

# ООО “Нефтегазгеофизика”

---

---

УДК 550.832

Р. Т. Хаматдинов

ООО “Нефтегазгеофизика”

## ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ООО “НЕФТЕГАЗГЕОФИЗИКА”

Описываются современные компьютеризированные технологии для исследования необсаженных и обсаженных, вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин с целью решения геологических задач, оценки технического состояния скважин, их продуктивности, количественной оценки текущей нефтенасыщенности разрабатываемых пластов.

К началу XXI века практически исчерпаны возможности открытия гигантских месторождений углеводородов в доступных для освоения районах России. Большинство разрабатываемых месторождений находятся в средней и поздней стадиях разработки. Необходимый для устойчивого развития страны прирост запасов углеводородного сырья осуществляется путем поиска более мелких и глубокозалегающих залежей. Для них характерны сложное строение литологического состава, более низкие фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов, вмещающих углеводороды. В разведку вовлекаются новые “нетрадиционные” залежи, например, в битуминозных породах и породах кристаллического фундамента. Нефтенасыщение новых объектов часто низкое при многокомпонентном составе углеводородов, со значительной битуминозностью. В структуре запасов новых и разрабатываемых месторождений увеличивается доля вязких, тяжелых нефтей.

Сложные геолого-технологические условия залегания залежей и месторождений определяют соответствующее усложнение технологий

поисков, разведки и добычи, что объективно увеличивает себестоимость добытой нефти. Одним из путей повышения геологической и экономической эффективности поисковых и разведочных работ служат оперативная корректировка и оптимизация технологии разведки по результатам бурения и исследований первых скважин в условиях ограниченного отбора кернового материала. Резко возрастает ценность "эксклюзивной" информации, получаемой на ранней стадии изучения месторождений, для проектирования технологий добычи, увеличения нефтеотдачи за счет использования новейших технологий – бурения горизонтальных и боковых стволов, проведения гидроразрывов пластов, обработки разрабатываемых коллекторов поверхностно-активными веществами, растворителями и т. п.

Возросшие требования поисково-разведочных работ обуславливают решение более сложных задач по документированию свойств горных пород в условиях их естественного залегания и нарастающей добычи, многократно превосходящие по результативности изучение каменного материала в лабораторных условиях. Объективная оценка ресурсов и извлекаемых объемов углеводородов в таких объектах требует применения новых высоких технологий геофизических исследований, базирующихся на фундаментальных возможностях физических явлений, обеспечении прецизионных количественных измерений слабых сигналов на фоне усиливающихся полей и сложной компьютерной обработке первичных данных.

На месторождениях, находящихся в поздней стадии разработки, актуальными становятся задачи доразведки залежей, количественного мониторинга продуктивных объектов и оптимизации добычи углеводородного сырья, в том числе трудно извлекаемых запасов. Геофизические исследования при этом играют ключевую роль как информационная база для принятия управляющих решений.

Вовлечение страны в общую мировую экономику накладывает дополнительные задачи по обеспечению информационной полноты и адекватности геолого-геофизической и технологической информации к общепринятым в мировой практике требованиям. Одним из них является требование по завершенности технологий, рекомендуемых для производства работ.

ООО "Нефтегазгеофизика" традиционно ведет НИОКР, осуществляет изготовление и поставку производственным организациям геолого-геофизических технологий. Они затребованы и освоены в Рос-

сии, странах СНГ (Казахстан, Туркменистан, Белоруссия), Вьетнаме, Канаде, Китае.

### **1. Технологии исследований открытых стволов поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин кабельными приборами включают:**

- теоретическое и методическое обоснование используемых методов ГИС;
- комплекс цифровых, программно-управляемых скважинных приборов в модульном исполнении;
- наземную измерительную и обрабатывающую компьютеризированную лабораторию. По заказу поставляется также программно-управляемый подъемник с гидравлическим или механическим приводом;
- программное обеспечение калибровки приборов и лаборатории, регистрации первичных геофизических данных, их редактирования, первичной обработки и оценки качества;
- технологическое оборудование для производства работ на скважине;
- программное и интерпретационное обеспечение для комплексной геолого-геофизической интерпретации данных ГИС;
- методические руководства и рекомендации по изучению исследуемых объектов;
- обучение персонала производственных организаций;
- производство сервисных работ.

1.1. *Теория и методика используемых методов ГИС* включают обоснование необходимого комплекса методов для исследований скважин в различных геолого-технических условиях с оценкой эффективности отдельных методов и комплекса ГИС в целом. Далее следуют теоретическое или основанное на применении физических либо математических моделей обоснование применения этих методов, расчет параметров измерительных зондов и основных петрофизических зависимостей. Эти процедуры обуславливают оптимизацию аппаратурных решений, методик измерений и количественной обработки данных.

1.2. *Комплекс скважинных приборов "Каскад"* включает в себя основные типы и модификации приборов. Перечень используемых для исследования открытого ствола методов ГИС, обеспеченных приборами ООО "Нефтегазгеофизика", приведен в табл. 1.

Таблица 1

## Перечень методов ГИС для исследований открытых стволов

Методы каротажа	Модификации скважинных приборов
Электрический каротаж	БКЗ, БК-3, ПС, резистивиметр БКЗ, БК-7, БК-9, ПС МК, БМК, МКВ
Электромагнитный индукционный каротаж	ИК (четырехзондовый)
Радиоактивный каротаж	ГК, СГК, ГК+НГК, ГК+2ННК-Т, Г <sub>к</sub> +2ННК-НТ, ГК+ЗННК-Т, ГГКП, ГГК-ПЛ
Акустический каротаж	АК (компенсированный) АКД (компенсированный с длинным зондом) АВАК (с монопольными и дипольными преобразователями)
Ядерно-магнитный каротаж	ЯМТК-120, ЯМТК-175
Кавернометрия	4-рычажный каверномер-профилемер
Инклинометрия	ИОН (разработка Омского СКТБ)

Отличительные черты приборов “Каскад”:

- модульное исполнение с унифицированными электромеханическими соединениями;
- программная управляемость;
- оснащенность унифицированной телеметрией, работа с наземной лабораторией на общую шину в режиме запрос-ответ независимо от соседних модулей с использованием кода “Манчестер-2” (стандарт MIL-STD-1553 В);
- питание от унифицированной сети 220 В, 50 Гц.

Скважинные приборы выпускаются с различной термобаростойкостью:

- 120 °C, 80–100 МПа;
- 175 °C, 120–160 МПа;
- 200 °C, 140–160 МПа.

1.3. Наземная измерительная и обрабатывающая лаборатория “Каскад” обеспечивает реализацию компьютеризированной технологии ГИС в нефтяных и газовых скважинах, начиная от проведения метро-

логических работ и заканчивая отработкой каротажных материалов непосредственно на месте производства работ с целью получения оперативных заключений. Выпускается в нескольких исполнениях:

- переносной (для транспортировки к месту проведения ГИС вертолетом или иным видом транспорта);
- стоечный (размещается в каротажном подъемнике);
- лабораторный (размещается в самоходной каротажной лаборатории).

Применение современных высоких технологий: супермощных сигнальных процессоров реального масштаба времени (ADSP), программируемых логических матриц (PLIS), программно-управляемых усилителей и фильтров, а также построение регистратора на базе серийного компьютера индустриального исполнения, программное обеспечение регистратора на основе операционной системы WINDOWS NT позволили создать высокопроизводительную гибкую систему сбора и обработки геофизической информации.

Программное обеспечение лаборатории обеспечивает выполнение следующих функций:

- управление работой скважинных приборов;
- тестирование наземного оборудования и скважинных приборов;
- сбор данных от цифровых и аналоговых приборов с их первичной обработкой и визуализацией на мониторе в реальном времени;
- запись первичных данных на жесткий диск в формате LIS-79;
- выдача твердой копии материалов в стандарте API;
- обеспечение метрологических измерений;
- редактирование и полевую обработку данных;
- передачу данных заказчику в формате LIS-79 или LAS 2.0 на гибких или магнитооптических дисках.

По согласованию с заказчиком к регистратору могут подключаться скважинные приборы других производителей с разработкой необходимого программного обеспечения тестирования, регистрации и первичной обработки данных.

1.4. *Метрологическое обеспечение методов ГИС* базируется на Государственных стандартных образцах горных пород и специальных аттестованных метрологических устройствах. Для метрологии радиоактивных методов используются Государственные стандартные образцы пористости и естественного гамма-излучения (г. Раменское), плотности (г. Тверь). Передача единиц измерения в производствен-

ные организации осуществляется с помощью аттестованных стандартных образов предприятия СОП и полевых (скважинных) калибровочных устройств ПКУ. Для метрологии приборов электрического каротажа используются стандартные магазины сопротивлений и измерения в контрольных скважинах. Для приборов микро-МК и микробокового МБК каротажа используются специальные емкости с водой различной минерализации. Приборы индукционного каротажа контролируются с помощью тест-колец. Метрология приборов акустического каротажа осуществляется в специальной барокамере, а их поверка на скважине – по измерениям в обсадной колонне. Калибровка каверномеров осуществляется традиционно градуированными кольцами. Для поверки инклинометров в большинстве предприятий организованы специализированные поверочные стенды. Для поверки приборов ядерно-магнитного каротажа создан радиопрозрачный контейнер с пресной водой, помещенный в электромагнитный экран.

1.5. *Технологическое оборудование.* Требования заказчиков к сокращению времени задерживания скважины на исследования обуславливают необходимость проведения каротажных работ связками несколькими модулями отдельных методов ГИС. Это в свою очередь привело к необходимости создания специализированного набора технологического оборудования в составе:

- кабельного наконечника повышенной надежности и технологичности;
- технологического модуля, который снимает крутящий момент кабеля вращающимися элементами конструкции, измеряя натяжение кабеля на головке связки, давление, температуру скважинной жидкости, ударные нагрузки по продольной и поперечной осях с помощью акселерометров;
- соединительных узлов, обеспечивающих технологичность соединения модулей в сборки;
- гибких шаровых соединений для разводки прижимных и центрируемых приборов;
- устройства для осуществления вертикальной сборки;
- ловильного инструмента для ликвидации аварии при прихвате сборки в скважине.

1.6. *Программное и интерпретационное обеспечение обработки и геологической интерпретации первичных цифровых данных ГИС в сре-*

де Windows позволяет реализовать обе перечисленные функции в двух вариантах:

- независимое определение искомых коллекторских параметров (литологического состава, коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности пород, эффективных толщин) по материалам каждого метода ГИС в отдельности. Из 3–5 полученных результатов геофизик-интерпретатор выберет “принятое” значение;
- комплексное определение тех же параметров с использованием совокупности (матрицы) тех же первичных данных. Предварительный анализ (кросс-плотинг) первичных данных ГИС позволяет обосновать модель, используемую в расчетах, и получить одно значение каждого параметра.

Два небольших примера иллюстрируют возможности последнего варианта. В первом (рис. 1) показан фрагмент разреза типичных юрских отложений Западной Сибири. Как правило, для них отсутствуют затруднения в выделении песчаных разностей и определения коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности пород. Однако вероятностная оценка получения притоков жидкости из пластов затруднена. При тех же значениях пористости и нефтегазонасыщенности притоки получают из средне- и крупнозернистых песчаников и алевролитов и не получают из тонко- и мелкозернистых. В этих условиях доказательство проницаемости пород по параметрам волны Стоунли приобретает решающий характер.

Второй пример связан с вулканогенными отложениями фундамента Западной Сибири. К ним приурочены крупные (не гигантские!) запасы нефти, поэтому несколько нефтегазовых объединений одновременно начали их ускоренную разведку. Устойчивые характеристики для выделения таких коллекторов предоставляют данные АК (параметры волны Стоунли) и ядерно-магнитного в сильном поле (ЯМК) каротажа (рис. 2). Данные остальных методов ГИС – ННК, ГГКП, БК, ИК, ВИКИЗ – позволяют произвести количественные определения коэффициентов пористости и нефтенасыщенности коллекторов.

**2. Технология контроля технического состояния обсаженных скважин (КТСС)** реализуется наземной лабораторией “Каскад” и набором скважинных приборов (модулей) в составе:

- технологический модуль (ТМ);

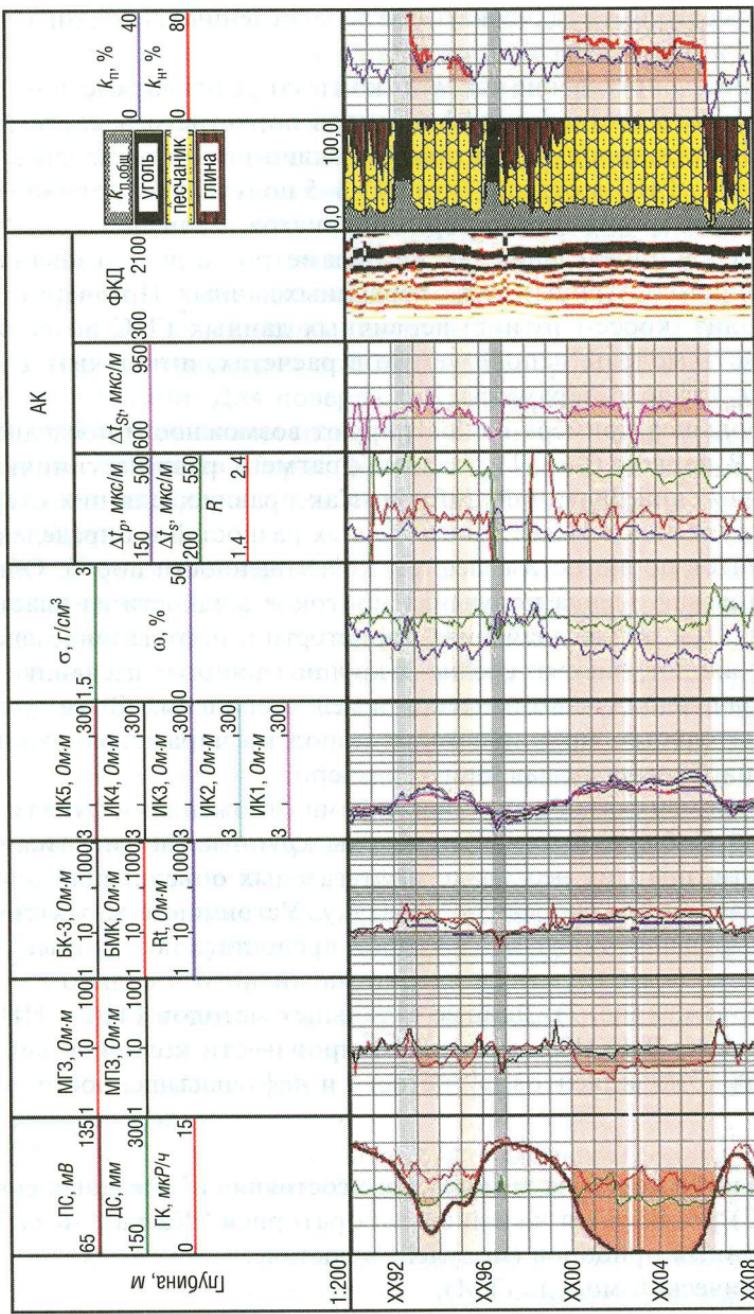


Рис. 1. Выделение и качественная оценка терригенных коллекторов по данным комплекса ГИС, включающего волновой акустический каротаж: по увеличению  $\Delta t_{St}$  выделяются проницаемые разности

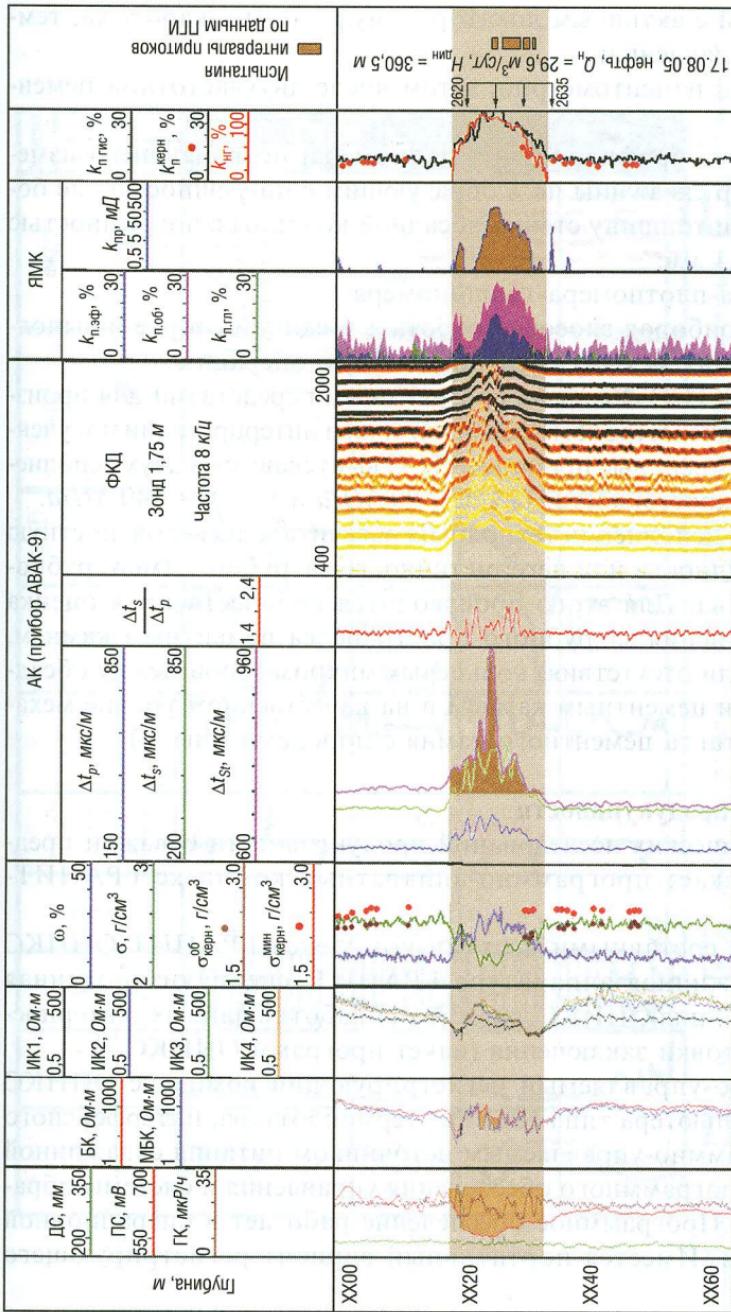


Рис. 2. Выделение и количественная оценка параметров коллектора в вулканогенной толще по комплексу ГИС, включающем ядерно-магнитный (в искусственном поле) и многоволновой акустический каротаж: цветом выделен коллектор; более интенсивным цветом – признаки его выделения; точки соответствуют значениям общих и минералогической плотностей и коэффициентам открытой пористости, измеренным на образцах керна; кривая ГС отражает отсутствие в коллекторе глин, а не его коллекторские свойства

- привязочный с активным локатором муфт, гамма-каротажа, температуры и давления;
- акустической цементометрии, в том числе двухчастотной цементометрии;
- акустического профилемера-толщиномера, позволяющего измерять диаметр скважины по 8 образующим с погрешностью не более  $\pm 0,2$  мм и толщину стенки обсадной колонны с погрешностью не более  $\pm 0,1$  мм;
- гамма-гамма-плотномера-толщиномера.

Комплекс приборов способен работать в единой сборке и выполнять исследования за одну спускопередъемную операцию.

Технология КТСС оснащена программными средствами для производства измерений, метрологической поверки и интерпретации полученных данных. Скважинные приборы КТСС выпускаются в двух исполнениях по термобаростойкости: 125 °C – 80 MPa и 175 °C – 140 MPa.

В авторском исполнении технология рассчитана на вероятностную оценку герметичности или негерметичности затрубного (межтрубного) пространства. Для этого производится количественная оценка полноты заполнения затрубного пространства цементным камнем, присутствия (или отсутствия) кольцевых микрозазоров между обсадной колонной и цементным камнем и на качественном уровне механического контакта цементного камня с породами (рис. 3).

### 3. Каротаж продуктивности

Для геофизических исследований продуктивности скважин предприятие выпускает программно-аппаратный комплекс ГРАНИТ-ОНИКС.

Основными составными частями комплекса ГРАНИТ-ОНИКС являются скважинная аппаратура ГРАНИТ, специализированная каротажная станция ОНИКС, средства обработки данных, интерпретации и подготовки заключения (пакет программ ОНИКС-2).

Программно-управляемый регистрирующий комплекс ОНИКС состоит из компьютера типа IBM PC, термоплоттера, интерфейсного блока с программируемым источником питания скважинной аппаратуры, программного обеспечения управления и системы обработки данных. Программное обеспечение работает в операционной среде Windows. Имеется портативный вариант регистрирующего комплекса.

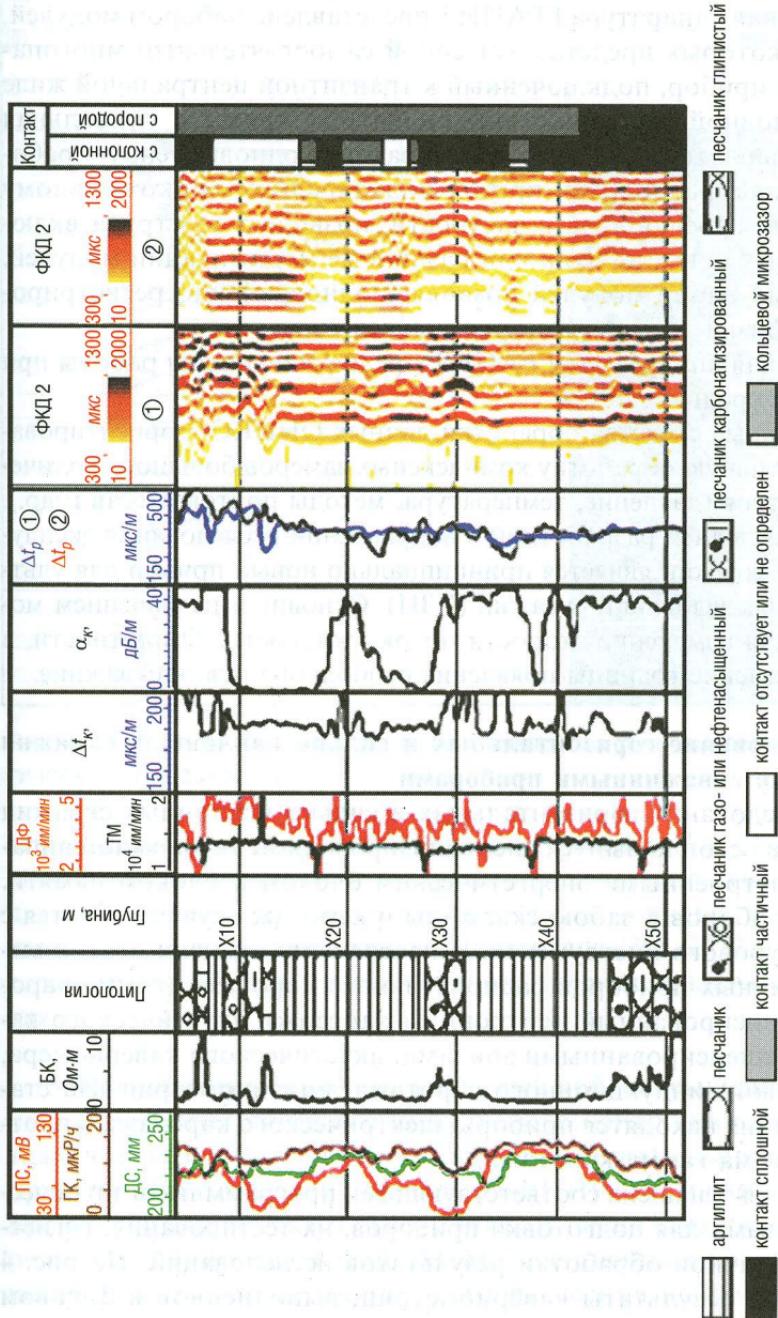


Рис. 3. Оценка качества затрубного пространства по данным акустической (АКЦ) и радиоактивной (СГДТ) цементометрии в интервале залегания газо- и нефтенасыщенных пород, которые подлежат безусловному

Скважинная аппаратура ГРАНИТ представлена набором модулей, каждый из которых представляет собой самостоятельный многопараметровый прибор, подключенный к транзитной центральной жиле кабеля. Основной особенностью аппаратуры является уникальная многоканальная телеметрия, обеспечивающая одновременную работу любого набора модулей при их подключении к одножильному каротажному кабелю. Это, в частности, позволяет без труда включать в систему новые модули или различные модификации модулей. Выпускаемый набор модулей позволяет одновременно регистрировать до 16 физических параметров в скважине.

Скважинная аппаратура ГРАНИТ предназначена для работы при температуре среды до 150 °С.

Программные средства обработки данных ОНИКС-2 ориентированы на оперативную обработку комплексных замеров большого количества параметров (давление, температура, методы приток-состав и др.).

Нашей последней разработкой в направлении исследования эксплуатационных скважин является принципиально новый прибор для ультразвуковых исследований скважин (УЗИ). Основным назначением модуля являются измерение скорости потока жидкости, ее плотности, а также определение границы появления свободного газа в скважине.

#### **4. Исследование горизонтальных и сильно наклонных скважин автономными скважинными приборами**

Для исследования горизонтальных и сильно наклонных скважин предприятие освоило выпуск специализированной автономной аппаратуры со встроенным энергетическим блоком и блоком памяти. Доставка приборов к забою скважины и каротаж осуществляются с помощью бурового инструмента. К настоящему времени освоен выпуск скважинных приборов радиоактивного каротажа (гамма-каротаж + компенсированный нейтронный каротаж), акустического каротажа с компенсированными зондами, акустического каверномера, многозондового индукционного каротажа, инклинометрии. На стадии завершения находятся приборы электрического каротажа и плотностного гамма-гамма-каротажа.

Технология оснащена соответствующими программными техническими средствами для подготовки приборов, их тестирования, регистрации и первичной обработки результатов исследований. На рис. 4 представлены результаты кавернometрии, выполненной в боковом

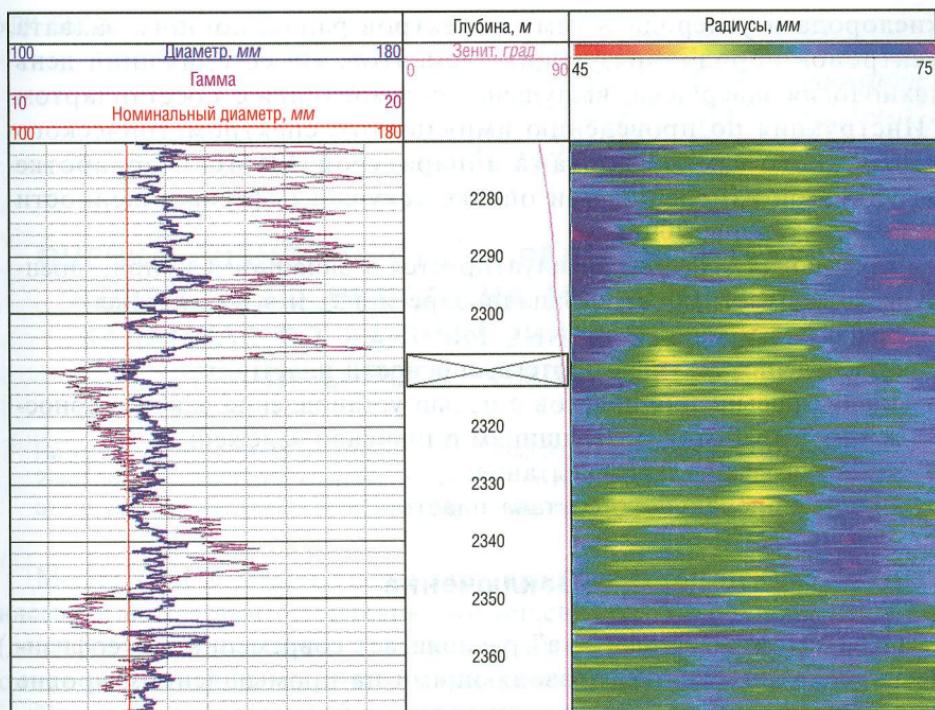


Рис. 4. Определение места установки пакера по данным автономного акустического профилемера

стволе автономным акустическим каверномером. Работы производились с целью определения ненарушенных участков ствола скважины для выбора места установки пакеров. Из рис. 4 видно, что ствол скважины сильно разрушен и только в интервале 2308–2312 м есть участок с диаметром, близким к номинальному, где рекомендовано установить пакер.

**5. Технология мониторинга текущей нефтенасыщенности** по данным спектрометрического импульсного нейтронного гамма-каротажа впервые в России была освоена специалистами нашего предприятия. Для этой цели совместно с ВНИИавтоматики (г. Москва) проведена разработка и освоен выпуск специализированной аппаратуры С/О-каротажа типа АИМС, основанная на индивидуальности гамма-спектров неупругого рассеяния нейтронов на ядрах

кислорода и углерода и гамма-спектров радиационного захвата нейтронов породообразующих элементов. На сегодняшний день технология завершена, выпущена согласованная с Госстандартом "Инструкция по проведению импульсного спектрометрического нейтронного гамма-каротажа аппаратурой АИМС и обработке результатов измерений при оценке текущей нефтенасыщенности пород". г. Тверь, 2004.

Технология успешно эксплуатируется в Западной Сибири, Оренбургской области, Северо-Западных регионах и в Казахстане.

Решаются задачи:

- определения текущей нефтегазоносности пластов;
- анализ насыщения пластов с целью установления закономерностей их выработки по толщинам и площади залежей;
- выбор объектов для испытания;
- анализ минерального состава пластов.

## Заключение

ООО "Нефтегазгеофизика" располагает современными геофизическими технологиями, позволяющими на промышленном уровне решать следующие геофизические задачи в процессе поиска, разведки и эксплуатации месторождений углеводородного сырья:

1. Выполнить полный комплекс геофизических исследований при поиске и разведке месторождений углеводородного сырья с момента начала исследований до подготовки геофизических материалов, необходимых для подсчета запасов.
2. Выполнить полный комплекс геофизических исследований технического состояния эксплуатируемых скважин и их продуктивности.
3. Осуществить мониторинг месторождений углеводородного сырья с количественной оценкой текущей нефтенасыщенности объектов.
4. Провести геофизические исследования горизонтальных и сильно пологих скважин с автономными скважинными приборами.
5. Осуществлять сервис и техническое перевооружение сервисных компаний в освоении новых методов ГИС: ЯМР, ГГК-ПЛ, СГК, АВАК и др.