

Производственный опыт

УДК 550.832

P. T. Хаматдинов
ООО "Нефтегазгеофизика"

КОМПЛЕКС АВТОНОМНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛОГИХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

Рассмотрены набор приборов автономной аппаратуры, предлагаемых для исследования пологих и горизонтальных скважин, технические характеристики и область применения. На основе скважинных измерений показаны возможности и ограничения методов для различных горно-геологических условий.

Ключевые слова: скважина, автономные приборы, комплексы методов, возможности, ограничения.

Качество строительства горизонтальных скважин и боковых стволов зависит от точности их проводки и учета вертикальной и латеральной неоднородности проектного пласта. Современные забойные телесистемы MWD позволяют в большинстве случаев обеспечить проектную точность проводки ствола скважин.

Учет вертикальной и латеральной неоднородности пласта по коллекторским свойствам – задача достаточно сложная. При моделировании объектов разработки не всегда достигается необходимая точность прогноза распространения коллектора по латерали в направлении проектного ствола в случае прерывистых пластов и сложно построенных коллекторов. В подобных случаях горизонтальный ствол скважины пересекает породы с различными коллекторскими свойствами, появляются зоны замещения и выклинивания. В частности, кол-

лекторы месторождений Западной Сибири характеризуются прерывистостью и значительным изменением толщин по площади залежи.

Большинство разрабатываемых крупных нефтегазовых месторождений находится на поздних стадиях разработки с высокой степенью обводненности добываемой продукции. При наличии неоднородности и прерывистости пластов степень их выработки значительно меняется по площади залежи. Горизонтальное положение ствола скважин может проходить в проектном пласте по интервалам с различным насыщением, пересекать заводненные интервалы.

При завершении бурения дальнейшие мероприятия по выбору интервалов освоения и обустройству скважины проводятся с учетом наличия продуктивных зон коллекторов. Информационное обеспечение оценки коллекторских свойств по горизонтальному положению при этом достигается проведением различных комплексов ГИС.

Исследования проводятся автономными приборами, спускаемыми на бурильных трубах. К настоящему времени по большинству пробуренных горизонтальных скважин комплекс ГИС включает изопараметрический каротаж аппаратурой ВИКИЗ, набор симметричных градиент-зондов, нейтронный каротаж, интегральный гамма-каротаж и инклинометрию.

Применяемые методы решают поставленную задачу частично и в большей степени на качественном уровне, и по физическим параметрам имеют ограничения при применяемой технологии проводки скважины.

На указанные выше методы электрического и нейтронного каротажа существенное влияние оказывают высокая минерализация бурового раствора и кавернозность скважин.

Кроме того, в терригенных полимиктовых коллекторах Западной Сибири наблюдается незначительная дифференциация по водородо-содержанию аргиллитов, алевролитов и песчаников, что затрудняет литологическое расчленение разреза.

В сложно построенных карбонатных и эфузивных коллекторах комплекс градиент-зондов и электромагнитные методы практически не несут необходимой информации за счет высокого электросопротивления пород.

В связи со сложностью разреза при бурении горизонтального ствола в прерывистых пластах и сложно построенных коллекторах необходим комплекс ГИС, обеспечивающий получение количественных

параметров коллекторских свойств с точностью, сопоставимой при исследовании приборами на кабеле.

В ООО “Нефтегазгеофизика” серийно изготавливают полный перечень автономных приборов для выполнения следующих методов ГИС:

- инклинометрия (DL);
- двухзондовый боковой каротаж (2БК);
- многозондовый индукционный каротаж (5ИК);
- гамма-гамма-каротаж плотностной (6ГГК-П);
- компенсированный нейтронный каротаж (ЗНК);
- интегральный гамма-каротаж (2ГК);
- спектрометрический гамма-каротаж (СГК);
- акустический каротаж (АК);
- акустический профилемер на отраженных волнах (АП).

Каждый прибор является самостоятельным. Специальные соединительные устройства на концах прибора позволяют состыковать приборы друг с другом путем вертикальной сборки на устье скважины. Конструкция межприборного соединения обеспечивает возможность изгиба до 5°, что облегчает прохождение сборкой приборов участков интенсивного набора кривизны скважиной. Варианты комбинирования приборов для выполнения комплекса за две спускоподъемные операции приведены на рис. 1 и 2.

С целью привязки зарегистрированных данных к глубине каждый прибор имеет часы реального времени, показания которых записываются в каждый кадр данных. Эти часы перед началом спускоподъемных операций синхронизируются с часами реального времени обрабатывающего комплекса. Кроме того, приборы, по показаниям которых трудно отбивать интервалы стоянок, содержат в своем составе датчики акселерометров.

Привязка данных по глубине осуществляется одним из трех способов:

- по промеру бурового инструмента с использованием записанной в приборах информации о стоянках;
- по результатам измерений глубины наземными датчиками глубины, веса инструмента и положения клиньев станции ГТИ;
- по результатам измерений глубины автономным глубиномером, часы которого также синхронизируются с часами обрабатывающего комплекса.

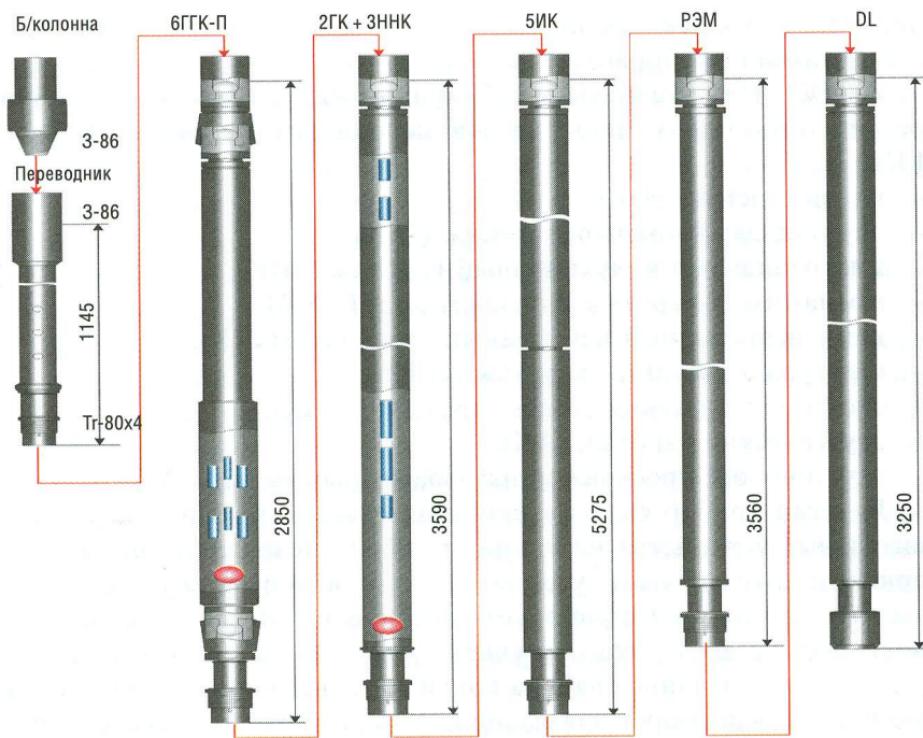


Рис. 1. Варианты сборок автономных приборов. Вариант 1. РЭМ – разделитель электромагнитный

Тестирование приборов, подготовка к каротажу, считывание данных из приборов в компьютер производятся с использованием специального кабеля через USB-порт.

Перечень имеющихся автономных приборов, решаемые задачи и параметры, получаемые для геологической интерпретации, приведены в табл.

К настоящему времени в силу различных организационных и экономических причин имеющиеся приборы поставлены производственным геофизическим предприятиям в различном сочетании. Полного комплекса автономных приборов ни в одном из промыслового-геофизических предприятий не имеется.

Анализ получаемой геофизической информации и результаты геологической интерпретации проведены по каждому методу в различ-

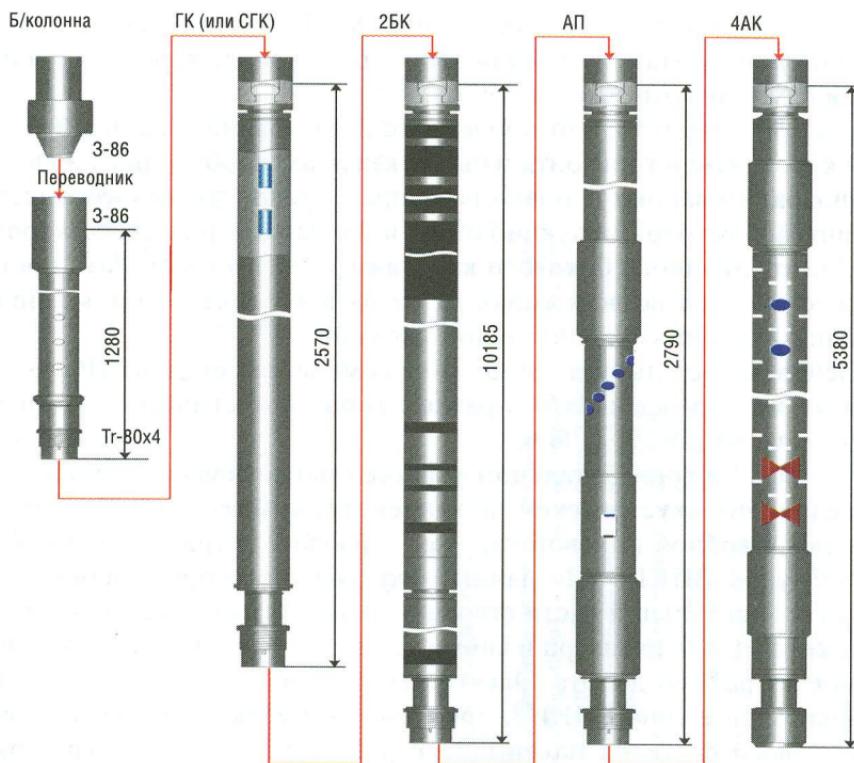


Рис. 2. Варианты сборок автономных приборов. Вариант 2

ных скважинах. Интерпретация получаемых данных проводилась с минимальным количеством методов, примененных в каждой скважине.

Анализ полученных данных показал высокую эффективность комплекса при решении поставленных задач. В литологически неоднородных коллекторах Западной Сибири предлагаемые электрические методы индукционного и бокового каротажа в сочетании с радиоактивными методами и учетом влияния профиля ствола горизонтального участка скважины позволяют выделить наиболее проницаемые интервалы, оценить коэффициенты общей и эффективной пористости. Получаемые при этом количественные параметры по точности сопоставимы с данными кабельных приборов в вертикальных и наклонных скважинах.

В сложно построенных карбонатных и эфузивных коллекторах из комплекса методов можно исключить индукционный каротаж.

Необходимые параметры для геологической интерпретации получаются по результатам измерений двойного бокового каротажа, радиоактивных и акустических методов.

Следует отметить, что проведение исследований двойным боковым каротажом в горизонтальных скважинах, пробуренных на высокоминерализованных буровых растворах, предпочтительнее электромагнитных методов индукционного и изопараметрического каротажа. Метод двойного бокового каротажа позволяет выделить проницаемые прослои во всех типах разрезов и коллекторов для данных условий бурения горизонтальных скважин.

Основные результаты применения комплекса методов ГИС на различных месторождениях и в разных горно-геологических условиях приведены на рис. 3, 4, 5, 6.

На рис. 3 в горизонтальном участке ствола скважины приведены исследования акустической профилеметрии, нейтронный и гамма-каротаж, двойной боковой каротаж и изопараметрический каротаж аппаратурой ВИКИЗ. По данным акустического профилемера диаметр горизонтальной части ствола отличается от номинального, наблюдается наличие каверн и синусоидальных отклонений от номинала за счет работы долота. Электромагнитные методы, особенно высокочастотные типа ВИКИЗ, при наличии высокоминерализованного бурового раствора максимально реагируют на ближнюю зону и искажены синусоидальными аномалиями против пласта-коллектора. Подобная картина отмечается на рис. 5. Показания нейтронного каротажа искажены влиянием диаметра ствола скважины до 2–3% по водородосодержанию. Наиболее информативны данные двойного бокового каротажа, позволяющие по приращению на зондах с высокой степенью достоверности выделять проницаемые интервалы. При наличии незначительной зоны проникновения показания большого зонда БК позволяют оценивать характер нефтегазонасыщенности.

На рис. 4 приведены результаты исследований комплексом методов радиоактивного каротажа (НКТ, ГК) и многозондового индукционного каротажа (5ИК).

Замеры индукционного каротажа в меньшей степени подвержены влиянию ближней зоны ствола скважины из-за меньшей по сравнению с ВИКИЗ вертикальной разрешающей способности и использования более низких частот. Искажения отмечаются только на коротких зондах. Длинные зонды, имеющие высокую глубинность исследо-

Таблица

Основные характеристики автономных приборов

Марка прибора	Область применения	Решаемые задачи	Измеряемые параметры	<i>Лягуннхочтп MетроА, м</i>	<i>Бептикархое расчленение, m</i>	<i>Днамикою намесою</i>	<i>Бептикархин метроф</i>	<i>Лягуннхочтп M</i>
1	2	3	4	Зонд БК _б	0,2– 5000 Ом·м	0,15	0,80	7
Прибор двойного бокового каротажа автономный 2БК (БК-3+БК-5)-А	Для исследования сильнопологих и горизонтальных участков открытого ствола нефтяных и газовых скважин, заполненных буровым раствором на водной основе с сопротивлением от 0,03 до 20 Ом, с номинальным размером ствола до 300 мм	Выделение пластов и определение зоны проникновения, определение УЭС пласта и зоны проникновения. Выделение коллекторов, оценка характера нефтегазонасыщенности	Зонд БК _м	0,2– 5000 Ом·м	0,15	0,33		
Прибор индукционного каротажа автономный БИК-А	Для исследования сильнопологих и горизонтальных участков открытого ствола нефтяных и газовых скважин, заполненных любым буровым раствором без магнитных добавок, с номинальным диаметром скважины до 400 мм	Выделение электрически однородных пластов и определение глубины зоны проникновения. Определение УЭС неизменной части пласта и промытой зоны. Определение продольного УЭС и оценка вертикальной анизотропии непроницаемых пластов и пластов без зоны проникновения. Оценка характера нефтегазонасыщенности	Каналы активный, реактивный ЗИ 0,3 ЗИ 0,5 ЗИ 0,85 ЗИ 1,26 ЗИ 2,05	3–2000 мСм/м	0,35– 2,50	0,40– 3,00		

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
Прибор радиоактивного каротажа автономный (2ГК+ЗННК)-А	Для исследования сильнопологих и горизонтальных участков открытого ствола скважин диаметром 120–350 мм	Литологическое расчленение разреза. Определение емкостно-фрикционных свойств и минерального состава горных пород	Водородосодержание пород, естественная гаммаактивность пород	1–40%	0,80	0,20–0,40
Прибор плотностного гамма-гамма-каротажа автономный 6ГК-П-А	Для исследования сильнопологих и горизонтальных участков открытого ствола, заполненных буровым раствором любого состава, скважин диаметром до 196 мм	Литологическое расчленение разреза. Определение коэффициентов проницаемости	Объемная плотность пород	1,7–3,0 г/см ³	> 0,20	0,50
Прибор акустического каротажа автономный 4АК-А	Для исследования сильнопологих и горизонтальных участков открытого ствола, заполненных буровым раствором любого состава, скважин диаметром 127–216 мм	Литологическое расчленение разреза по упругим свойствам горных пород. Определение коэффициентов и типов пористости. Выделение проницаемых зон в сложно построенных коллекторах. Определение модулей упругости	Интервальное время продольной и поперечной волн	100–500 мкс/м 200–500 мкс/м	> 0,50	0,20–0,35
Прибор интегрального гамма-каротажа автономный ГК-А	Для исследования сильнопологих и горизонтальных участков ствола, заполненных буровым раствором любого состава с содержанием NaCl не более 300 г/м, в скважинах диаметром до 400 мм	Литологическое расчленение разреза. Определение коэффициентов глинистости	Естественная гаммаактивность пород	0–250 мкР/ч	0,80	0,40

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7
Прибор акустического профилемера автономный АСПГ (9АП-А)	Для исследования сильнопологих и горизонтальных участков ствола, заполненных буровым раствором на водной или нефтяной основе плотностью до 1,2 г/см ³ , в скважинах диаметром 127–216 мм	Определение профиля ствола скважины по восьми внутренним радиусам в каждом поперечном сечении	Профиль ствола скважин	55–200 мм	0,10–0,20	—
Автономный инклинометр ИММН-90А (DL)	Для исследования необсаженных сильнопологих и горизонтальных участков ствола скважин, заполненных буровым раствором на немагнитной основе	Определение пространственных координат ствола скважины	Зенитные углы наклона. Магнитные азимуты	0–180° 0–360°	— —	—

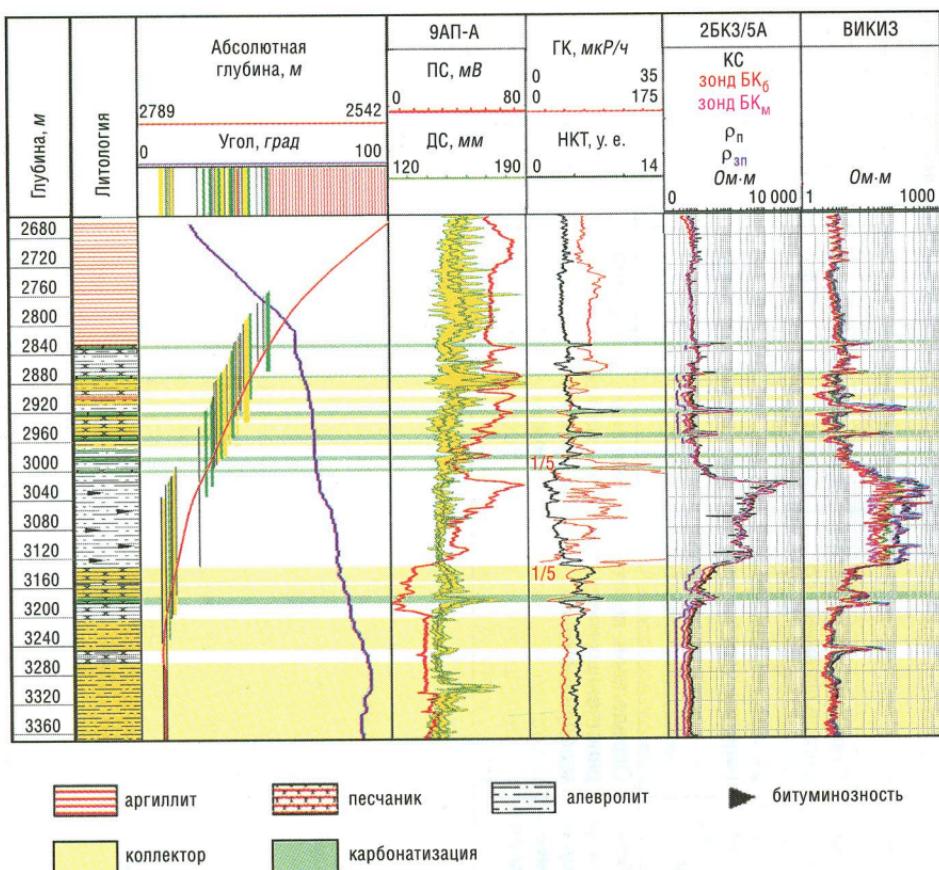


Рис. 3. Результаты исследований разреза горизонтальной скважины приборами 9АП-А и 2БК(БК-3+БК-5)-А

дований (табл.), позволяют определять сопротивление пласта незатронутой зоны практически без искажений.

На рис. 5 приведены результаты исследований комплексом радиоактивных методов нейтронного, плотностного, гамма-каротажа и ВИКИЗ+ПС. Исследования проведены в терригенном разрезе Западной Сибири.

По полученным данным максимальная информативность по выделению коллекторов достигается методом плотностного каротажа, где разница в плотности между аргиллитами и песчаниками составляет 0,1–

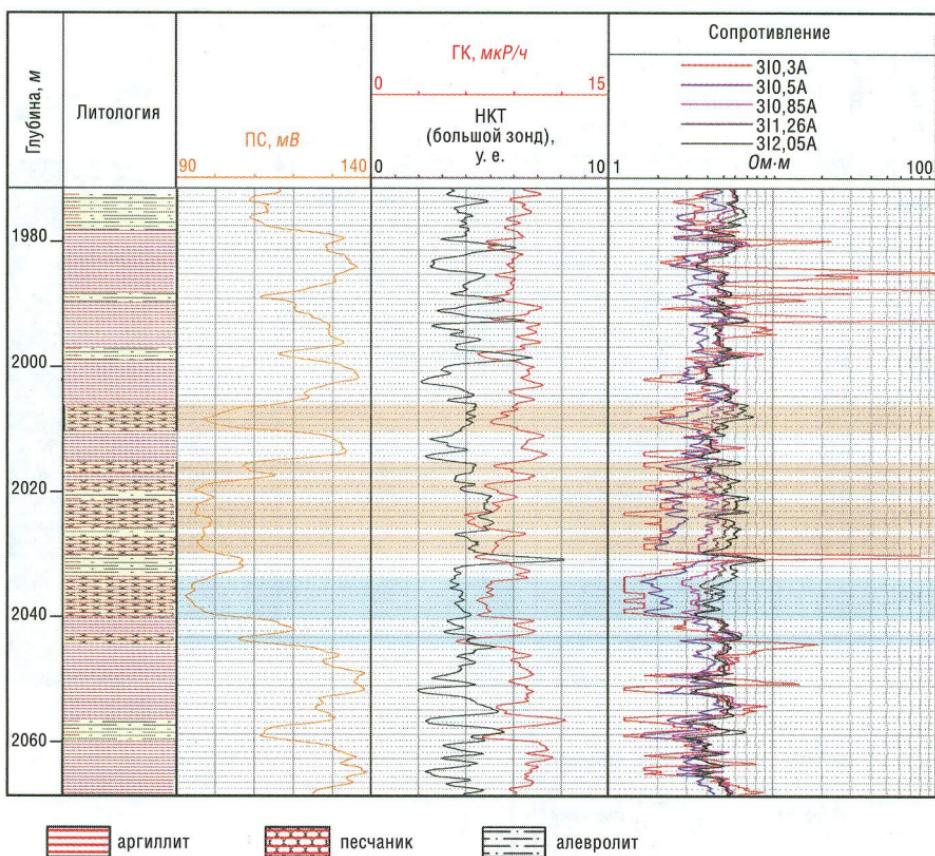


Рис. 4. Результаты исследований разреза горизонтальной скважины приборами 5ИК-А и (2ГК+ЗНК)-А

$0,15 \text{ г/см}^3$, а также по результатам гамма-каротажа. Водородосодержание изменяется в незначительных пределах, имеет место погрешность определения диаметра ствола скважины. По методу ВИКИЗ выделение коллекторов затруднительно, возможно только определение ВНК. Совместная интерпретация методов нейтронного, плотностного и гамма-каротажа позволяет определить на количественном уровне общую и эффективную пористость, построить литологическую модель.

На рис. 6 приведены результаты исследований горизонтальной скважины, пробуренной в карбонатном разрезе, комплексом методов

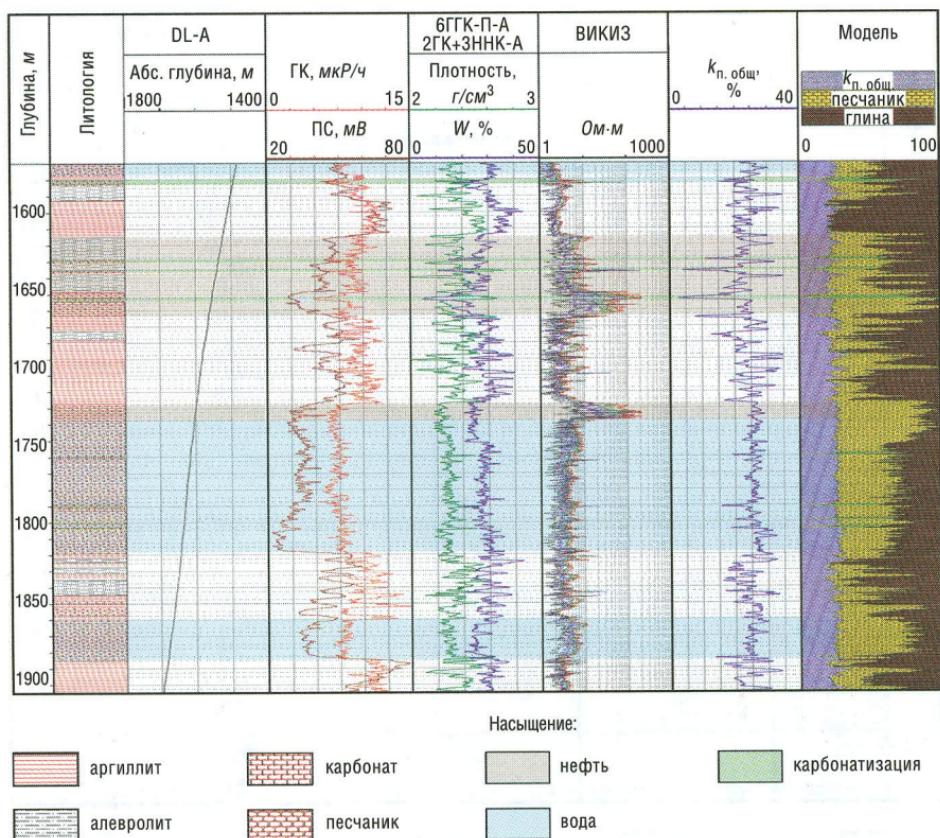


Рис. 5. Результаты исследований разреза горизонтальной скважины приборами 6ГГК-П-А и (2ГК+3ННК)-А

акустического, нейтронного и гамма-каротажа. По данным о волнах Стоунли выделены различные по проницаемости зоны разреза, определены коэффициенты и типы пористости коллекторов, произведено литологическое расчленение разреза.

Исследование методом ВИКИЗ ввиду высокого сопротивления горных пород и высокоминерализованного бурового раствора в данных условиях неэффективно. Для оценки удельного сопротивления горных пород и выделения проницаемых зон коллекторов данного типа разреза необходимо ввести в комплекс вместо методов индукционного каротажа и ВИКИЗ двойной боковой каротаж.

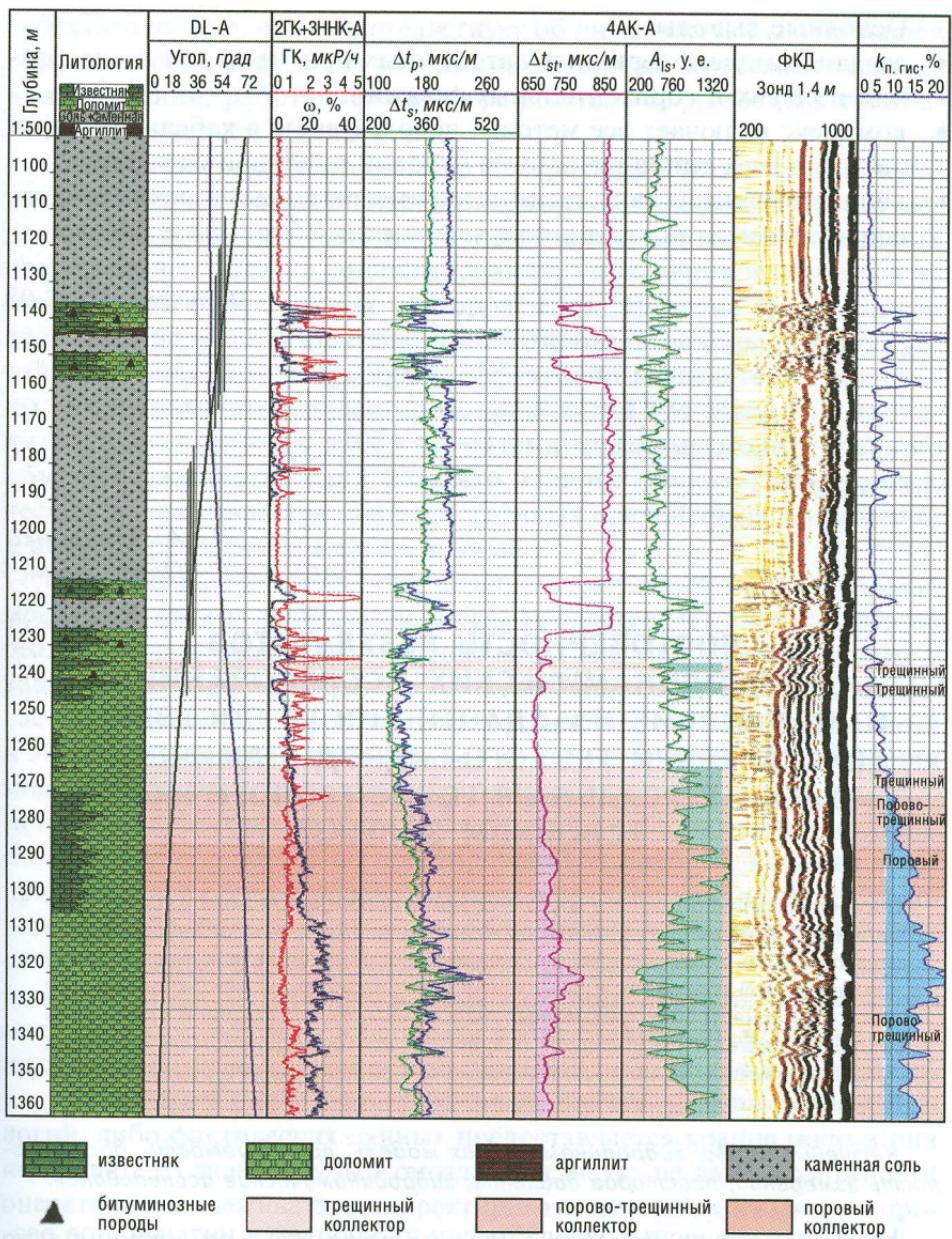


Рис. 6. Результаты исследований разреза горизонтальной скважины приборами (2ГК+ЗННК)-А и 4АК-А

Основные выводы:

- создан комплекс серийных автономных приборов для исследований пологих и горизонтальных скважин;
- комплекс включает все методы, используемые в кабельном варианте для всех типов разрезов и условий проводки скважин;
- количественные и качественные параметры коллекторских свойств сопоставимы с данными, получаемыми приборами на кабеле.

Получена 17.07.08

УДК 550.832.9

Г. А. Павленко
ОАО "ОЭГ "Петросервис"

ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АДАПТИВНОСТЬ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ГЕОЛОГО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ К РЕАЛЬНЫМ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ЗАЛЕЖИ

Проанализировано текущее состояние дел и проблем, связанное с информационным обеспечением процесса адаптации геолого-гидродинамических моделей залежей углеводородов, в первую очередь, с достоверностью получения и использования исходных физических параметров, необходимых для адаптации и настройки трехмерных гидродинамических моделей к реальным геолого-промышленным условиям разработки месторождений, и на примерах показаны причины ошибок, допускаемых специалистами при расчете термобарических и фильтрационных характеристик исследуемых объектов.

Ключевые слова: гидродинамическая модель, проницаемость, достоверность измерений, пластовое давление, гидродинамические исследования.

На рынке сервисных услуг России наблюдается интенсивное развитие специализированных приборостроительных предприятий, компаний и департаментов ВИНК, занимающихся IP-технологиями в