

УДК 550.832

*P. T. Хаматдинов, Д. В. Белоконь,  
В. А. Панюхин, В. М. Теленков*

## **КОМПЛЕКС АВТОНОМНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛОГИХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН И СКВАЖИН СО СЛОЖНЫМ ПРОФИЛЕМ СТВОЛА**

Представлены результаты разработки и испытания приборов комплекса "Каскад-А"; описаны решаемые геологические задачи по литологическому расчленению разреза, определению фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), коэффициентов нефтегазонасыщенности во всех категориях скважин и коллекторах различного типа; приведены сравнения погрешностей скважинных исследований комплексом и традиционными кабельными приборами.

*Ключевые слова:* автономные приборы, горизонтальные скважины, пологие скважины, боковые стволы.

Большинство крупных нефтегазовых месторождений Западной Сибири находятся на поздних стадиях разработки с высокой степенью обводненности. При этом по ряду разрабатываемых залежей не достигнуты проектные показатели выработки пласта. Кроме того, в сложнопостроенных и низкопроницаемых коллекторах эксплуатация вертикальных и наклонных скважин малоэффективна. Для вовлечения в более полный охват выработки нефтегазовых залежей и для увеличения коэффициента нефтегазоизвлечения необходимо изменить технологию разработки.

На современном этапе для этого широко применяется технология горизонтального бурения и проводка боковых стволов со сложной траекторией ствола скважины. Качество строительства подобных скважин зависит от точности проводки, учета вертикальной и латеральной неоднородности проектного пласта.

На большинстве разрабатываемых месторождений, в частности в Западной Сибири, продуктивные пласты по латерали имеют сложное литологическое строение, появляются зоны замещения и выклинивания.

На месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки, продуктивные залежи, как правило, неравномерно заводнены по толщине пласта и площади залежи. Горизонтальные скважины и

боковые стволы со сложным профилем могут проходить в проектном пласте по интервалам с различным насыщением. По завершении бурения дальнейшие мероприятия по выбору интервалов освоения проводятся с учетом наличия продуктивных коллекторов. Информационное обеспечение при этом достигается проведением исследований различными комплексами геофизических исследований скважин (ГИС).

Для проведения подобных исследований в ООО “Нефтегазгеофизика” разработана технология ГИС на базе комплекса автономных приборов “Каскад-А”, спускаемых на бурильных трубах. Организован промышленный выпуск приборов комплекса “Каскад-А”. Комплекс обеспечивает выполнение следующих методов ГИС:

- боковое каротажное зондирование шестью зондами;
- ПС;
- двухзондовый боковой каротаж;
- многозондовый индукционный каротаж;
- акустическая профилеметрия;
- акустический каротаж;
- компенсированный нейтронный каротаж;
- гамма-гамма-плотностной каротаж;
- интегральный гамма-каротаж;
- спектрометрический гамма-каротаж;
- импульсный нейтронный каротаж.

На стадии скважинных испытаний находится ядерно-магнитный каротаж.

Марка приборов, область их применения, решаемые задачи, измеряемые параметры и технические характеристики приведены в таблице. Каждый прибор автономно самостоятельный. Специальные соединительные устройства на концах приборов позволяют их стыковать друг с другом в различных сочетаниях путем вертикальной сборки на устье скважины. Привязка данных по глубинам осуществляется одним из трех способов:

- по промеру длины бурового инструмента с использованием записанной в приборах информации о стоянках;
- по результатам измерений глубины, веса инструмента и положению клиньев станции ГТИ;
- по результатам измерений глубины автономным глубиномером.

**Область применения, решаемые задачи и технические характеристики автономных приборов**

**Таблица**

Марка прибора	Область применения	Решаемые задачи	Назначение измерительного прибора	Барабанное измерение, м	Линейное измерение, м	Методы, м
1	2	3	4	5	6	7
Прибор комбинированной электрического и двойного бокового каротажа автономный БК3+2БК3/5	Для исследования сильнопологих и горизонтальных участков открытого ствола скважин, заполненных флюидом на основе водной промывочной жидкости с удельным сопротивлением 0,03–200 Ом·м	Выделение электрически однородных пластов и пластов с зоной проникновения; определение удельного электрического сопротивления; определение нефтегазонасыщенных пластов	$\rho_k$ по зондам БК3 A0,4M0,1N A1M0,1N A2M0,5N A4M0,5N N0,5M2,0A N0,6M0,5A	0–1000 Ом · м	0,5	0,4– 2,5
Прибор автономный двойного бокового каротажа 2БК3/5-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 раз мером ствола до 300 мм	Выделение пластов и определение зоны проникновения, определение УЭС неизменной части пласта и зоны проникновения; выделение коллекторов, оценка характера нефтегазонасыщенности	$\rho_k$ зонда БК3 $\rho_k$ зонда 5БК	0,2– 5000 Ом · м 0,2– 5000 Ом · м	0,15	0,8 0,33

*Продолжение таблицы*

1	2	3	4	5	6	7
Прибор индукционного каротажного зондирования автономный АИК-А	Для исследования сильно-пологих 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	Проводимость по зондам ЗИ 0,3 ЗИ 0,5 ЗИ 0,85 ЗИ 1,26	3–2000 мСм/м	0,35–2,5	0,4–3,0
Прибор радиоактивного каротажа автономный АПРК-2С, АПРК-3Н, АПРК-ННК	Для исследования сильно-пологих и горизонтальных участков открытого ствола скважин диаметром 120–350 мм, заполненных любой промывочной жидкостью	Литологическое расщепление разреза, определение ФЕС и минерального состава горных пород; выделение газонасыщенных пластов, ГНК и ГВК	Водородосодержание горных пород; естественная гамма-активность город	1–40%	0,8	0,2–0,4
Прибор плотностного гамма-гамма-каротажа автономный АПРК-ГГК	Для исследования сильно-пологих и горизонтальных участков открытого ствола, заполненных буровым раствором любого состава диаметром скважин до 216 мм	Литологическое расщепление разреза; определение коэффициентов пористости, определение (уточнение) минерального состава пород	Объемная плотность город	1,7–3,0 г/см <sup>3</sup>	>0,2	0,5

## Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Прибор акустического каротажа автомобильный АК-А	Для исследования сильнополых и горизонтальных участков открытого ствола, заполненных буровым раствором любого состава диаметром скважин до 127–216 мм	Литологическое расщепление разреза по улругим свойствам горных пород; определение коэффициентов и типов пористости; выделение проницаемых зон в сложнопостроенных коллекторах; определение модулей упругости	Интервальное прошлое время продольной, поперечной и Стойчевыми волнами	$\Delta t_p$ 100–500 мкм	>0,5	0,2–0,35
Прибор интегрального гамма-каротажа автономный АПРК-ГК	Для исследования сильнополых и горизонтальных участков ствола, заполненных буровым раствором любого состава с содержанием NaCl не более 300 г/м, в скважинах диаметром до 350 мм	Литологическое расщепление разреза; определение коэффициентов гипностости, определение (уточнение) минерального состава пород; выделение радиогеохимических аномалий	Естественная гаммаактивность пород	0–250 мкР/ч	0,8	0,4
Профиллер акустический автономный АСПГ-90	Для измерения внутренней геометрии открытых стволов скважин, заполненных буровым раствором на водной или нефтяной основе плотностью до 1,2 г/см <sup>3</sup> в скважинах диаметром 127–216 мм	Определение профиля ствола скважины по восьми внутренним радиусам в каждом поперечном сечении	Профиль ствола скважин	60–300 мм	0,1–0,2	–

## Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Ферромагнитный автономный инклинометр ИФМ-А	Для исследования неожженных сильнополих и горизонтальных участков ствола скважин, заполненных буровым раствором на немагнитной основе	Определение пространственных координат ствола скважины	Зенитные углы на-клона; магнитные азимуты	0–180° 0–360°	— —	— —
Прибор импульсного нейтронного каротажа автономный АПРК-ИН-НК-108	Для исследования горизонтальных и пологих скважин открытого ствола и обсаженных стальной колонной, заполненных жидкостью на любой основе и газом, диаметром 120–350 <i>мм</i>	Определение текущей нефтегазонасыщенности, определение ГНК и ГВК; определение пористости коллекторов; литологическое расщепление разреза	Декремент затухания плотнос-ти нейтро-нов	—	0,5	0,5
Прибор спектрометрического гамма-каротажа автомонный АПРК-СГК	Для исследования горизонтальных и сильнополых скважин, заполненных жидкостью на любой основе или газом, диаметром 120–350 <i>мм</i>	Корреляция геологических разрезов, детальное литологическое расщепление, определение глинистости коллекторов, определение (уточнение) минерального состава пород	Массо-вое содер-жание U, Th, K	U 0,5–200 · 10 <sup>-4</sup> ; Th 0,5–200 · 10 <sup>-4</sup> ; K <sup>40</sup> 0,1–20, %	0,5	0,5

Регистрация данных каротажа производится в энергонезависимую память приборов с дискретизацией по времени. Программное обеспечение наземного регистрирующего комплекса “Service MS” поддерживает полный технологический цикл проведения геофизических исследований. Метрологические характеристики приборов комплекса “Каскад-А” полностью идентичны метрологическим характеристикам кабельных приборов аналогичного назначения.

Полный комплекс автономных приборов прошел в 2012 г. всесторонние испытания на месторождениях Западной Сибири. Исследовано 19 скважин. Кроме того, с 2010 г. в производственном режиме геофизическими предприятиями России используются модули в различных сочетаниях. Максимальный объем ежегодных исследований комплексом плотностного, нейтронного, двойного бокового каротажа – это несколько сотен скважинных измерений в горизонтальных скважинах и боковых стволах.

Результаты исследований полным комплексом ГИС и сопоставление результатов измерений кабельными и автономными приборами по методу плотностного каротажа приведены на рис. 1, а, б и рис. 3.

По полученным данным измерения, выполненные, например, методом ГГК-П, находятся в пределах погрешности приборов (не более  $0,03 \text{ г}/\text{см}^3$ ). Точность определения удельных сопротивлений электрического каротажа оценивалась по палеточным зависимостям. Кажущиеся сопротивления по зондам индукционного, бокового каротажа и БКЗ находятся в пределах точности  $\pm 5\%$ . Качество нейтронного каротажа оценивалось по кроссплотинговой методике. Кроме того, проведена оценка стабильности работы приборов по временным исследованиям в различных скважинах. Для этой цели выбраны интервалы разреза различных скважин с близкими геологогеофизическими характеристиками и построены кривые распределения значений общей плотности и водородосодержания (рис. 2, а, б).

Получены одномодульные распределения с близкими вероятными значениями. Проведенный анализ результатов скважинных исследований показал, что автономные приборы серии “Каскад-А” обеспечивают проведение ГИС с необходимой точностью.

Величины удельных сопротивлений, определяемые по БКЗ и индукционному каротажу в однородных пластах толщиной более 4 м, практически совпадают.

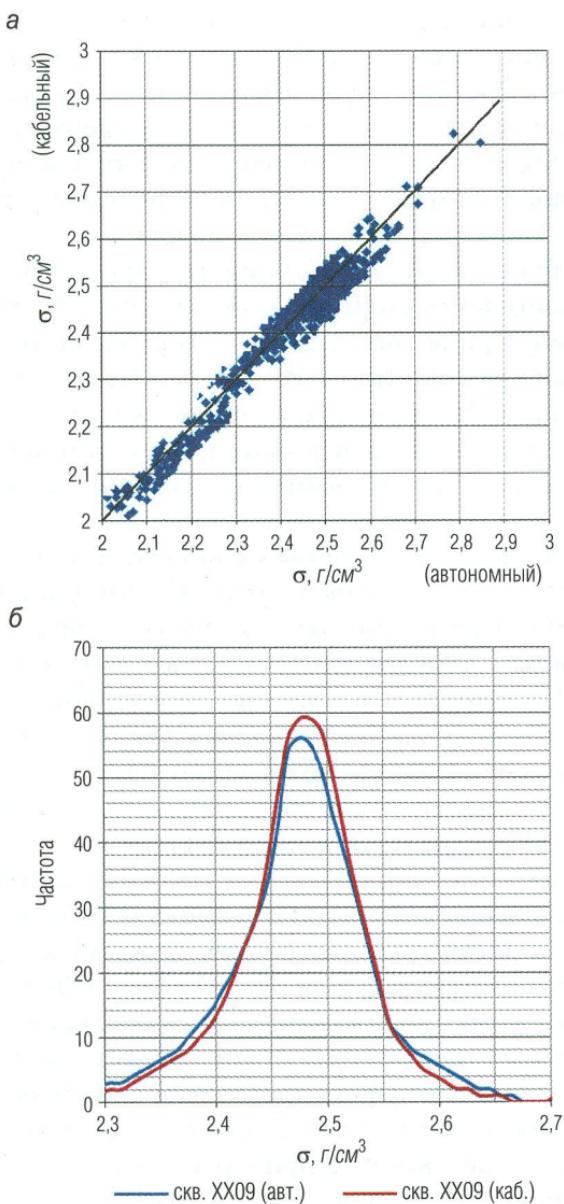


Рис. 1. Сопоставление значений плотности пород, измеренных автономным и кабельным приборами (а); график распределения плотности, измеренной автономной и кабельной аппаратурой (Западная Сибирь) (б)

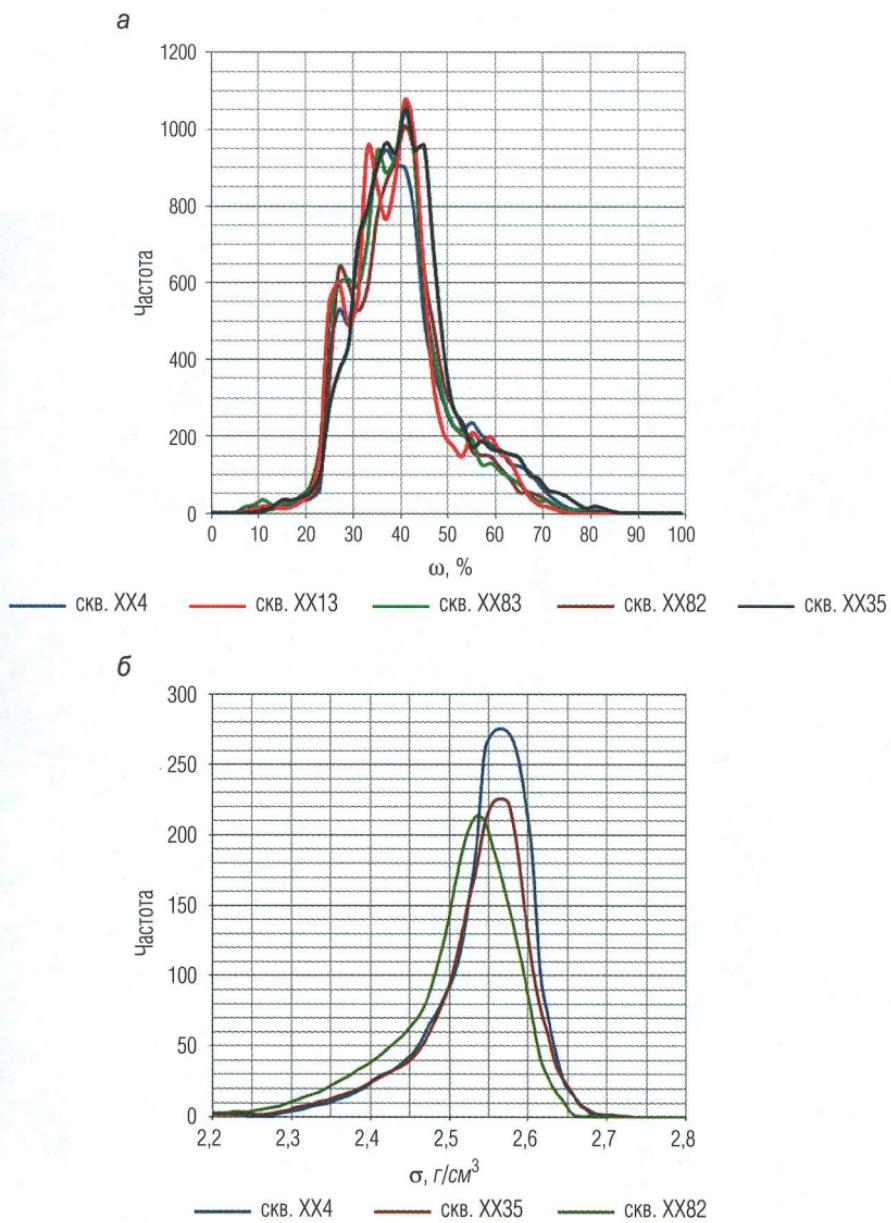


Рис. 2. График распределения водородосодержания по результатам исследований скважин (Западная Сибирь) (а); график распределения измерений плотности по результатам исследования скважин (Западная Сибирь) (б)

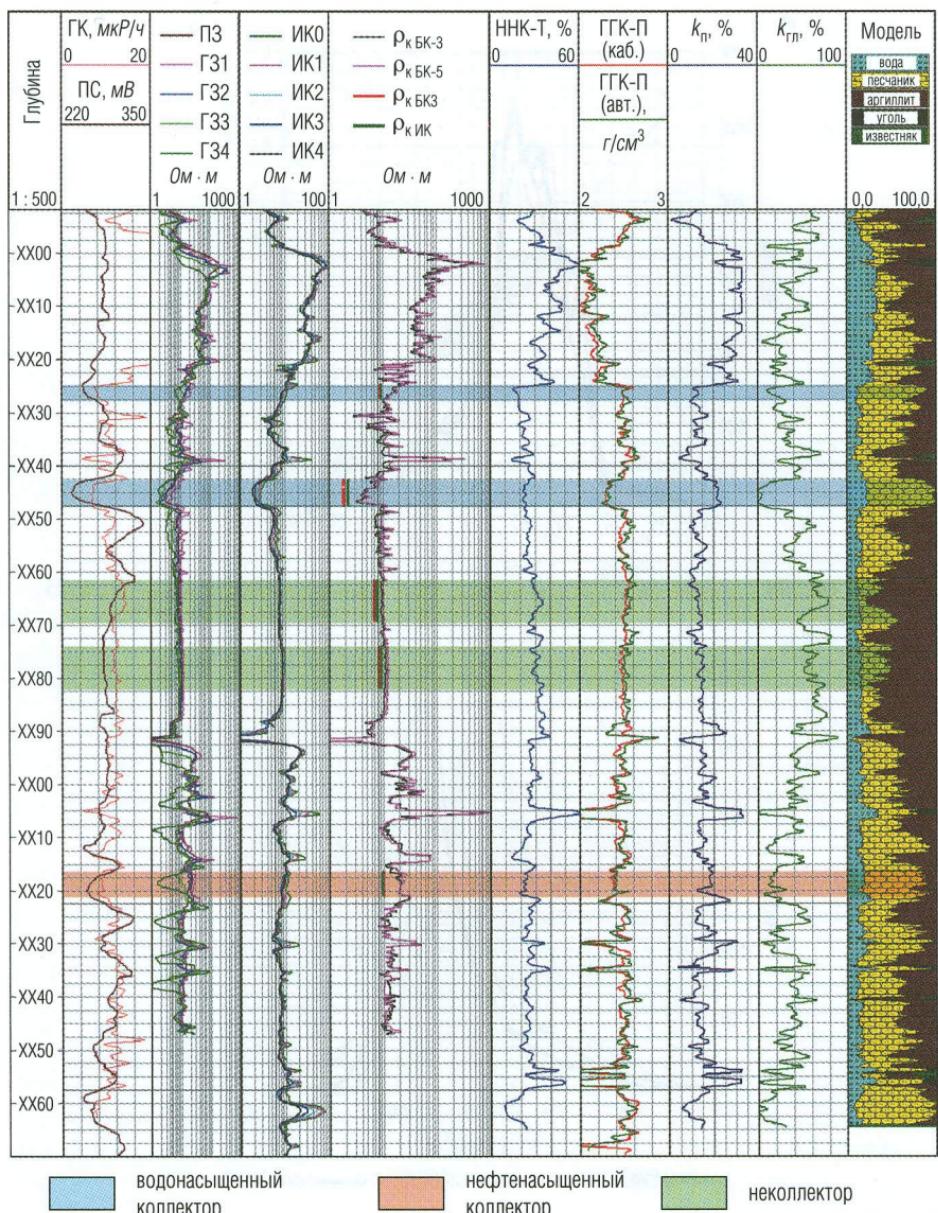
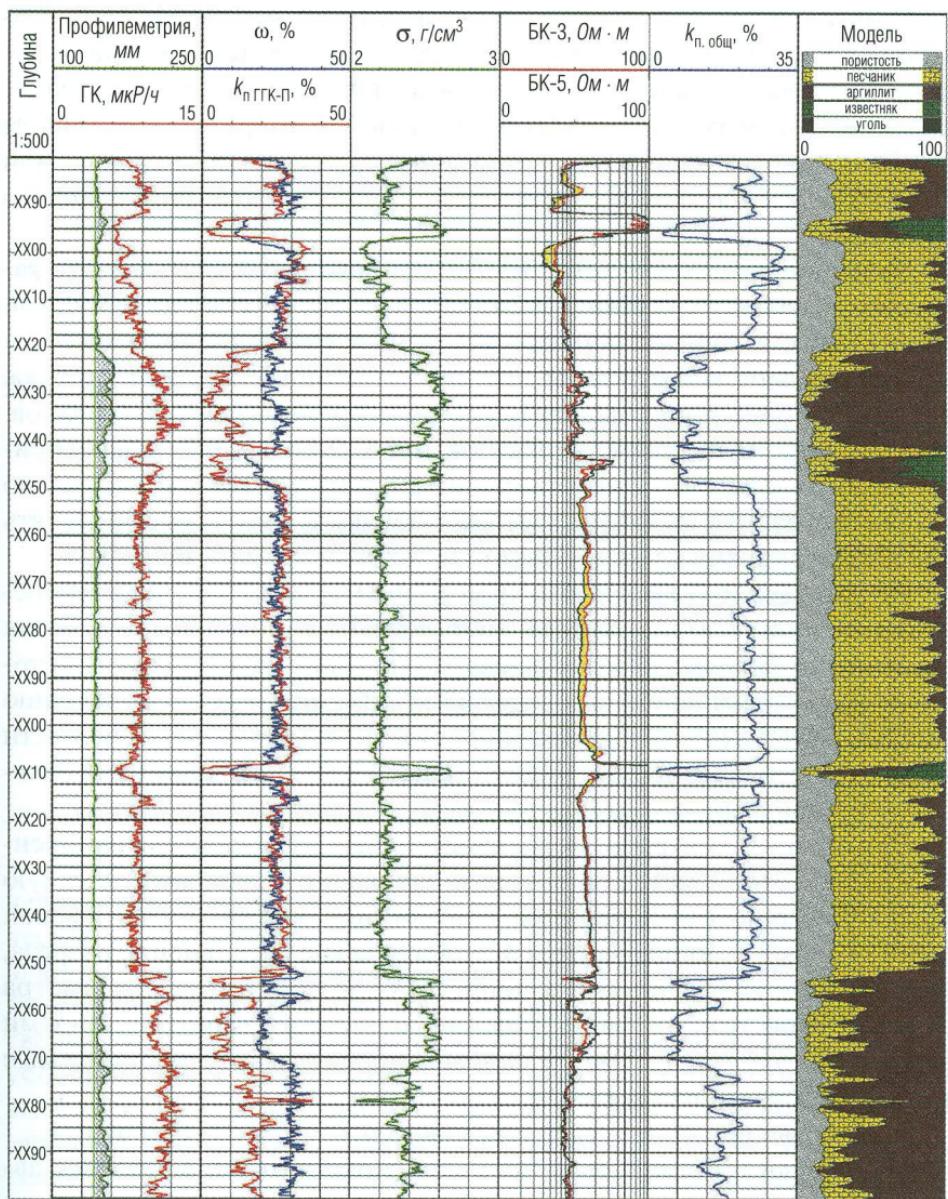


Рис. 3. Результаты исследований автономными приборами полным комплексом методов ГИС бокового ствола (Западная Сибирь)



Однако в слоистом разрезе с пластами толщиной менее 4 м с различными электрическими характеристиками определение удельных сопротивлений по данным БКЗ не представляется возможным. Определение удельных сопротивлений в подобном разрезе, характерном для большинства терригенных отложений, достигается с необходимой точностью комплексом методов индукционного и двойного бокового каротажа.

Введение в комплекс автономного прибора двойного бокового каротажа позволяет увеличить вертикальное разрешение до 0,3–0,5 м. Кроме того, в горизонтальных скважинах с заполнением высокоминерализованным буровым раствором двойной боковой каротаж позволяет более точно выделить границы проницаемых интервалов. При бурении на высокоминерализованных буровых растворах горизонтальных скважин зоны проникновения находятся в пределах до одного метра, что позволяет методом бокового каротажа определять удельное сопротивление и оценивать нефтегазонасыщенность.

По результатам скважинных измерений и последующей интерпретации полного комплекса ГИС (рис. 3) в горизонтальных, пологих скважинах и боковых стволах решаются поставленные задачи по литологическому расчленению разреза и информационному обеспечению с целью расчета коэффициентов пористости, нефтегазонасыщенности и глинистости с точностью, сопоставимой с исследованиями кабельными приборами.

При проведении работ в горизонтальных скважинах ограниченным количеством методов, которые включают в себя акустическую профилеметрию, гамма-каротаж, плотностной, нейтронный и боковой каротаж (рис. 4), производится литологическое расчленение разреза, определение коэффициентов пористости и глинистости, диаметра скважин. При этом по данным двойного бокового каротажа зондами различной глубинности более однозначно выделяются проницаемые зоны и нефтегазонасыщенные коллекторы.

- В качестве основных выводов можно отметить следующее:
- разработан и организован промышленный выпуск комплекса автономных приборов “Каскад-А”;
- комплекс аппаратуры “Каскад-А” позволяет проводить скважинные исследования различным сочетанием приборов для решения конкретных задач;

- аппаратурный комплекс “Каскад-А” позволяет проводить скважинные исследования всеми методами с погрешностью, сопоставимой с измерением кабельных приборов;
- результаты ГИС позволяют решать геологические задачи по литологическому расчленению разреза, определению ФЕС, коэффициентов нефтегазонасыщенности во всех категориях скважин и коллекторах различного типа.

УДК 550.832:622.276.66

*Н. В. Козяр, В. В. Коробченко*

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРОД И КОНТРОЛЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА ПО МАТЕРИАЛАМ ПРИБОРА АВАК**

Обобщен опыт работ определения параметров анизотропии пород и гидроразрыва пласта в прискважинной зоне по данным прибора АВАК, полученным в скважинах старого фонда.

*Ключевые слова:* анизотропия, каротаж, акустика, трещины, гидроразрыв.

Одним из наиболее действенных мероприятий увеличения дебита нефти и более полной выработки месторождений является гидравлический разрыв пласта (ГРП). Данные акустического каротажа позволяют определять упругие свойства горных пород в прискважинной зоне (0,25–0,5 м) и отслеживать их изменение в процессе производства работ. Это позволяет произвести проектирование ГРП с учетом условий конкретной скважины, минимизируя риски и стоимость выполнения работ, и оперативно оценить соответствие полученного и запланированного результатов. Для обеспечения проведения данных технологических операций перед ГИС ставятся следующие задачи:

- 1) определение упругих свойств горных пород в интервале предстоящих работ;
- 2) выделение интервалов неоднородности горных пород и искусственных трещин;