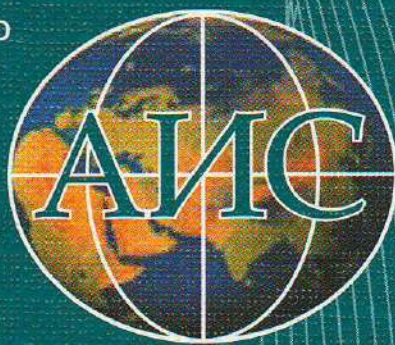


МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО  
И ДЕЛОВОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ  
ИССЛЕДОВАНИЯМ И РАБОТАМ В СКВАЖИНАХ

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**



УДК 550.832

А. А. Ахмадеев, Л. Г. Леготин, А. М. Султанов  
ООО НПФ "АМК ГОРИЗОНТ"

## ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН И БОКОВЫХ СТВОЛОВ АВТОНОМНОЙ АППАРАТУРОЙ НА ТРУБАХ

На практических примерах рассмотрено отличие интерпретации материалов ГИС, полученных автономной и "кабельной" аппаратурой. Проведен анализ влияния на различные методы профиля скважины, вмещающих пород, минерализации раствора и других факторов.

*Ключевые слова:* каротаж, автономная аппаратура, горизонтальные скважины, кавернозность, минерализация бурового раствора, электромагнитные методы, вмещающие породы.

Горизонтальные скважины (ГС) и боковые стволы (БС) являются элементами современной технологии, предполагающей хорошее информационное обеспечение. Исследование ГС и БС проводится стандартными методами и комплексами, которые применяются для исследования и в вертикальных скважинах. Методика интерпретации также чаще всего используется стандартная. Однако при интерпретации ГС нужно учитывать множество нюансов и влияющих факторов, таких как анизотропия пластов, пересеченных стволом ГС, влияние профиля скважины, пересечение пластов под различными углами и т. д.

В связи с этим в данной статье сделана попытка дать ответы на наиболее часто задаваемые специалистами-интерпретаторами вопросы, с которыми они сталкиваются при выдаче заключений по непосредственной комплексной интерпретации данных, полученных автономной аппаратурой в ГС и БС.

### **Достоверность измерения глубины, неувязка методов между собой**

Как показывает практика, при соблюдении регламента проведения ГИС в ГС и БС данные геофизических методов, полученные с помощью автономной аппаратуры, имеют хорошую сходимость по



глубине с данными исследований, проведенных на кабеле, а также с замерами, полученными телеметрией в процессе бурения.

Проблемы начинают возникать, когда ствол скважины плохо подготовлен к каротажу, подъем (спуск) аппаратуры на бурильном инструменте происходит с неравномерной скоростью, с остановками в момент затяжек, с последующим срывом прибора с места и увеличением скорости движения. Поскольку модули различных методов в комплексе АМК «ГОРИЗОНТ» расположены на различных расстояниях друг от друга, соответственно одни методы проходят определенный участок с одной скоростью, другие – с другой. В таких случаях на записи наблюдается неувязка между собой методов, находящихся в одном комплексе, и несоответствие полученных данных и глубин по стволу скважины. На рис. 1 показан пример разновременной записи, проведенной в одном и том же стволе одним и тем же комплектом аппаратуры без проработки скважины и после качественной проработки. Нетрудно заметить отличия до проработки: методы ВИКИЗ имеют ступенчатый вид, хорошо видна неувязка с методами РК. При затяжках можно наблюдать кратковременные стоянки прибора. Это связано с тем, что в момент прихвата прибора на затяжке происходит его остановка, хотя на устье буровая колонна продолжает перемещение из-за своей растяжки. Поскольку замер глубины производится на устье скважины, то эти стоянки невозможно отследить и исключить из записи.

Таким образом, теряется одно из главных преимуществ автономных комплексов (то, что все методы жестко увязаны между собой). Интерпретатору приходится двигать диаграммы всех методов относительно друг друга, пытаясь увязать их друг с другом. Качественно оценить значения  $\rho_n$  по электрометрии и ВИКИЗ, а также другие петрофизические характеристики разреза становится проблематично.

### **Отличие замеров зенитного угла и азимута с данными телеметрии и данными на кабеле**

Основная и самая распространенная причина расхождений углов – это неувязка данных инклинометрии. Поскольку в автономной аппаратуре методы увязаны между собой единой точкой записи, можно с уверенностью говорить, что именно такой зенитный угол и азимут содержатся именно в данной точке геологического разреза (или пласт-коллектор вскрыт именно под таким углом).



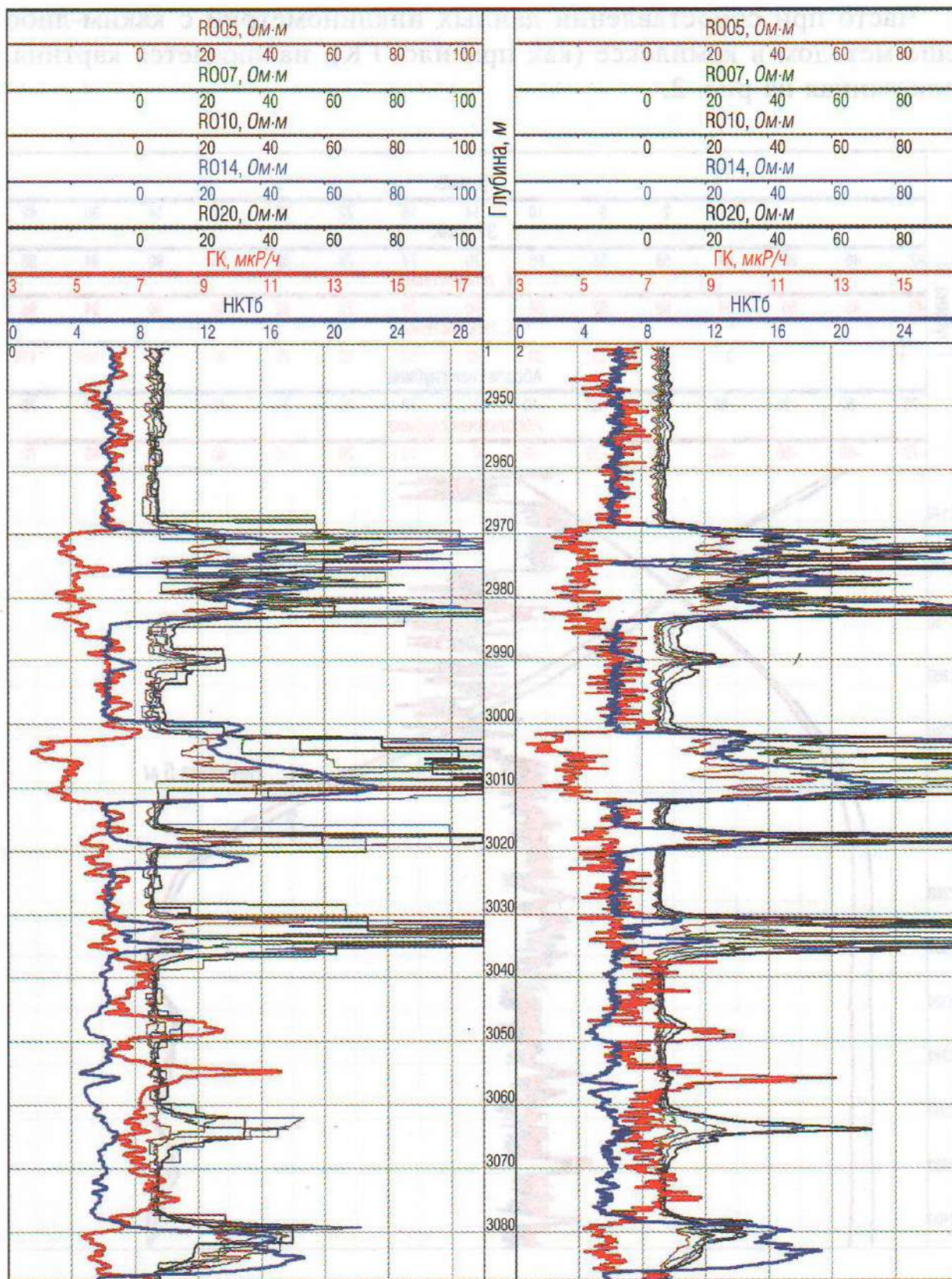


Рис. 1. Пример разновременной записи до проработки ствола и после



Часто при сопоставлении данных инклинометрии с каким-либо еще методом в комплексе (как правило, ГК), наблюдается картина, показанная на рис. 2.

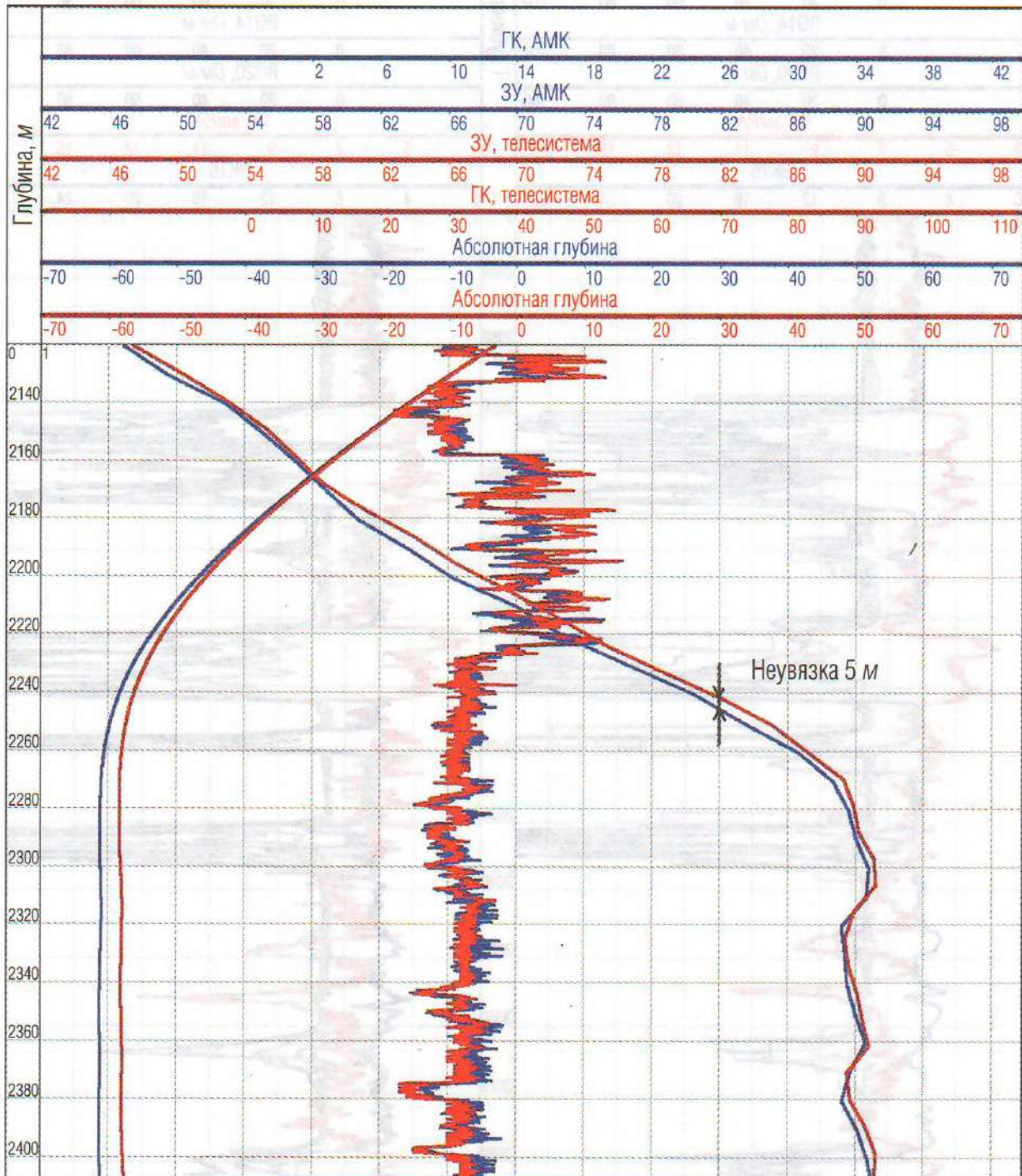


Рис. 2. Пример сопоставления замеров АМК "ГОРИЗОНТ" с данными телеметрии



При увязке по ГК замеров АМК «ГОРИЗОНТ» и телеметрии и одновременном сопоставлении зенитных углов видно, что данные телеметрии находятся выше на 4,5 м. Это приводит к отличиям по значениям в интервале интенсивного набора угла в  $1-1,5^\circ$  и, как следствие, к существенным (до 5 м) различиям по абсолютным отметкам.

На основании каротажных данных, полученных в пилотном стволе, по которым определяются проектные точки входа в продуктивный пласт и расположение горизонтального ствола, простая неувязка данных может привести к серьезным ошибкам и последствиям, таким как непопадание в пласт или проходка ствола ниже ВНК.

Часто в последнее время заказчики не заказывают инклинометрию при проведении комплекса ГИС, делая ставку на замеры телеметрии, без геофизического контроля. Такая экономия на одном из основных методов при проводке ГС может привести в дальнейшем к очень большим затратам.

### **Влияние вмещающих пород на показания различных методов**

В зависимости от траектории ствола, его профиля и пространственного расположения, на результатах тех или иных методов будет сказываться влияние анизотропии пласта или вмещающих пород, что может привести к ошибке при интерпретации. Как правило, наибольшему влиянию подвержены индукционные методы (ИК, ВИКИЗ).

Связано это с тем, что в методах индукционного каротажа токовые линии имеют вид окружностей вокруг скважины, поэтому они пересекают несколько пластов с различным удельным электрическим сопротивлением (рис. 3).

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

Это влияние может также сказываться на акустических методах. На методах РК (ГК, 2ННК-Т) влияние вмещающих пород из-за малой глубинности методов практически не сказывается. Сегодня количественно оценить это влияние не представляется возможным ввиду сложности поставленной задачи и невозможности учета всех факторов. Однако умение правильно определять по полученной информации, присутствует ли влияние анизотропии пород на методы



или нет, в большинстве случаев помогает при выдаче качественного заключения. На рис. 4 показан один из случаев влияния высокоомного пласта на показания ВИКИЗ.

На первый взгляд кажется, что кривые ВИКИЗ и РК не увязаны между собой, причем в данном случае почти на 20 м. Однако при детальном анализе, сопоставлении с траекторией ствола, сравнении с данными симметричных градиент-зондов становится ясно, что это не является неувязкой. Нетрудно заметить, что разные по глубинности зонды по-разному отбивают кровлю плотного пласта, наиболее достоверные данные по расчленению разреза наблюдаются по короткому зонду. Это подтверждается тем, что начало реакции большого зонда отмечается повышением показаний на глубине 1470 м (1281,2 по а. о.), а кровля высокоомного плотного пласта отбивается на глубине 1487 м (1282,4 по а. о.). Разница по абсолютным отметкам составляет всего 1,2 м, при глубинности большого зонда ВИКИЗ 2,0 м это вполне реально.

Еще один пример влияния плоских границ на показания ИК-методов показан на рис. 5.

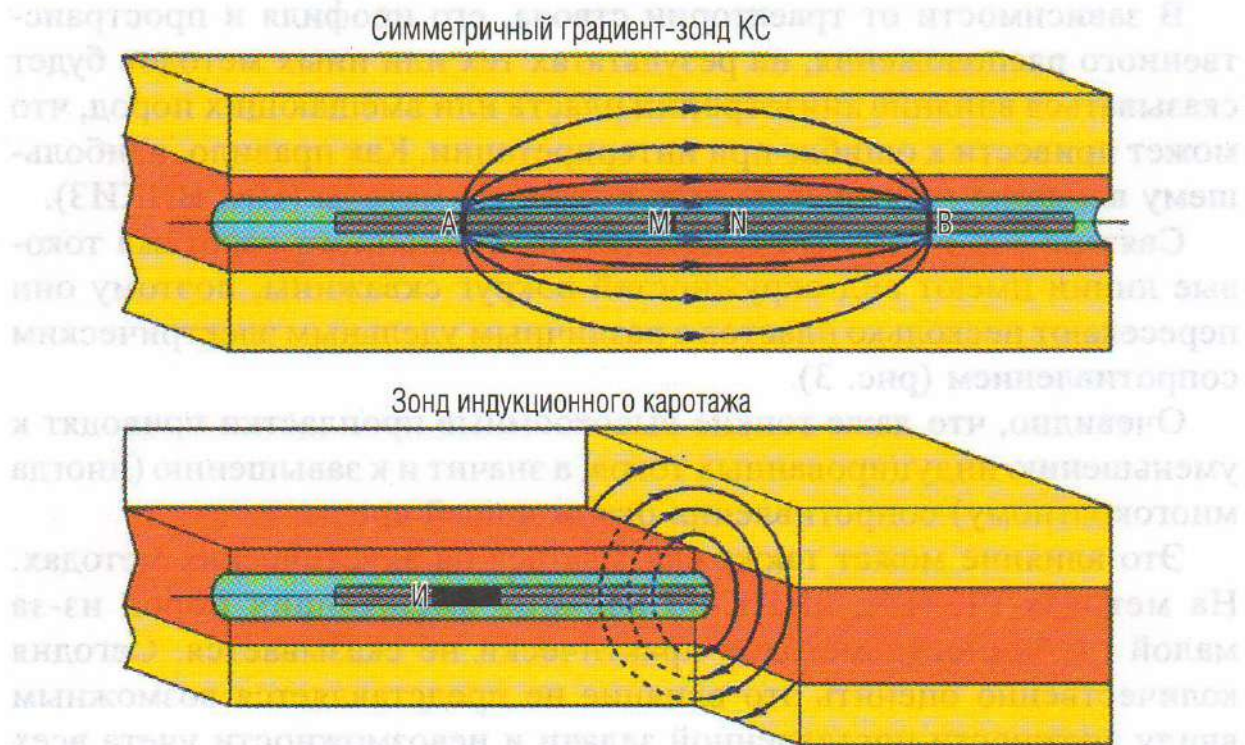


Рис. 3. Отличия физики измерений электромагнитных (ИК) и электрических (КС) методов



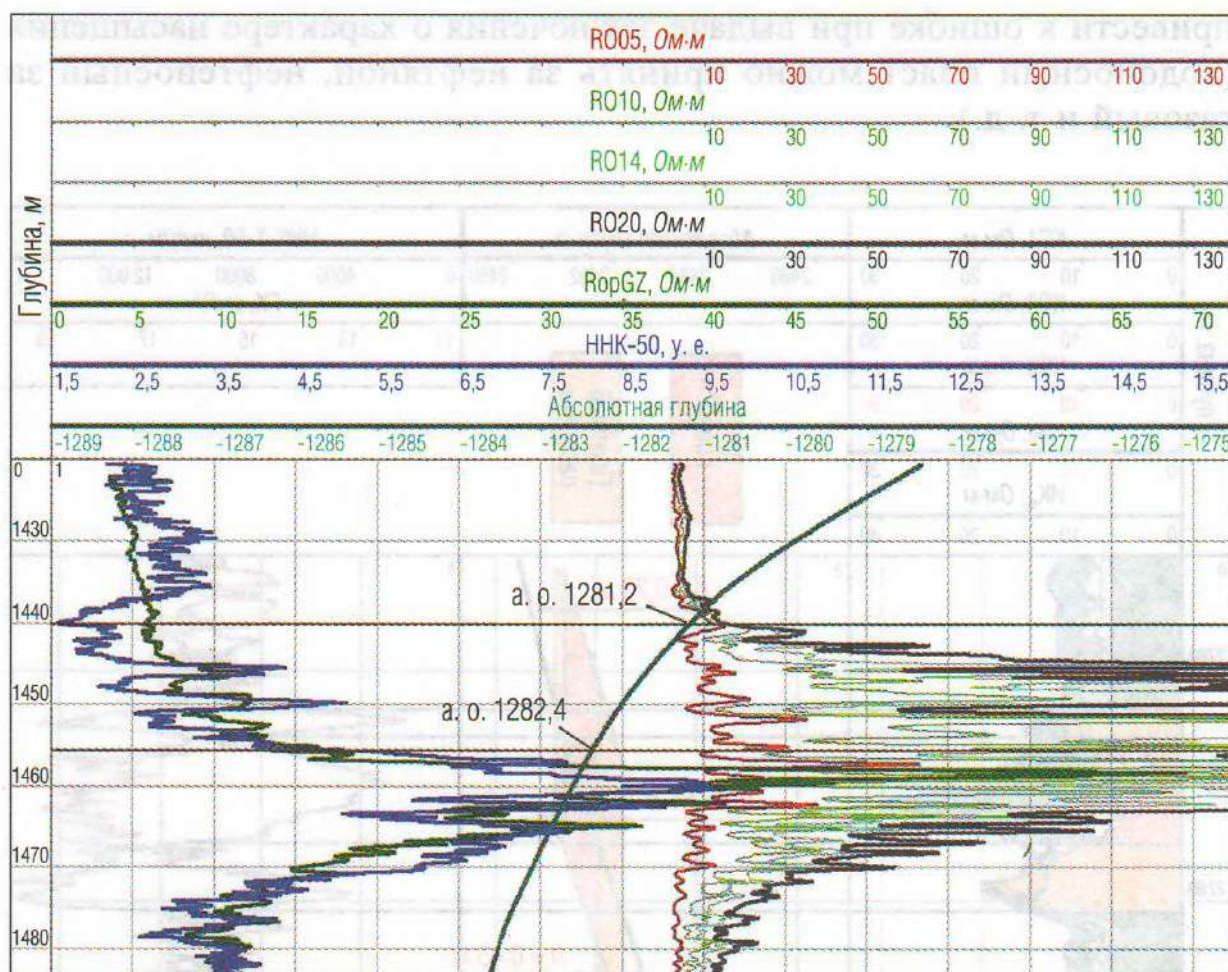


Рис. 4. Влияние высокоомного пласта на показания ВИКИЗ

На глубине 2765–2775 м отмечается глинистый пласт, в кровле и подошве которого залегают плотные высокоомные песчаники. Ствол скважины пересекает их под очень малыми углами, и мощность глин по вертикали составляет всего 0,65 м. Поскольку глубинность большого зонда ИК составляет 1 м, то под влиянием вмещающих высокоомных пропластков он регистрирует повышенные показания сопротивления, чего не наблюдается по показаниям градиент-зондов.

Помимо ошибочной отбивки границ пластов, в таких случаях существует еще более серьезная проблема – это расчет сопротивления пласта по завышенным из-за влияния вмещающих пород показаниям. Часто именно в кровле или подошве проектного пласта присутствует такой плотный пласт. Как правило, ствол скважины пересекает проектные горизонты под малыми углами и влияние плотного пласта может



привести к ошибке при выдаче заключения о характере насыщения (водоносный пласт можно принять за нефтяной, нефтеносный за газовый и т. д.).

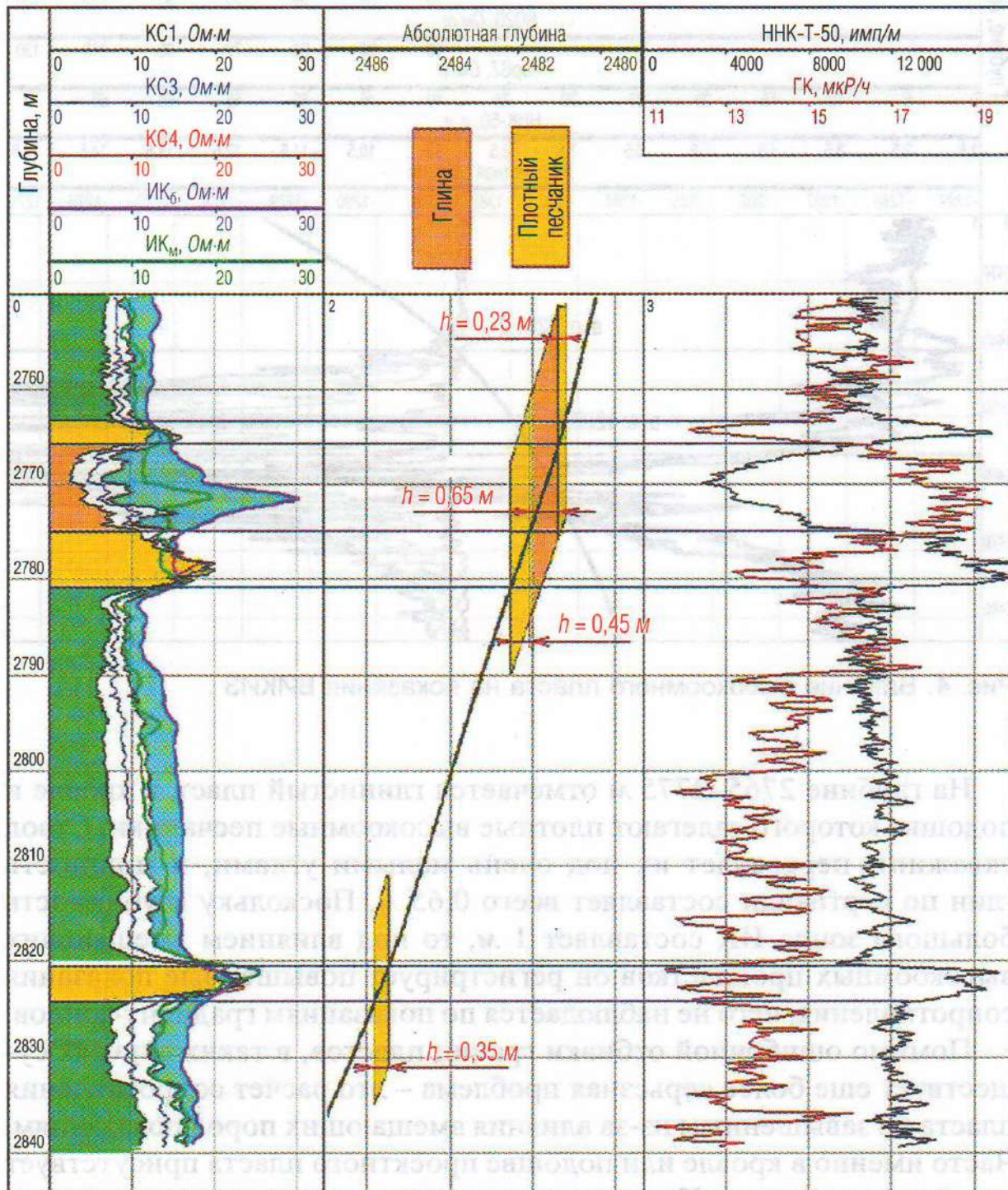


Рис. 5. Пример влияния плоских границ на показания ИК-методов



### Влияние диаметра скважины на геофизические методы

Сегодня по комплексу, проведенному в ГС и БС, в котором отсутствуют электрические методы ЭК, БК и профилометрия, очень сложно однозначно и правильно выдать качественное заключение.

Во-первых, как описывалось выше, на индукционные методы существенно влияет анизотропия и как следствие проблематично правильно провести разбивку и выделить коллекторы, а также правильно выдать насыщение.

Во-вторых, в горизонтальных стволах диаметр скважины не имеет классического вида, то есть не всегда напротив глини мы наблюдаем каверны, в плотных породах – номинальный диаметр, а в коллекторах – сужение. Это связано с различными технологическими процессами при бурении и проработке ствола, а также с траекторией ствола скважины.

На рис. 6 представлен фрагмент профиля скважины. Тонкие линии – это траектория движения долота при проработке ствола. Такие технологические каверны, образованные долотом при проработке скважины, могут быть в любом месте независимо от геологических особенностей вскрываемого разреза. Следовательно, в проектных коллекторах необходимо знать диаметр скважины для введения поправок при расчете петрофизических данных.

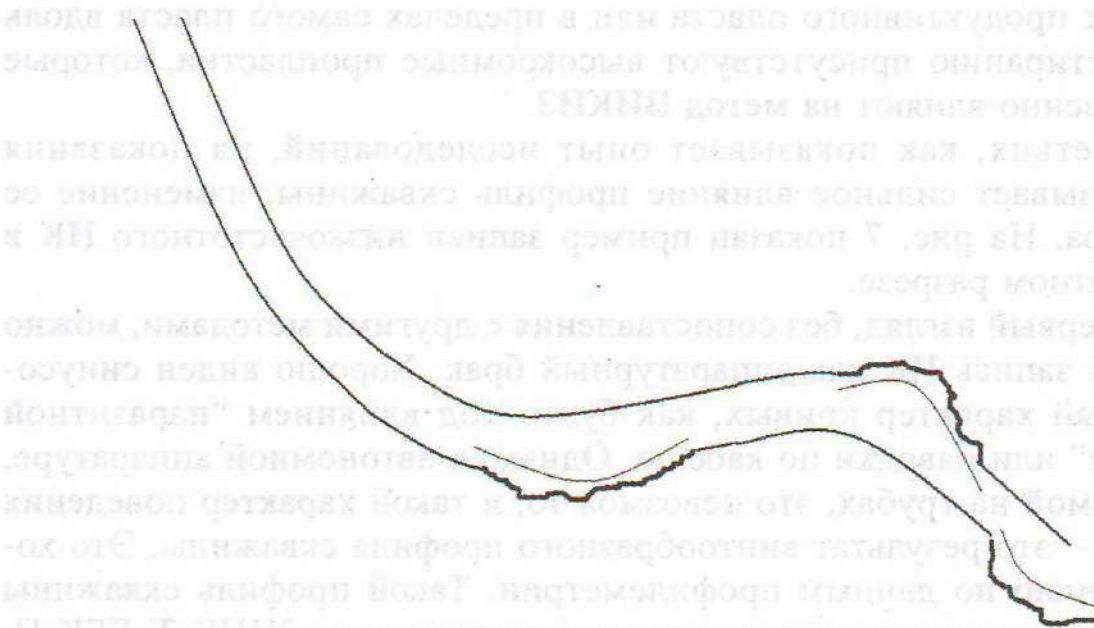


Рис. 6. Природа возникновения каверн в нетипичных местах ГС



Изменение диаметра скважины значительно влияет на показания электрических методов. Наблюдения показывают, что при соленых растворах в высокоомных карбонатных разрезах изменение диаметра скважины даже на один миллиметр приводит к значительному (иногда в разы) изменению расчетного значения удельного электрического сопротивления (УЭС).

### Особенности записи электромагнитных методов

Методы ВИКИЗ и низкочастотного ИК, получившие массовое применение при исследовании скважин в терригенном (низкоомном) разрезе, во многих случаях при исследовании наклонных и горизонтальных скважин, пробуренных в высокоомных разрезах, 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. По техническим данным разрешающая способность метода ВИКИЗ составляет до 200 Ом·м при сопротивлении бурового раствора 1 Ом·м, следовательно, при понижении сопротивления бурового раствора, допустим, до 0,1 Ом·м верхний предел метода понижается прямо пропорционально, то есть до 20 Ом·м.

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 метод ВИКИЗ.

В-третьих, как показывает опыт исследований, на показания ИК оказывает сильное влияние профиль скважины, изменение ее диаметра. На рис. 7 показан пример записи низкочастотного ИК в карбонатном разрезе.

На первый взгляд, без сопоставления с другими методами, можно оценить запись ИК как аппаратный брак. Хорошо виден синусоидальный характер кривых, как будто под влиянием “паразитной частоты” или наводки по кабелю. Однако в автономной аппаратуре, спускаемой на трубах, это невозможно, и такой характер поведения кривых – это результат винтообразного профиля скважины. Это хорошо видно по данным профилометрии. Такой профиль скважины сильно влияет почти на все методы, в том числе на 2ННК-Т, ГГК-П, ГЗ и т. д.



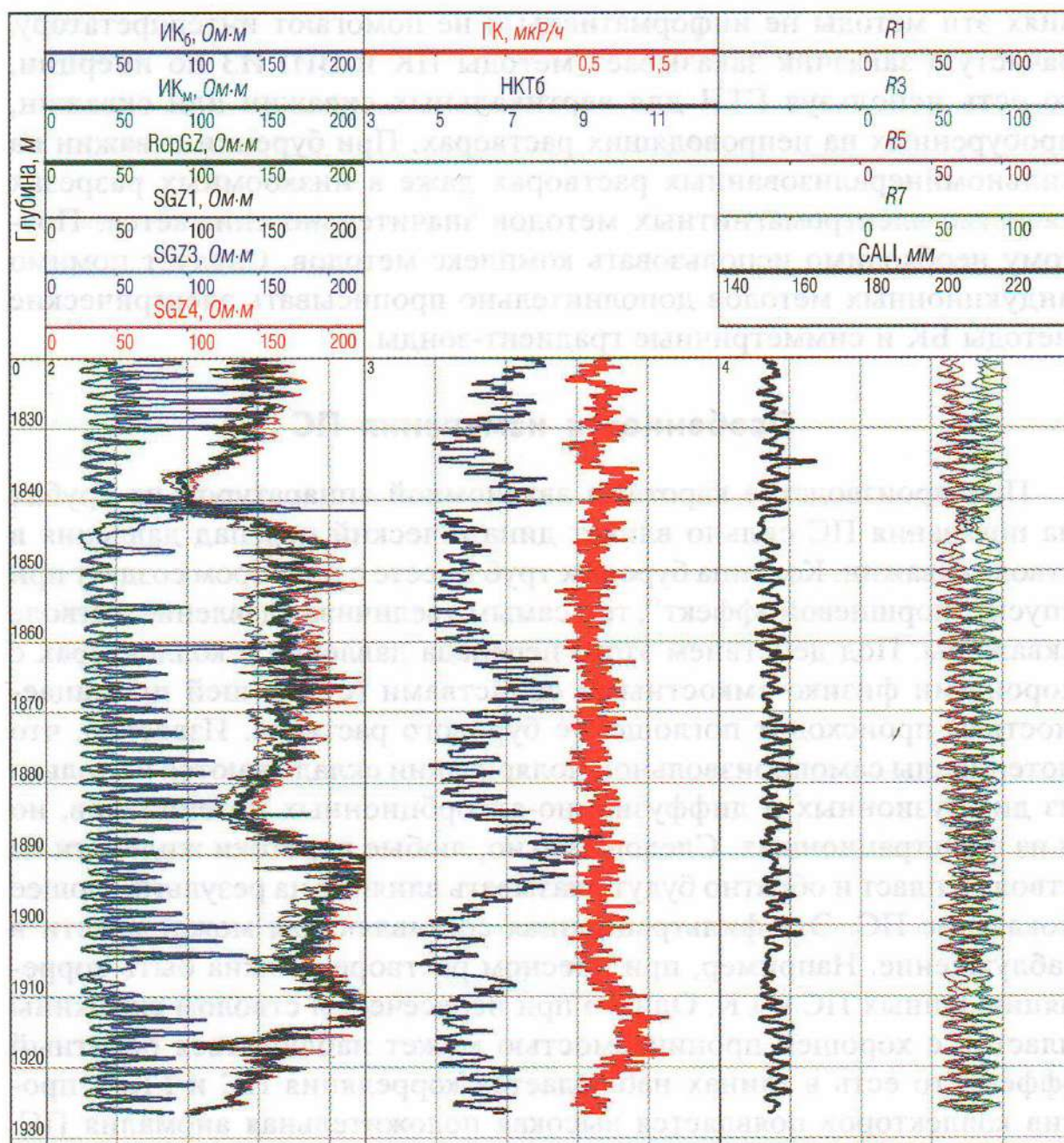


Рис. 7. Пример записи комплекса методов в карбонатном разрезе

Иногда наблюдается отсутствие расчленения разреза по ИК при сопоставлении с РК и ГЗ. Связано это с тем, что скважина пробурена на высокоминерализованном растворе и динамического диапазона ИК недостаточно для выделения пропластков с высоким сопротивлением. Использование иных сведений при интерпретации невозможно как на качественном, так и на количественном уровне. В таких усло-



виях эти методы не информативны и не помогают интерпретатору. Зачастую заказчик заказывает методы ИК и ВИКИЗ по инерции, то есть используя ГТН для вертикальных скважин или скважин, пробуренных на непроводящих растворах. При бурении скважин на сильноминерализованных растворах даже в низкоомных разрезах качество электромагнитных методов значительно снижается. Поэтому необходимо использовать комплекс методов. Следует помимо индукционных методов дополнительно прописывать электрические методы БК и симметричные градиент-зонды.

### Особенности измерения ПС

При производстве каротажа автономной аппаратурой на трубах на показания ПС сильно влияет динамический перепад давления в стволе скважин. Колонна буровых труб вместе с прибором создает при спуске “поршневой эффект”, тем самым увеличивая давление в стволе скважины. Под действием этого перепада давления в коллекторах с хорошими физико-емкостными свойствами (с хорошей проницаемостью) происходит поглощение бурового раствора. Известно, что потенциалы самопроизвольной поляризации складываются не только из диффузионных и диффузионно-адсорбционных потенциалов, но и из фильтрационных. Следовательно, любые перетоки жидкости из ствола в пласт и обратно будут оказывать влияние на результирующее показание ПС. Эта фильтрационная составляющая может ввести в заблуждение. Например, при пресном растворе должна быть корреляция данных ПС и ГК. Однако при пересечении стволом скважины пластов с хорошей проницаемостью может наблюдаться обратный эффект, то есть в глинах наблюдается корреляция ПС и ГК, а против коллекторов появляется высокая положительная аномалия ПС. На рис. 8 представлен пример скважины, пробуренной на пресном растворе, и результаты сопоставления ГК с замерами ПС, проведенными на спуске и на подъеме. На рисунке отмечены участки, где ПС на спуске значительно отличается от записи на подъеме. Как видно, отличия эти происходят в коллекторах, и можно с уверенностью предположить, что это связано как раз с перетоками жидкости и, как следствие, с регистрацией добавочной фильтрационной аномалии. Многие интерпретаторы, думая, что это “обратная” ПС, которая характерна для соленых растворов, начинают переворачивать ее. В таком



случае в проницаемых коллекторах получают логичные заключения, однако в непроницаемых коллекторах, где не было фильтрационной составляющей, имеют противоположную картину.

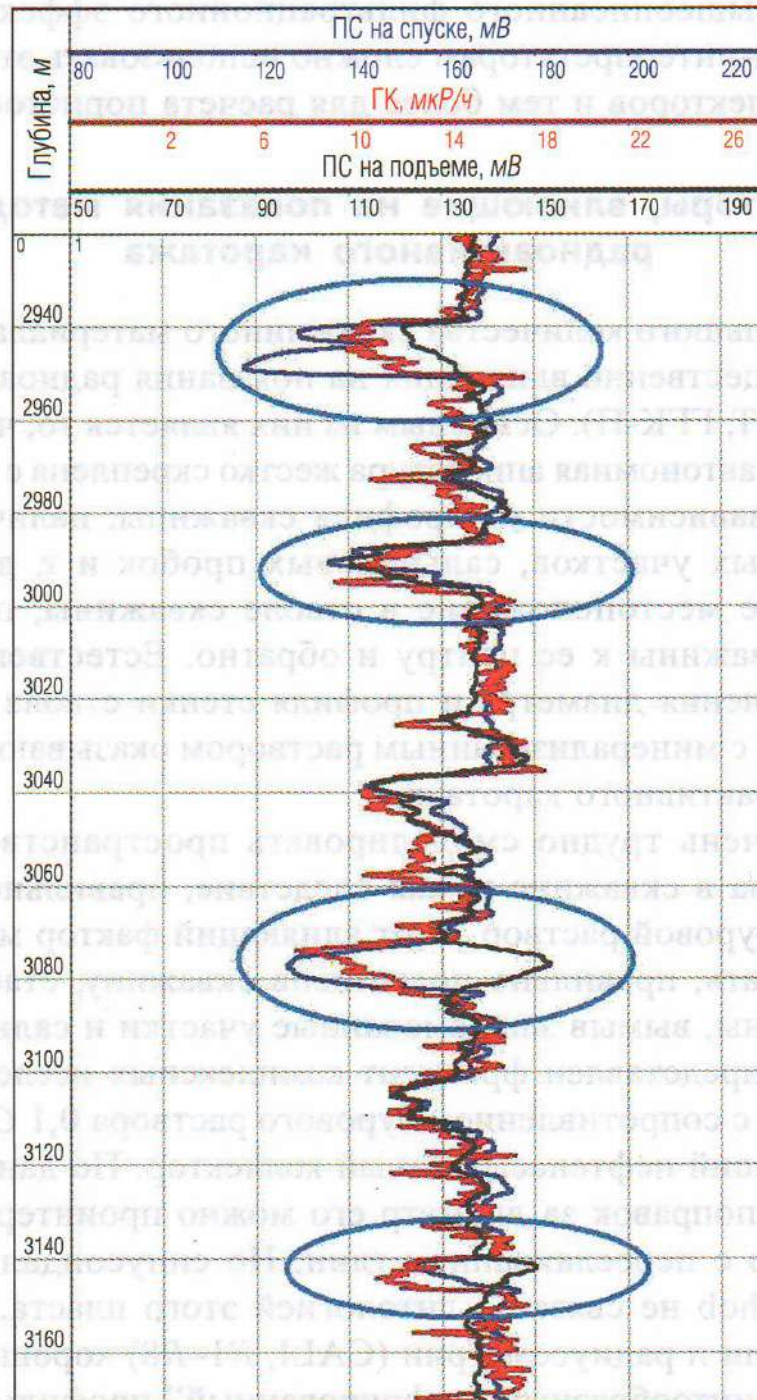


Рис. 8. Сопоставление ПС на спуске и подъеме с выделением фильтрационных потенциалов



Исходя из опыта можно заключить, что поведение кривой ПС, полученной аппаратурой на трубах, редко бывает классическим. Это связано либо с неинформативностью ПС из-за минерализации раствора, сопоставимого с минерализацией пластовой жидкости, либо с влиянием вышеописанного фильтрационного эффекта. Поэтому специалистам-интерпретаторам сложно использовать этот метод для разбивки коллекторов и тем более для расчета пористости.

### **Факторы, влияющие на показания методов радиоактивного каротажа**

Анализ большого количества скважинного материала выявил ряд факторов, существенно влияющих на показания радиоактивных методов (2ННК-Т, ГГК-П). Основным из них является то, что в отличие от кабельной, автономная аппаратура жестко скреплена с бурильными трубами и в зависимости от профиля скважины, наличия уступов, зашламованных участков, сальниковых пробок и т. д. постоянно изменяет свое местоположение в стволе скважины, перемещаясь от стенки скважины к ее центру и обратно. Естественно, в таких случаях изменения диаметра и профиля стенки ствола скважины в совокупности с минерализованным раствором оказывают влияние на методы радиоактивного каротажа.

Сегодня очень трудно смоделировать пространственное положение прибора в скважине и, как следствие, правильно применять поправки за буровой раствор. Этот влияющий фактор можно только минимизировать, правильно подготовив скважину, стабилизировав ствол скважины, вымыв зашламованные участки и сальники.

На рис. 9 представлен фрагмент комплексных исследований бокового ствола с сопротивлением бурового раствора  $0,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . На нем отмечен хороший нефтенасыщенный коллектор. По данным ГГК-П, без введения поправок за диаметр его можно проинтерпретировать как коллектор с переслаиванием глин. Но синусоидальный характер кривой  $R_{\text{hob}}$  не связан с литологией этого пласта. По данным профилометрии и радиусометрии (CALI, R1-R8) хорошо видно, что ствол имеет винтообразный "гофрированный" профиль. Такой профиль сильно влияет на показания ГГК-П и ВИКИЗ и характерен для скважин, которые бурились роторным способом.



Если в заявленном комплексе отсутствуют данные профилометрии, интерпретация в таких случаях вызывает множество вопросов и может быть ошибочной.

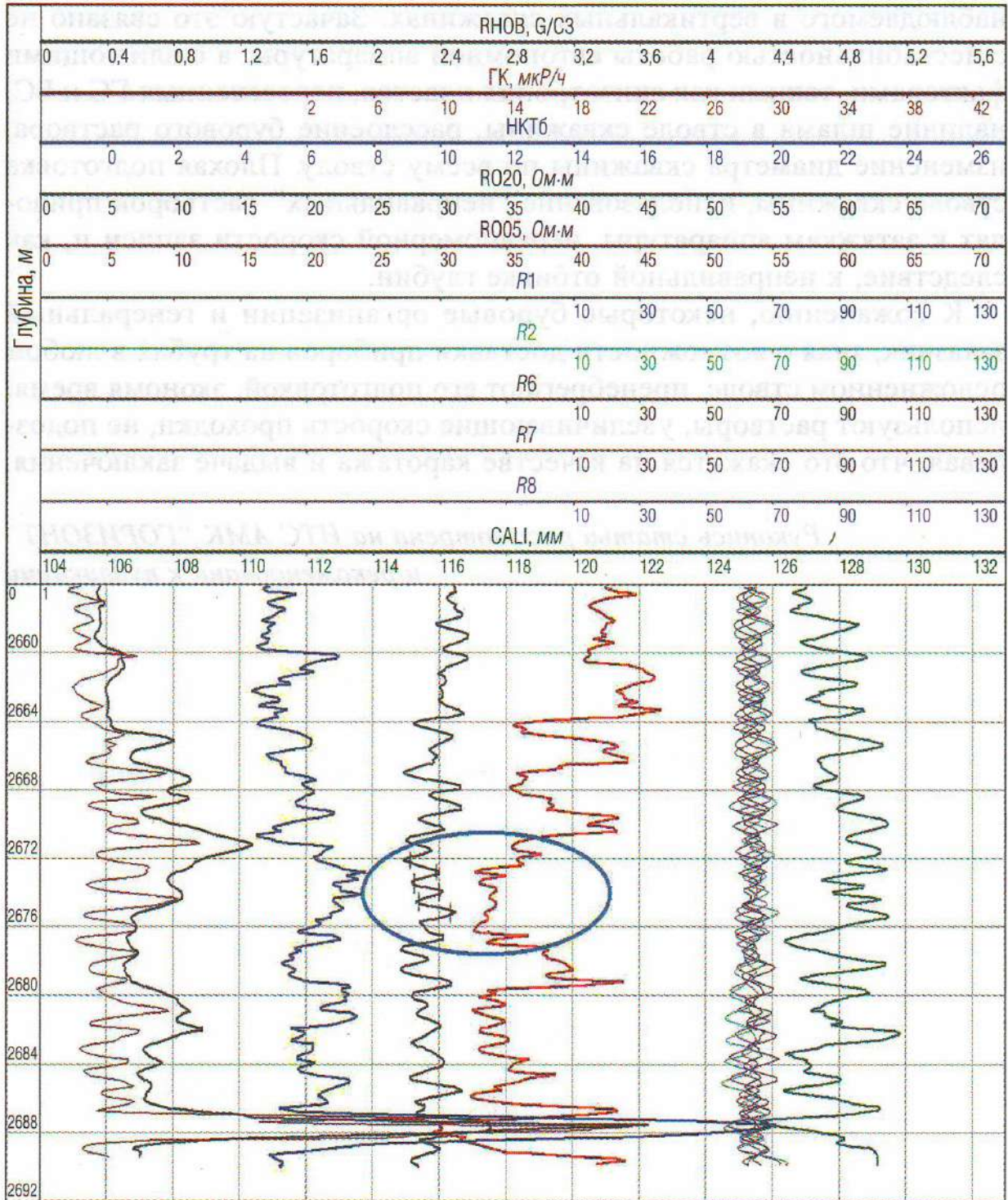


Рис. 9. Пример влияния профиля скважины на показания ГПП



## Выводы

Результаты стандартных геофизических методов при исследовании ГС и БС могут значительно отличаться от классического поведения, наблюдаемого в вертикальных скважинах. Зачастую это связано не с нестабильностью работы автономной аппаратуры, а с влияющими факторами, такими как анизотропия пластов, пересеченных ГС и БС, наличие шлама в стволе скважины, расслоение бурового раствора, изменение диаметра скважины по всему стволу. Плохая подготовка ствола скважины, использование “неправильных” растворов приводят к затяжкам аппаратуры, неравномерной скорости записи и, как следствие, к неправильной отбивке глубин.

К сожалению, некоторые буровые организации и генеральный заказчик, зная о возможности доставки приборов на трубах в любом осложненном стволе, пренебрегают его подготовкой, экономя время; используют растворы, увеличивающие скорость проходки, не подозревая, что это скажется на качестве каротажа и выдаче заключения.

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

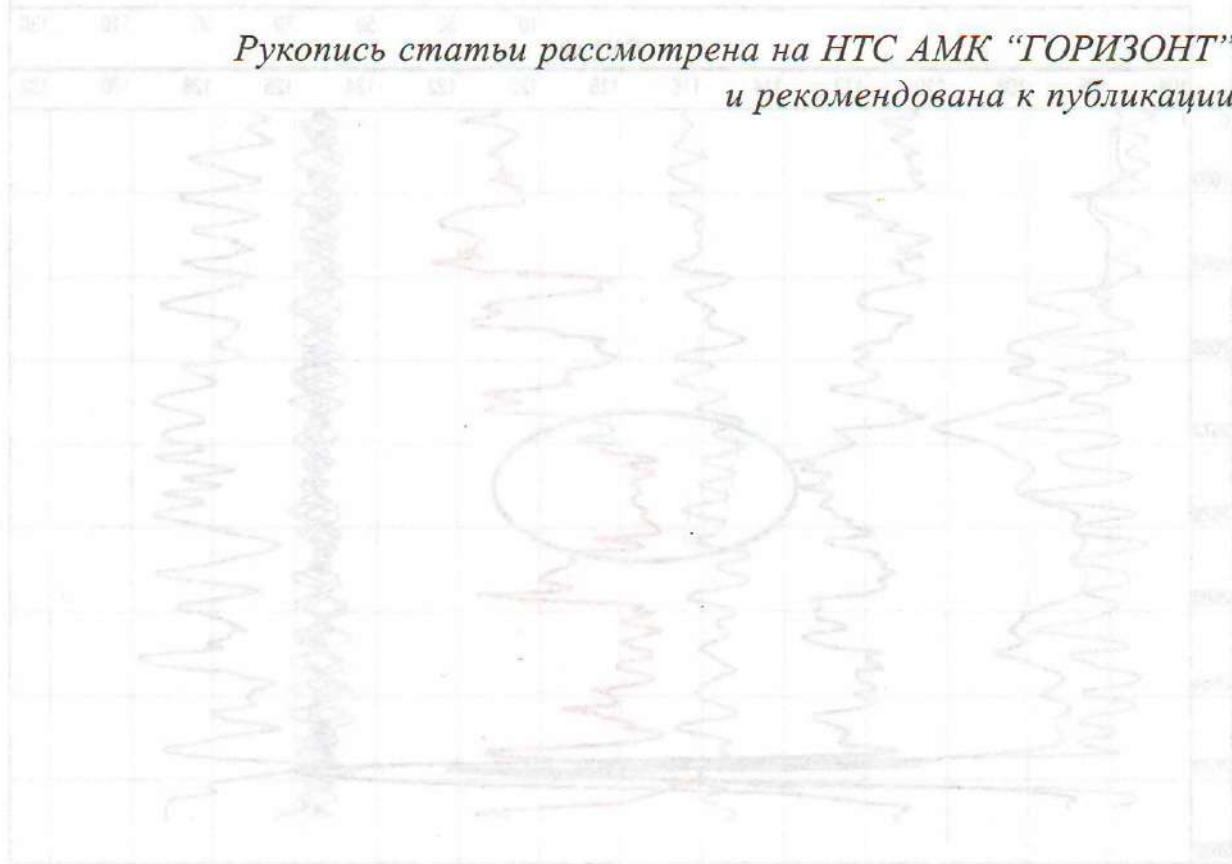


Рис. 8. Вид записи в скважине с осложнением