, данные триаксиального ИК позволили корректно рассчитать нефтенасыщенность и эффективную нефтенасыщенную мощность коллекторов и, как следствие, выполнить корректный расчет линейного запаса.



А

Б

По дальнему зонду стандартного ИК (радиус исследований 90 дюймов) отмечаются пониженные значения УЭС из-за влияния близлежащих пропластков глин. По данным ближнего зонда ИК (радиус исследований 10 дюймов) в интервале А отмечается влияние границ пластов на измерения. При стандартной обработке данных Rt Scanner осуществляется учет влияния границ пластов и угла падения напластований. В интервале Б по данным Rt Scanner выделяются низкоомные нефтенасыщенные коллектора, которые были бы пропущены при интерпретации стандартного комплекса ГИС.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНЫХ УГЛОВ ДЛЯ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ТУРБИДИТНЫХ КАНАЛОВ.

Недропользователь планировал пробурить скважину по продуктивному интервалу турбидитного песчаника на одном из месторождений углеводородов Мексики. Однако, данных сейсмических исследований не хватало для прослеживания этого извилистого песчаного тела. По данным Rt Scanner были оценены углы и азимуты падений напластований в интервале интереса. Комплексная интерпретация этих данных совместно с данными микроимиджера показала, что песчаное тело образовано тонкослоистыми аккреционными отложениями, образовавшимися в результате миграции относительно извилистых подводных каналов вниз по течению и латерально. В этом случае, азимуты падения подстилающих пластов аргиллитов соответствуют направлению течения канала.

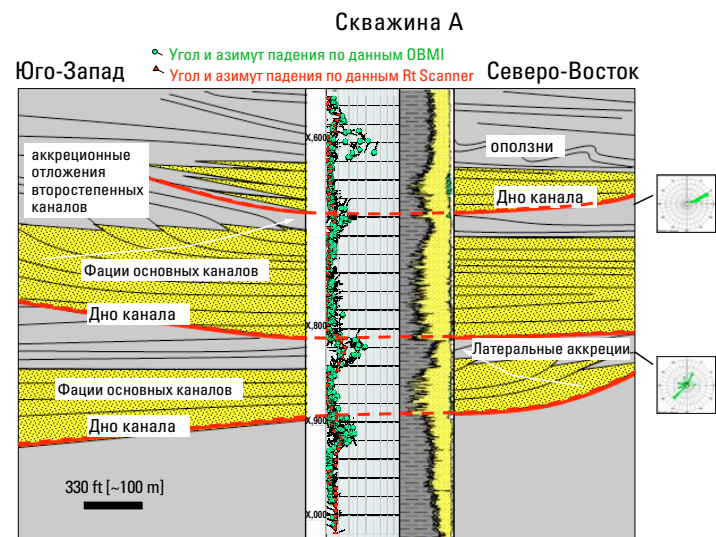
По результатам оценки направления распространения турбидитных каналов, было принято решение о бурении горизонтального ствола в северо-восточном направлении от пилотного. Траектория проводки ствола была спланирована по результатам оценки структурных углов в пилотном стволе. Горизонтальный ствол был успешно проведен по песчаному телу турбидитного потока.

УСПЕШНОЕ ГЛУБОКОВОДНОЕ БУРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ В ТОНКОСЛОИСТЫХ ПЕСЧАНИКАХ.

По данным стандартного комплекса ГИС тонкослоистый песчано-глинистый разрез турбидитных отложений близ побережья Западной Африки был недостаточно хорошо охарактеризован для того чтобы выполнить уверенное планирование боковых горизонтальных стволов. Дополнительные осложнения вызваны предположениями о вероятной деформации напластований вблизи солевых отложений, а также тем, что интерпретация сейсмических данных была неоднозначной по причине низкого разрешения.

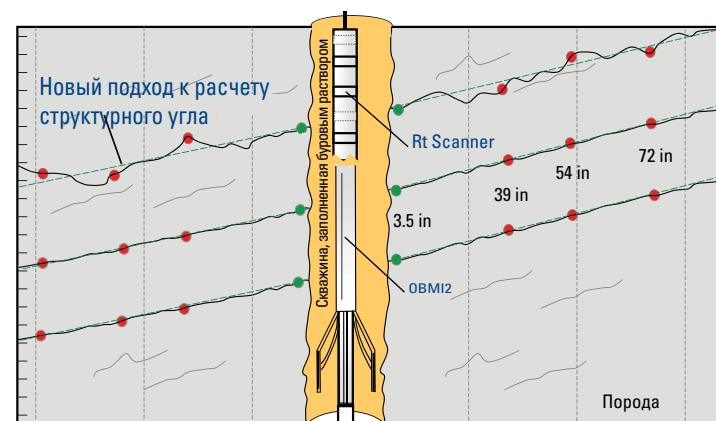
Для решения проблемы специалисты Шлюмберге предложили выполнить оценку структурных углов приборами с различными радиусами исследований. Была выполнена регистрация данных двойной модификацией пластового микроимиджера (OBMI2*) и прибором тиаксиального индукционного каротажа Rt Scanner в скважине, заполненной буровым раствором на нефтяной основе. По данным OBMI2 выполнена оценка структурных углов вокруг скважины с радиусом исследований 3.5 дюйма (8.9 см), а по данным Rt Scanner – выполнена оценка углов и азимутов падения пластов с тремя радиусами исследований: 39, 54 и 72 дюйма (0.99, 1.37 и 1.83 м). Следует отметить, что на оценку структурных углов прибором Rt Scanner не влияют неровности и размывы стенок ствола скважины.

Департамент обработки данных и консалтинговых услуг компании Шлюмберге впервые применил усовершенствованную методику расчета структурных углов с использованием комплексного анализа измерений двух методов. Первым шагом была оценка достоверности оценки углов и азимутов напластований по данным Rt Scanner относительно характеристик, оцениваемых по данным микроимиджера в наиболее изученном интервале объекта интереса. Далее, было выполнено сопоставление получаемых структурных углов с результатами обработки данных вертикального сейсмопрофилирования с целью перехода от масштаба скважины к более крупномасштабным вариациям в пласте. Стандартный метод осреднения значений был применен для второго набора структурных углов (оцененных по данным микроимиджера) для аналогичного сопоставления. По результатам интерпретации обнаружилось, что при увеличении радиуса исследований



Как показано на круговых диаграммах справа, по результатам оценки структурных углов по данным Rt Scanner, турбидитные каналы проходят в направлении с северо-востока на юго-запад.

значения структурных углов уменьшаются. Такая же тенденция изменений структурных углов отмечена и на данных вертикального сейсмопрофилирования. В результате осреднения значений структурных углов, полученных на различном удалении от стенок скважины, были получены наиболее реалистичные их значения, которые, впоследствии, были использованы при структурном моделировании. Используя полученную структурную модель, недропользователь успешно пробурил горизонтальную скважину без каких-либо осложнений.



Новый подход к оценке значений структурных углов включает совместный анализ измерений, получаемых с различными радиусами исследований. Зеленые точки – углы падения пластов по данным микроимиджера OBMI2; красные точки – углы падения пластов по данным измерений прибором Rt Scanner на различных радиусах исследований. Зеленым пунктиром показаны плоскости напластований, оцененные по данным четырех разноглубинных измерений структурных углов.



Технические данные†

Результаты обработки данных	R_v , R_H , данные 5-ИК (AIT), ПС, углы и азимуты напластований
Макс. скорость записи	1097 м/ч [3600 фут/час]
Возможность комбинирования	Platform Express, большинство приборов ГИС в открытом стволе
Макс. температура	150 градС [302 градF]
Макс. давление	137895 кПа [20000psi]
Мин. диаметр скв.	152.4 мм [6 дюймов]
Макс. диаметр скв.	508 мм [20 дюймов]
Наружный диаметр прибора	98.4 мм [3.875 дюйма]
Длина прибора†	5.97 м [19.6 футов]
Вес прибора (в воздухе)	183 кг [404 фунта]
Предельное натяжение†	111205 Н [25000 фунтов]
Предельное сжатие‡	26689 Н [6000 фунтов]

† Прибор предполагает использование специальных отклонителей при выполнении работ.

‡ Прибор используется в компоновке с прибором инклинометрии (GPII)

§ Значения предельно-допустимых значений установлены при температуре 150 градС и давлении 0 кПа