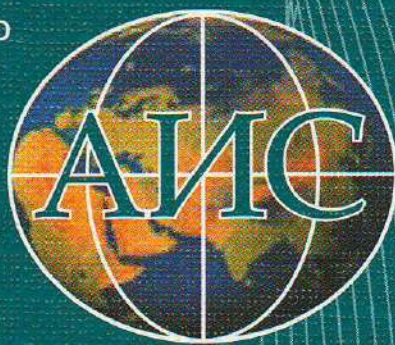


МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО  
И ДЕЛОВОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ  
ИССЛЕДОВАНИЯМ И РАБОТАМ В СКВАЖИНАХ

ISSN 1810-5599



3

(237)



ООО НПФ «АМК ГОРИЗОНТ»  
**15 лет**

# КАРОТАЖНИК

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

ТВЕРЬ 2014



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор**  
**Н. С. Березовский**

**Зам. гл. редактора,**  
**научный редактор**  
Ю. И. Кузнецов, д. г.-м. н., проф.

**Отв. редактор** С. В. Ларева

**Редактор** И. В. Шункова

**Члены редакционной коллегии:**

Ю. Н. Бармаков, д. т. н., проф.

Я. Н. Басин, д. т. н., проф. (США)

А. М. Блюменцев, д. т. н., проф.

А. Ф. Боярчук, к. г.-м. н.

Р. А. Валиуллин, д. т. н., проф.

В. А. Велижанин, к. т. н.

И. Н. Гайворонский, д. т. н., проф.

С. А. Дудаев, д. т. н.

Ф. Х. Еникеева, д. т. н.

В. Ю. Зайченко, д. г.-м. н.

В. И. Иванников, д. т. н., проф.

Л. Е. Кнеллер, д. т. н., проф.

Н. Г. Козыряцкий, к. т. н.

В. Ф. Козяр, д. т. н., проф.

А. К. Коньсов, д. т. н. (Казахстан)

М. Д. Красножон, д. геол. н.

(Украина)

А. А. Кременецкий, д. г.-м. н., проф.

О. Л. Кузнецов, д. т. н., проф.

Э. Е. Лукьянов, д. т. н.

А. В. Малинин, к. г.-м. н.

Ф. П. Митрофанов, д. г.-м. н.,  
проф., академик РАН

А. А. Молчанов, д. т. н., проф.

Т. Н. Нестерова, к. т. н.

Г. А. Павленко, к. т. н.

В. А. Трофимов, д. г.-м. н., проф.

В. Г. Фоменко, д. г.-м. н., проф.

Р. Т. Хаматдинов, д. т. н., проф.

М. И. Эпов, д. т. н., проф.,

академик РАН

Г. Г. Яценко, д. г.-м. н.

### **Издательство "АИС"**

Россия, 170041, г. Тверь,  
ул. Зинаиды Коноплянниковой,  
д. 17, корп. 1

Лицензия ЛР № 030838

от 29 июня 1998 г.

Свидетельство ПИ № 77-36891

от 20 июля 2009 г.

Индекс Роспечати – 82015.

ISSN 1810-5599.

Подписано в печать 3.03.2014.

Формат 60/84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 10,5. Уч.-изд. л. 10,5.

Тираж 1130. Зак. № 1444.

Компьютерная верстка, макет

ООО "Издательство "Триада".

Отпечатано в ООО "Тверская  
фабрика печати".

© Издательство "АИС", 2014



## **Научно-технический вестник**

*(рецензируемое издание)*

Год издания двадцать третий

# **КАРОТАЖНИК**

**Выпуск 3 (237)**

*Посвящен 15-летию*

**ООО НПФ "АМК ГОРИЗОНТ"**

**ТВЕРЬ  
2014**



# Производственный опыт

---

---

УДК 550.832.73

*Л. Г. Леготин, И. В. Кузьмин,  
Д. М. Миниханов, В. Ф. Вячина  
ООО НПФ "АМК ГОРИЗОНТ"*

## **МНОГОЗОНДОВЫЕ МЕТОДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА В АМК "ГОРИЗОНТ" И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

На практических примерах рассмотрены особенности применения многозондовых методов электрического и электромагнитного каротажей при геофизических исследованиях наклонных и горизонтальных скважин. Показана сравнительная эффективность использования этих методов в скважинах, пробуренных в терригенных и карбонатных разрезах с применением различных типов буровых растворов.

*Ключевые слова: многозондовые методы каротажа, карбонатный разрез, горизонтальная скважина, зона проникновения.*

Научно-производственная фирма "АМК ГОРИЗОНТ" занимается разработкой, изготовлением и внедрением специализированных аппаратурно-методических комплексов (АМК) "ГОРИЗОНТ" для геофизических исследований горизонтальных скважин и боковых стволов автономными приборами, спускаемыми на бурильных трубах.

Особое место в геофизических исследованиях горизонтальных скважин занимают электрические и электромагнитные методы каротажа. В настоящее время в составе АМК "ГОРИЗОНТ" имеются многозондовые методы ВИКИЗ, ИК, МБК и симметричные градиент-зонды (СГЗ) (табл.). В данной статье показаны особенности и эффективность их применения в различных геолого-технических



условиях, в том числе при исследовании горизонтальных скважин, пробуренных в терригенном и карбонатном разрезе с применением соленых, пресных и непроводящих буровых растворов.

Таблица

Аппаратура и методы многозондового каротажа в АМК "ГОРИЗОНТ"

Название автономного комплекса	Геофизические методы
ГОРИЗОНТ-90	ГК, НГК, НКТ-25, НКТ-50, ПС, КС (3 зонда), инклинометр
ГОРИЗОНТ-90-К4	ГК, НГК, НКТ-25, НКТ-50, ПС, КС (3 зонда), инклинометр, резистивиметр, ИК (2 зонда), манометр, термометр
ГОРИЗОНТ-90-ВИКИЗ	ВИКИЗ (5 зондов)
ГОРИЗОНТ-90-К6	ГК, НГК, НКТ-25, НКТ-50, СГЗ (6 зондов), МБК (6 зондов), ПС, инклинометр, резистивиметр, манометр, термометр

Несомненным преимуществом многозондовых методов каротажа является возможность оценки физических свойств пород вдали от стенки скважины, то есть в зоне проникновения фильтрата бурового раствора и за ее пределами. Достигается это за счет использования зондов с разной глубиной исследования. Для этого, например, в АМК "ГОРИЗОНТ-90-К6" используется по 6 зондов СГЗ и БК длиной от 0,5 м (короткий зонд) до 1,75 м (длинный зонд) с интервалом 0,25 м. При этом чем длиннее зонд, тем больше его глубина исследования.

В результате теоретических расчетов получены соответствующие палеточные зависимости, разработано программное и методическое обеспечение. В качестве примера на рис. 1 приведены палетки для зондов бокового каротажа, рассчитанные для диаметра скважины 216 мм с понижающей ( $\rho_p/\rho_{zp} = 15$ ) и повышающей ( $\rho_p/\rho_{zp} = 0,2$ ) зоной проникновения.

При наличии зоны проникновения в соответствии с палетками каждым из шести разноглубинных зондов измеряются кажущиеся значения удельного электрического сопротивления (УЭС) породы ВК1–ВК6 (обозначены зеленым цветом).

При обработке результатов измерений в скважине вначале используются палетки, рассчитанные для номинального диаметра скважины при отсутствии зоны проникновения ( $\rho_p/\rho_{zp} = 1$ ).







В этом случае в интервалах, где зона проникновения бурового раствора в пласт отсутствует или минимальна, в результате обработки по всем зондам получаем значение УЭС, близкое к реальному значению в скважине.

При наличии понижающей зоны проникновения расчетные значения УЭС будут меньше УЭС породы за пределами зоны проникновения. На нижнем левом графике рис. 1 видно, что расчетные значения УЭС находятся в интервале 27–45 Ом·м (обозначен желтым цветом) и значительно ниже истинного значения 70 Ом·м. Причем минимальные значения получаются при обработке коротких зондов ВК1, а максимальные – при обработке длинных зондов ВК6.

При наличии повышающей зоны проникновения расчетные значения УЭС будут больше УЭС породы за пределами зоны проникновения. На нижнем правом графике рис. 1 видно, что расчетные значения УЭС находятся в интервале 13–15 Ом·м (обозначен синим цветом) и значительно выше истинного значения 5 Ом·м. При этом на короткие зонды ВК1 повышающая зона проникновения оказывает более сильное влияние, чем на длинные зонды ВК6.

Для получения истинных значений УЭС породы в интервалах расхождения кривых подбираются такие параметры зоны проникновения, чтобы по всем зондам расчетные значения УЭС породы совпадали с заданной точностью.

Аналогичным образом производится измерение и обработка многозондовых методов СГЗ и ВИКИЗ.

Для иллюстрации на рис. 2 приведены результаты исследования наклонной скважины с понижающей зоной проникновения ( $D_c = 124$  мм,  $\rho_s = 0,18$  Ом·м).

Из приведенных диаграмм видно, что по данным ВИКИЗ, СГЗ и МБК выделяются интервалы коллекторов с понижающей зоной проникновения. В этих интервалах происходит фильтрация соленого бурового раствора в породу, из-за чего ее сопротивление снижается и диаграммы, зарегистрированные зондами разной длины, “разбегаются” по величине УЭС. Величина этого “разбега” зависит от минерализации фильтрата бурового раствора и от диаметра зоны проникновения. Причем по всем методам в интервале понижающей зоны проникновения наблюдается закономерное снижение кривых сопротивления с уменьшением длины зонда.

Отметим, что понижающая зона проникновения меньше всего сказывается на результатах измерений зондами бокового каротажа.



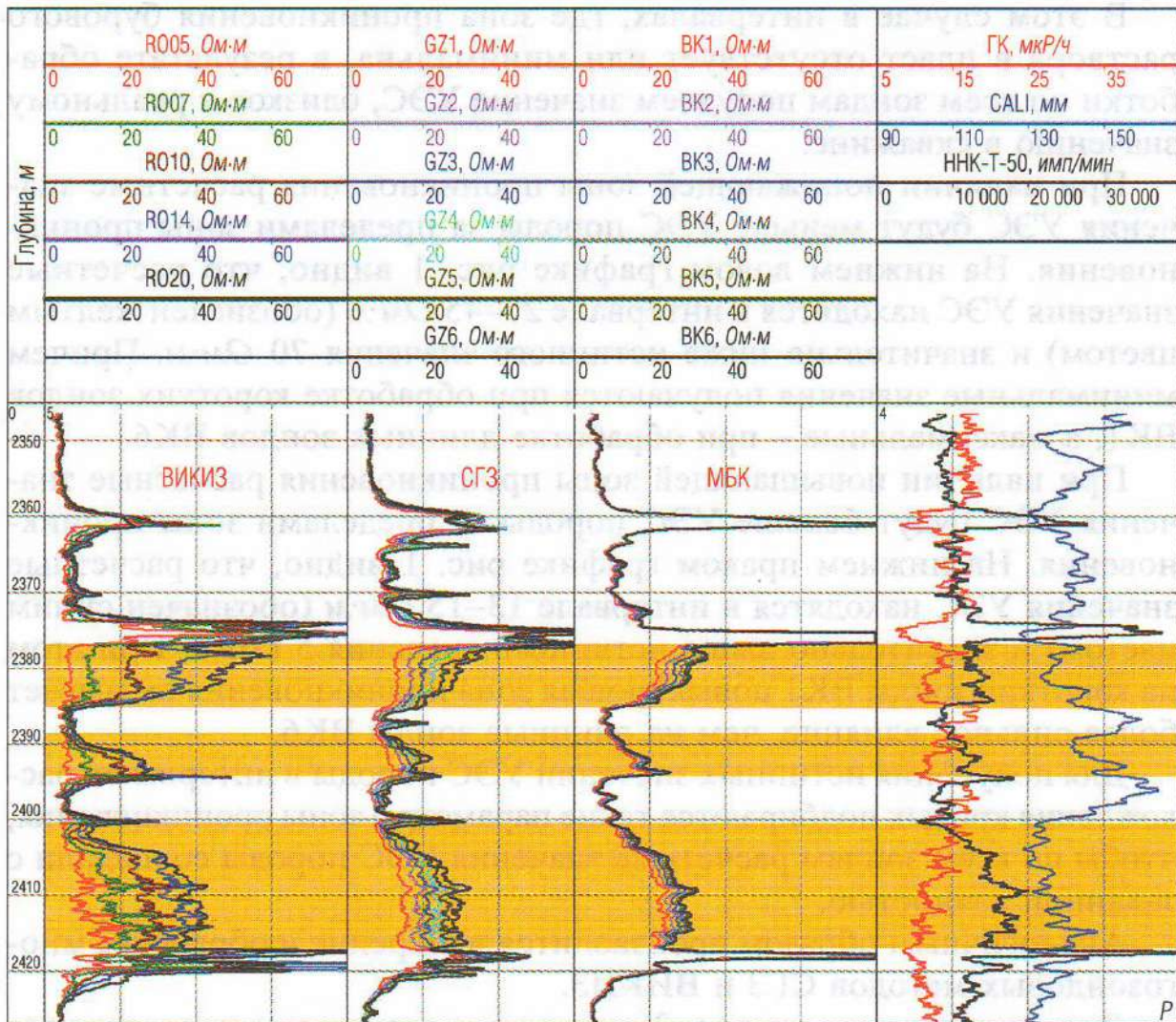


Рис. 2. Пример исследования скважины с понижающей зоной проникновения ( $D_c = 124$  мм,  $\rho_s = 0,18$  Ом·м)

На рис. 3 приведены результаты исследования скважины с повышающей зоной проникновения ( $D_c = 124$  мм,  $\rho_s = 2$  Ом·м).

Здесь в интервалах коллекторов происходит фильтрация пресного фильтрата бурового раствора в пласт. При этом в зоне проникновения электрическое сопротивление пласта возрастает по отношению к сопротивлению пласта за пределами зоны проникновения. Наиболее четко повышающая зона проникновения выделяется по данным ВИКИЗ, при этом она оказывает минимальное влияние на длинные зонды ВИКИЗ, которые дают значения сопротивления, близкие к УЭС коллектора.



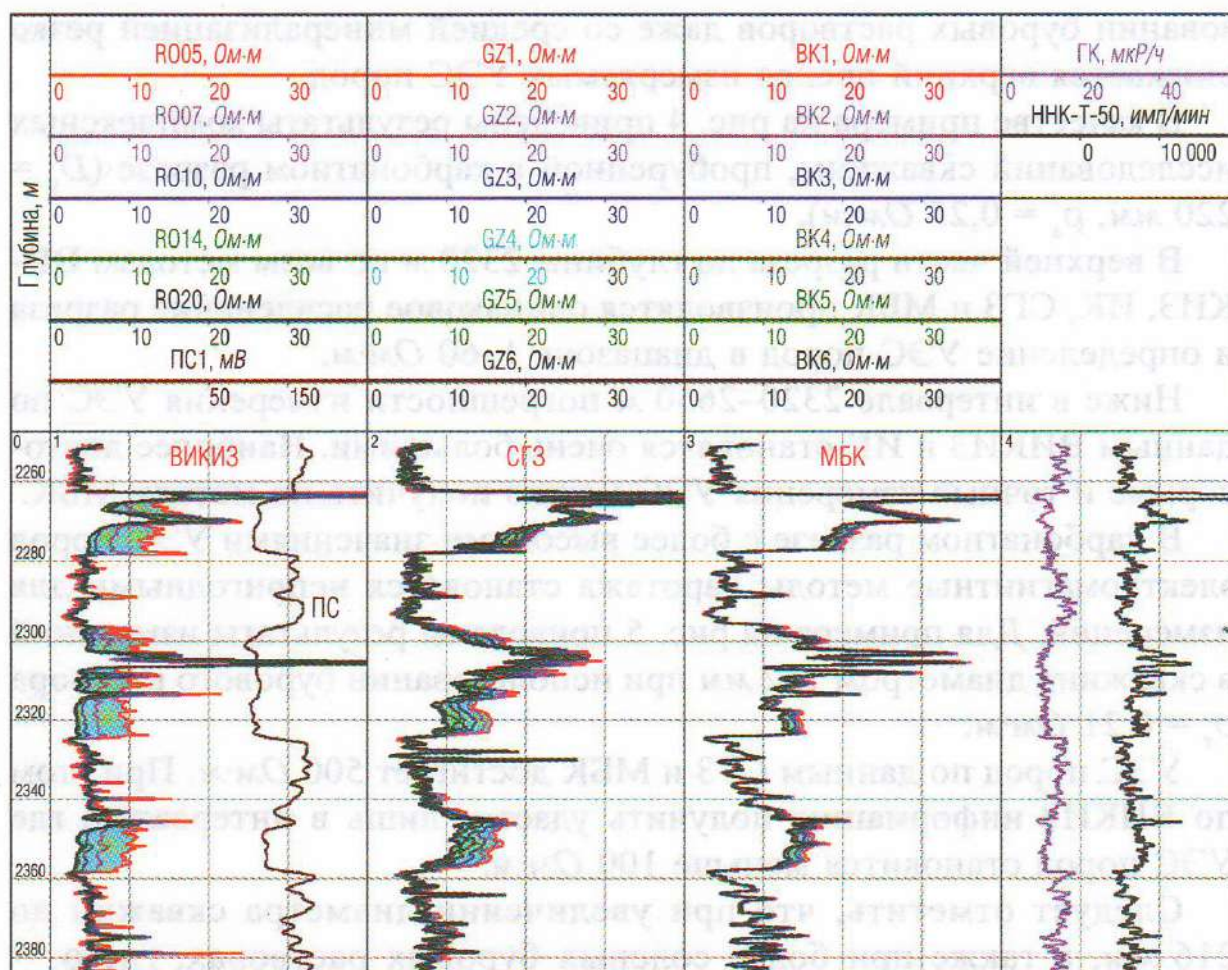


Рис. 3. Пример исследования скважины с повышающей зоной проникновения ( $D_c = 124$  мм,  $\rho_s = 2$  Ом·м)

По методу МБК основной вклад в измеряемое УЭС вносит повышающая зона проникновения. При глубокой зоне проникновения по всем зондам МБК будет регистрироваться сопротивление пласта в зоне проникновения, и определить истинное электрическое сопротивление коллектора за ее пределами не удастся.

Метод СГЗ занимает промежуточное положение, и его можно использовать для определения параметров коллектора и повышающей зоны проникновения.

При геофизических исследованиях скважин, пробуренных в карбонатном разрезе, применение электромагнитных методов каротажа (ИК, ВИКИЗ) оправдано только при использовании пресных и непроводящих буровых растворов. Это связано с тем, что при исполь-



зовании буровых растворов даже со средней минерализацией резко снижается верхний предел измеряемых УЭС пород.

В качестве примера на рис. 4 приведены результаты комплексных исследований скважины, пробуренной в карбонатном разрезе ( $D_c = 220$  мм,  $\rho_s = 0,25$  Ом·м).

В верхней части разреза до глубины 2320 м по всем методам ВИКИЗ, ИК, СГЗ и МБК производится одинаковое расчленение разреза и определение УЭС пород в диапазоне 1–60 Ом·м.

Ниже в интервале 2320–2650 м погрешности измерения УЭС по данным ВИКИЗ и ИК становятся очень большими. Наиболее достоверные и точные измерения УЭС можно получить по методу МБК.

В карбонатном разрезе с более высокими значениями УЭС пород электромагнитные методы каротажа становятся непригодными для измерений. Для примера на рис. 5 приведены результаты измерений в скважине диаметром 152 мм при использовании бурового раствора  $\rho_s = 0,21$  Ом·м.

УЭС пород по данным СГЗ и МБК достигает 500 Ом·м. При этом по ВИКИЗ информацию получить удастся лишь в интервалах, где УЭС пород становится меньше 100 Ом·м.

Следует отметить, что при увеличении диаметра скважин до 216 мм, а также при более соленых буровых растворах, где  $\rho_s < 0,1$  Ом·м, применение электромагнитных методов каротажа (ВИКИЗ и ИК) в карбонатном разрезе становится невозможным.

Методы ИК и ВИКИЗ, получившие массовое применение при исследовании вертикальных скважин в терригенном разрезе, во многих случаях при исследовании горизонтальных скважин не дают желаемого результата.

Во-первых, при бурении горизонтальных скважин все чаще используются полимерные и соленые промывочные жидкости, которые значительно снижают верхний предел измеряемого УЭС породы. Во-вторых, в условиях слоистого разреза в непосредственной близости от продуктивного пласта или в пределах самого пласта вдоль по простиранию присутствуют высокоомные пропластки, которые существенно влияют на методы ИК и ВИКИЗ.

В качестве примера на рис. 6 приведены результаты геофизических исследований горизонтальной скважины методами ВИКИЗ, БК и СГЗ ( $D_c = 126$  мм,  $\rho_s = 0,2$  Ом·м).



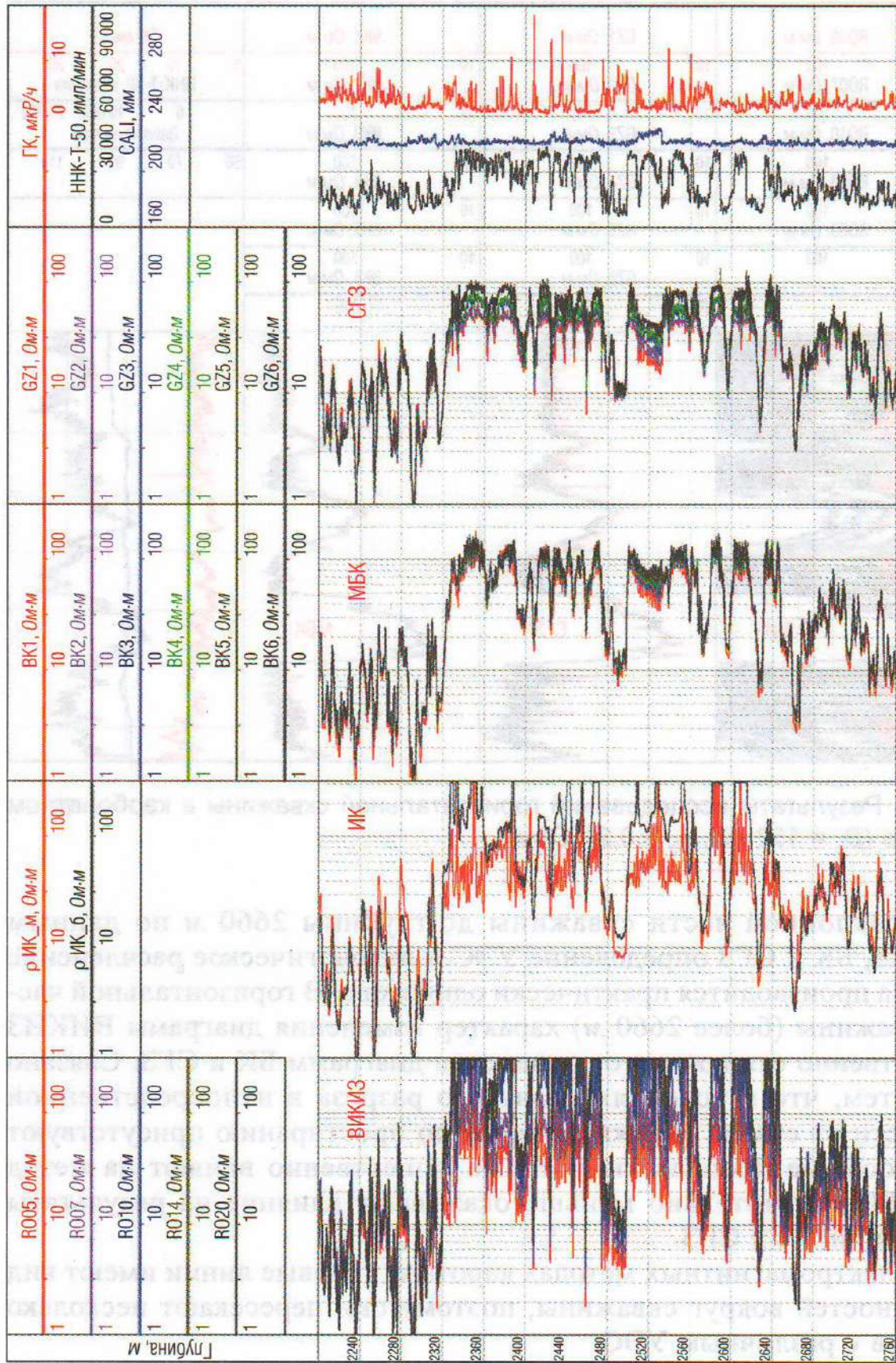


Рис. 4. Результаты комплексных исследований исследований скважины, пробуренной в карбонатном разрезе ( $D_c = 220$  мм,  $\rho_s = 0,25$  Ом·м)



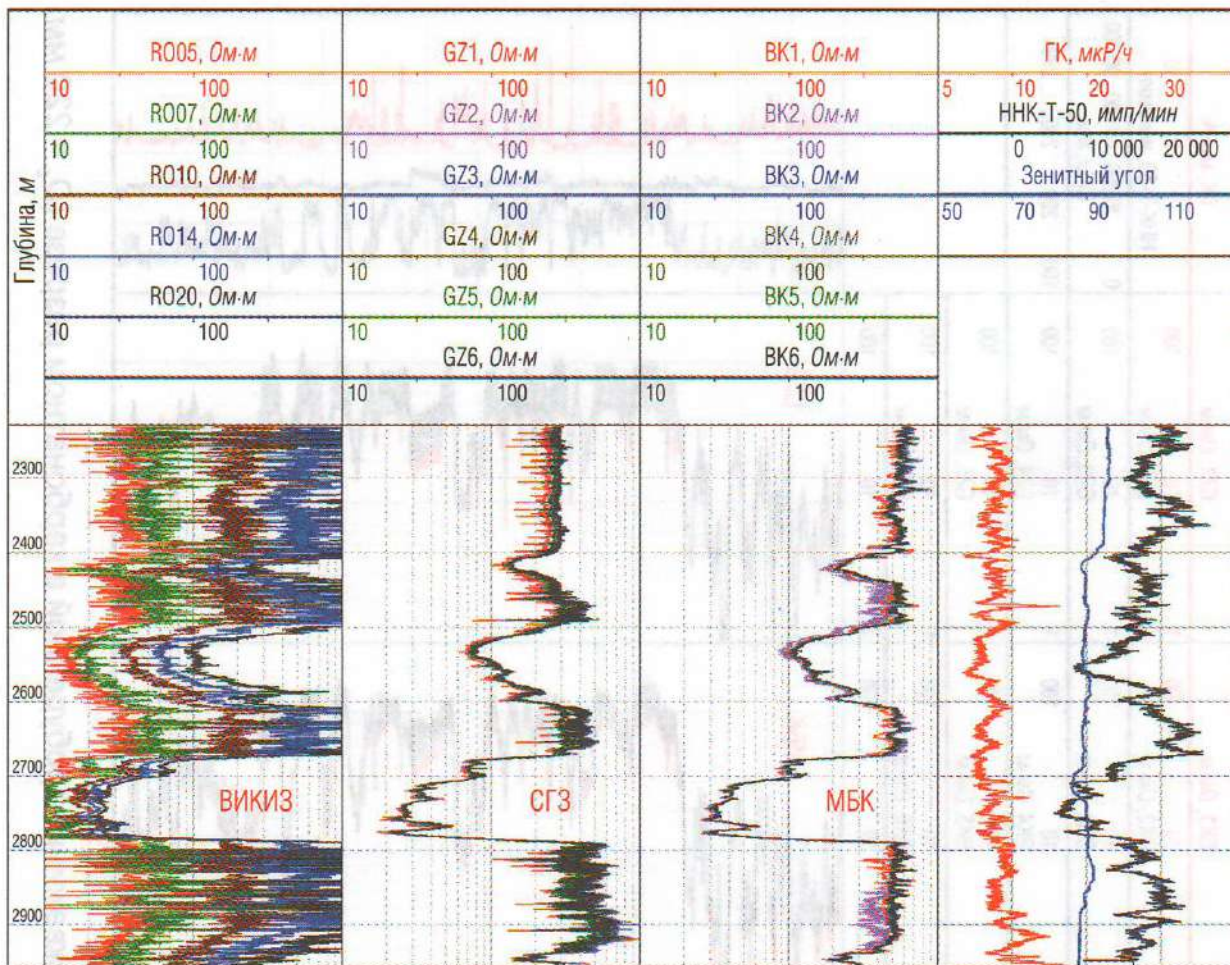


Рис. 5. Результаты исследований горизонтальной скважины в карбонатном разрезе ( $D_c = 152$  мм,  $\rho_s = 0,21$  Ом·м)

В наклонной части скважины до глубины 2660 м по данным ВИКИЗ, БК и СГЗ определение УЭС и литологическое расчленение разреза производится практически одинаково. В горизонтальной части скважины (более 2660 м) характер изменения диаграмм ВИКИЗ существенно отличается от поведения диаграмм БК и СГЗ. Связано это с тем, что в условиях слоистого разреза в непосредственной близости от ствола скважины вдоль по простиранию присутствуют высокоомные пропластки, которые существенно влияют на метод ВИКИЗ и значительно меньше оказывают влияние на результаты измерений БК и СГЗ.

В электромагнитных методах каротажа токовые линии имеют вид окружностей вокруг скважины, поэтому они пересекают несколько пластов с различным УЭС.



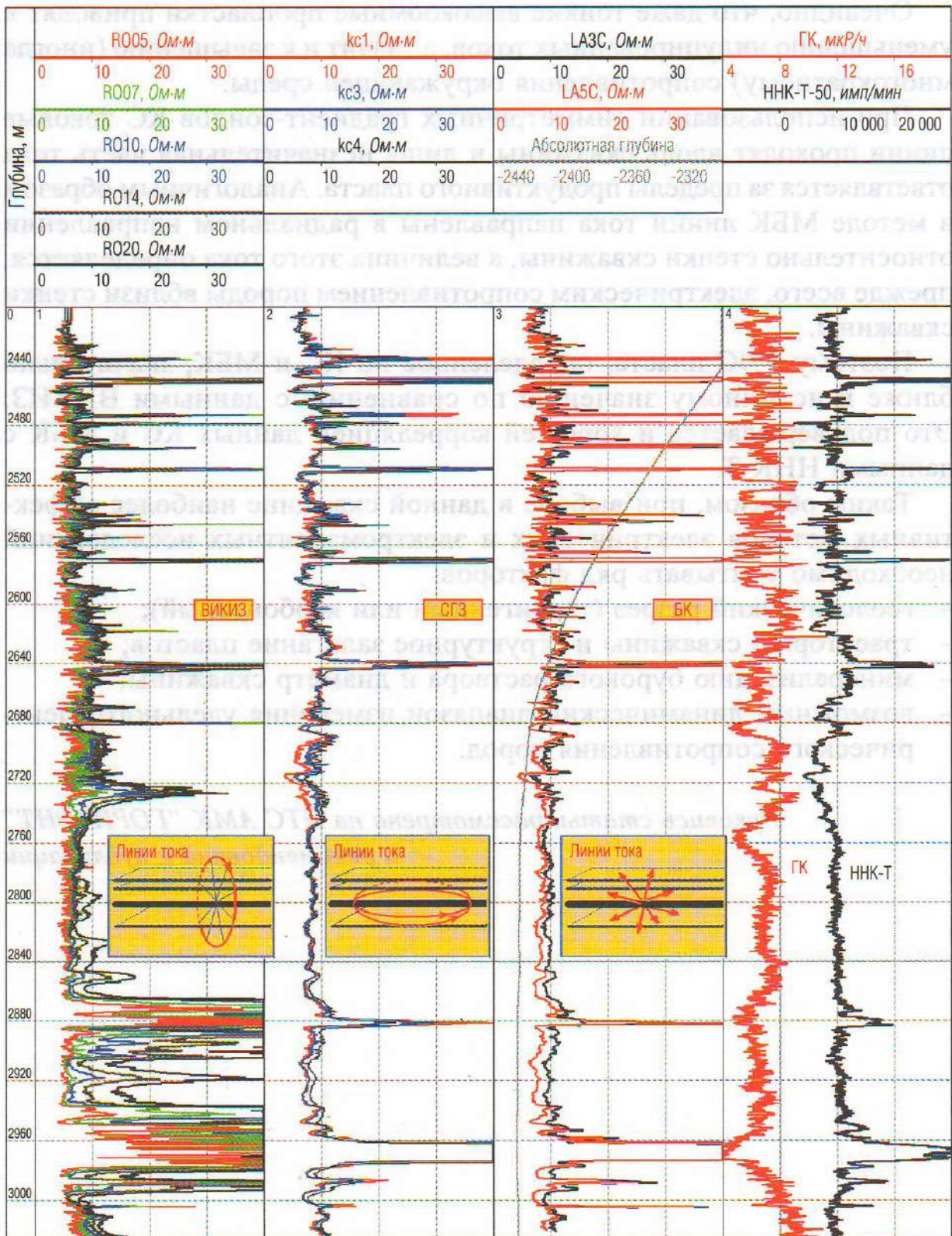


Рис. 6. Пример исследования горизонтальной скважины методами ННК-Т, ГК, ВИКИЗ, БК и СГЗ



Очевидно, что даже тонкие высокоомные пропластки приводят к уменьшению индуцированных токов, а значит и к завышению (иногда многократному) сопротивления окружающей среды.

При использовании симметричных градиент-зондов КС токовые линии проходят вдоль скважины и лишь незначительная часть тока ответвляется за пределы продуктивного пласта. Аналогичным образом в методе МБК линии тока направлены в радиальном направлении относительно стенки скважины, а величина этого тока определяется, прежде всего, электрическим сопротивлением породы вблизи стенки скважины.

Поэтому УЭС пласта, определенное по КС и МБК, значительно ближе к истинному значению по сравнению с данными ВИКИЗ. Это подтверждается и хорошей корреляцией данных КС и МБК с данными ННК-Т.

Таким образом, при выборе в данной скважине наиболее эффективных методов электрических и электромагнитных исследований необходимо учитывать ряд факторов:

- геологический разрез (терригенный или карбонатный);
- траекторию скважины и структурное залегание пластов;
- минерализацию бурового раствора и диаметр скважины;
- возможный динамический диапазон изменения удельного электрического сопротивления пород.

*Рукопись статьи рассмотрена на НТС АМК "ГОРИЗОНТ"  
и рекомендована к публикации*

