

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОФИЗИКА**  
(обработка и интерпретация результатов  
геофизических исследований нефтегазовых скважин)

*Практикум для вузов*

Составители:  
А.А. АУЗИН  
С.А. ЗАЦЕПИН

Воронеж  
Издательский дом ВГУ  
2016

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Расчленение разреза, сложенного осадочными породами.....	5
2. Выделение коллекторов.....	7
3. Определение пористости коллекторов.....	10
3.1 Определение пористости коллекторов методом сопротивления	11
3.2 Определение пористости коллекторов по данным	
акустического каротажа.....	14
3.3 Определение пористости коллекторов по данным	
нейтронного каротажа.....	18
3.4 Определение пористости коллекторов по данным	
плотностного гамма-гамма каротажа.....	21
3.5 Определение пористости коллекторов сложного минерального	
состава.....	22
4. Оценка характера насыщения коллекторов.....	23
5. Определение нефтенасыщенности коллекторов.....	26
6. Определение проницаемости коллекторов.....	28
Библиографический список.....	31

Т а б л и ц а 1

Геофизическая характеристика (значения регистрируемых геофизических параметров) основных

Порода	Методы сопротивления, $\rho_k$	ПС, $U_{\text{ПС}}$	ГК, $I_{\gamma}$	ГГК-п, $I_{\gamma\gamma}$	НГК, $I_{\text{ны}}$	АК, $\Delta T$	Каверно- метрия, $d_c$
Глины	Максимально	Максимально	Максимально	Высокие, реже	Минимальные	Высокие	$d_c > d_n$
Пески	Низкие и средние	Минимальные, возрастающие с увеличением глинистости	Минимальные, возрастающие с увеличением глинистости	Средние и повышенные	Средние	Средние	$d_c < d_n$
Песчаники	Высокие и средние, уменьшающиеся с возрастанием глинистости	Минимальные, возрастающие с увеличением глинистости	Минимальные, возрастающие с увеличением глинистости	Средние	Максимальные, уменьшающиеся с ростом глинистости	Низкие и средние	$d_c = d_n$
Известняки	Максимально высокие, уменьшающиеся с возрастанием глинистости	Минимальные, возрастающие с увеличением глинистости	Минимальные, возрастающие с увеличением глинистости	Средние	Средние, уменьшающиеся с ростом глинистости	Низкие	$d_c = d_n$
Трещи- новатые известняки и песчаники	Средние и пониженные	Минимальные, возрастающие с увеличением глинистости	Минимальные, возрастающие с увеличением глинистости	Средние и повышенные	Средние и повышенные	Низкие и средние	$d_c \geq d_n$
Мергели	Средние и повышенные	Повышенные и высокие	Средние и повышенные	Пониженные	Средние	Средние	$d_c \approx d_n$

## 2. ВЫДЕЛЕНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ В РАЗРЕЗАХ СКВАЖИН

подавляющее большинство продуктивных коллекторов сложено терригенными (песчаники и алевролиты) и карбонатными (известняки и доломиты) породами. Промышленная продуктивность гидрохимических осадков, а также магматических и эффузивных пород отмечается гораздо реже.

Основные способы выделения коллекторов основаны на их повышенной относительно вмещающих пород проницаемости, что приводит к проникновению в них фильтрата бурового раствора и изменению физических свойств прискважинной части коллектора. Кроме того, для выделения коллекторов используются отмечаемые против них характерные показания отдельных геофизических методов, которые не связаны с образованием зоны проникновения.

### ВЫДЕЛЕНИЕ МЕЖЗЕРНОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Межзерновой (гранулярный) тип пористости наиболее типичен для терригенных (песчано-глинистых) пород, однако встречается и среди карбонатных отложений. При вскрытии подобных проницаемых пород бурением на пресном глинистом высококачественном растворе проникновение в коллектор фильтрата бурового раствора приводит к образованию вокруг скважины нескольких concentрических зон — глинистой корки, промытого пласта и зоны проникновения (рис. 1). Их удельные электрические сопротивления обозначаются как  $\rho_{гк}$ ,  $\rho_{пп}$  и  $\rho_{зп}$  соответственно. Диаметр зоны проникновения обозначается буквой  $D$ . Фактический и номинальный диаметры скважины обозначаются как  $d_c$  и  $d_n$ .

Основными геофизическими признаками, основанными на проникновении фильтрата глинистого раствора в проницаемые пласты, используемыми для выделения в изучаемом разрезе коллекторов (рис. 2), являются следующие.

1. *Изменение во времени показаний отдельных геофизических методов исследований, обусловленное нарастающим, по мере продолжения бурения, проникновением фильтрата бурового раствора в пласт. При этом обычно контролируется изменение УЭС пласта с помощью БКЗ, БК, ИК*

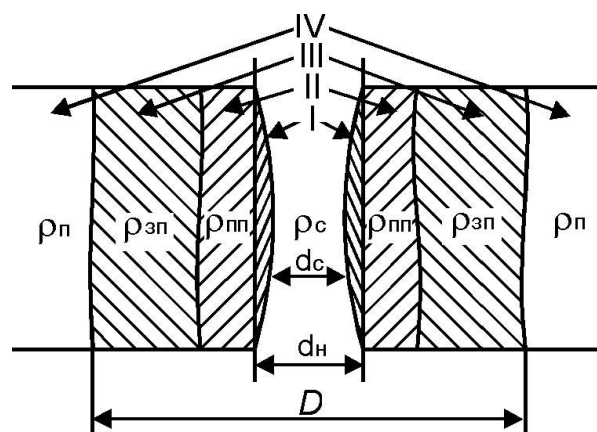


Рис. 1. Типичный разрез межзернового коллектора, вскрытого бурением на глинистом растворе при превышении давления промывочной жидкости над внутрипластовым давлением. I — глинистая корка; II — промытый пласт; III — зона проникновения; IV — неизменная часть пласта

или других методов сопротивления, обладающих значительным радиусом исследования. Кроме того, с увеличением продолжительности бурения наблюдается увеличение толщины глинистой корки, приводящее к уменьшению фактического диаметра скважины ( $d_c$ ), что может быть выявлено повторным проведением кавернометрии или микрокавернометрии. Временные изменения показаний геофизических методов против пластов-коллекторов могут быть вызваны не только формированием, но и расформированием зоны проникновения, которое происходит после того, как скважина будет обсажена.

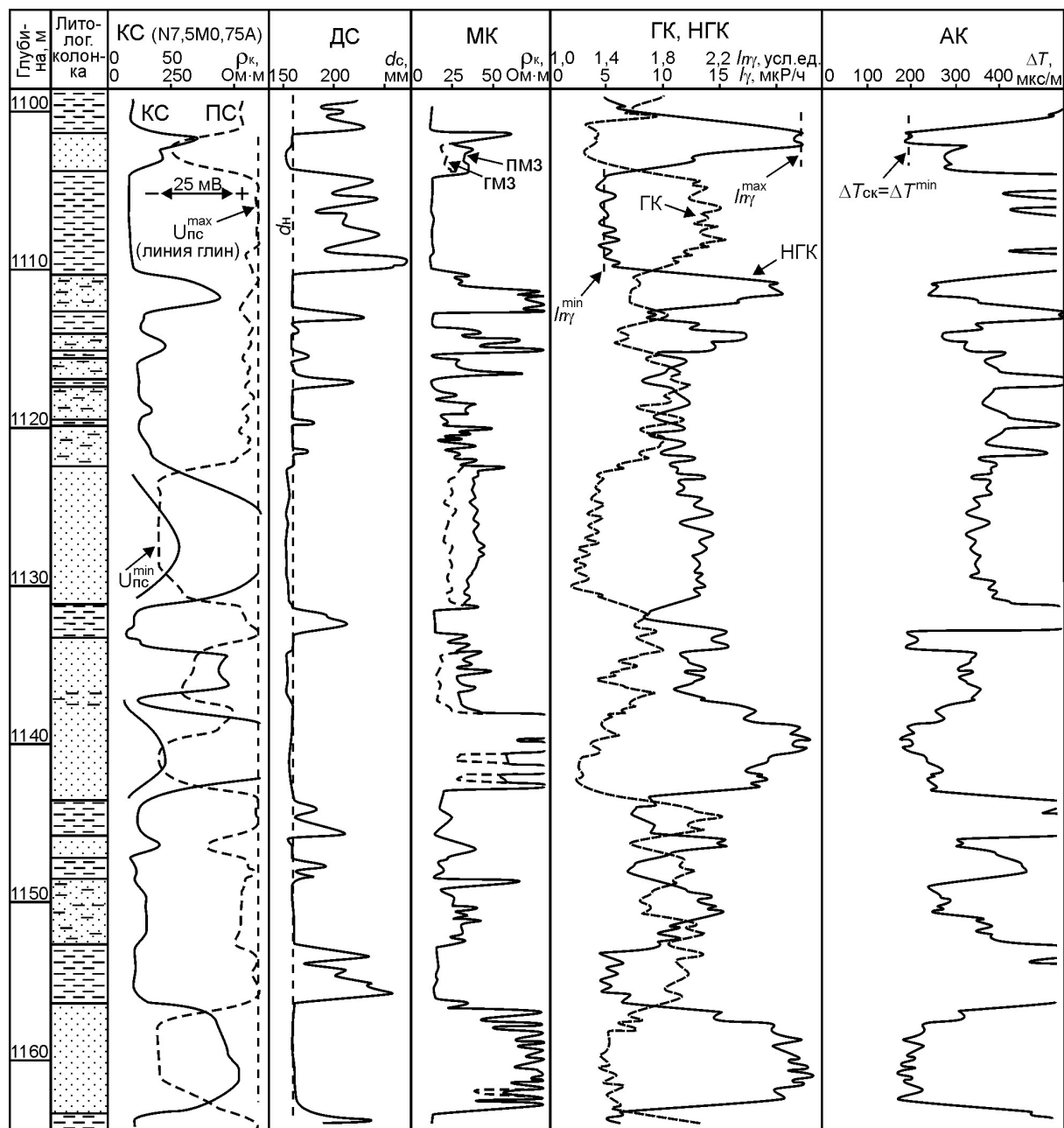


Рис. 2. Результаты ГИС в продуктивной части терригенного разреза

2. Радиальные изменения удельного электрического сопротивления пласта, которые выявляются по результатам интерпретации БКЗ, сопос-

тавлением данных измерений УЭС разноглубинными зондами БК, индукционным каротажным зондированием (ИКЗ, ВИКИЗ) или иными методами, позволяющими реализовать методику радиального зондирования при скважинной части разреза по удельному электрическому сопротивлению.

Следует иметь в виду, что отсутствие радиального градиента УЭС против какого-либо пласта не может служить достаточным основанием для отнесения данного пласта к разряду неколлекторов. Такая ситуация возникает если УЭС пласта-коллектора не изменяется при проникновении в него фильтра бурового раствора, то есть имеет место так называемое "нейтральное проникновение", или когда радиус зоны проникновения фильтра выходит за область исследования применяемого геофизического метода.

3. *Превышение УЭС, полученного потенциал-микрозондом (ПМЗ), над УЭС, полученным градиент-микрозондом (ГМЗ) —  $\rho_k^{\text{ПМЗ}} > \rho_k^{\text{ГМЗ}}$ .* При этом величины  $\rho_k^{\text{ПМЗ}}$  и  $\rho_k^{\text{ГМЗ}}$  должны быть невысокими (рис. 2). Различия в показаниях ПМЗ и ГМЗ обусловлены тем обстоятельством, что область исследования ГМЗ меньше, чем ПМЗ, и на величину  $\rho_k^{\text{ГМЗ}}$  большее влияние оказывает УЭС глинистой корки, которое обычно минимально. Однако отсутствие различия в  $\rho_k^{\text{ПМЗ}}$  и  $\rho_k^{\text{ГМЗ}}$  против какого-либо пласта не исключает возможность его проницаемости. Подобная ситуация может возникнуть в случае, если толщина глинистой корки достигает 3—4 см и области исследования обоих микрозондов не выходят за ее пределы, а также, когда бурение осуществлялось на минерализованном буровом растворе и УЭС глинистой корки мало отличается от УЭС промытого пласта ( $\rho_{\text{ГК}} \approx \rho_{\text{ПП}}$ ).

4. *Уменьшение диаметра скважины относительно своего номинального значения ( $d_c < d_n$ ) за счет образования глинистой корки, устанавливаемое кавернометрией или микрокавернометрией (рис. 2).*

### **ВЫДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИННЫХ И ТРЕЩИННО-КАВЕРНОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ**

Трещинная и трещинно-каверновая типы пористости, наиболее характерные для известняков и доломитов, как правило, не находят явной выраженности в показаниях геофизических методов, входящих в стандартный комплекс исследований. Для выделения в разрезе трещиноватых и кавернозных карбонатных пород могут использоваться дополнительные геофизические исследования, выполняемые по специальным методикам, среди которых важное место занимают так называемые «метод двух растворов» и «каротаж — испытание — каротаж».

Сущность *метода двух растворов* состоит в повторном проведении каротажа исследуемой части разреза после замены «стандартного бурового раствора» раствором, который резко отличается от него своими физическими характеристиками — удельным электрическим сопротивлением, естественной радиоактивностью или магнитной восприимчивостью. В первом случае заме-

щающий раствор искусственно осолоняют, а во втором и третьем обогащают короткоживущим радиоактивным изотопом или порошком магнетита. Раствор, проникая в проницаемые участки разреза, придает им соответственно повышенную проводимость, естественную радиоактивность или магнитную восприимчивость. Сопоставлением результатов исследований одним из методов сопротивления, ГК или КМВ до и после смены раствора удастся выделить проницаемые пласты-коллекторы. Метод каротажа выбирается в зависимости от того, каким образом «активировалась» скважинная жидкость.

Методика «*каротаж — испытание — каротаж*» состоит в повторном каротаже исследуемого интервала скважины после создания против него депрессии с помощью трубного испытателя. Изменение показаний применяемого метода каротажа будет обусловлено расформированием зоны проникновения в результате вытеснения фильтрата бурового раствора притекающим из удаленных частей пласта пластовым флюидом. Обычно контролируют изменения УЭС методами бокового или индукционного каротажа.

При исследовании коллекторов трещинного типа эффективно применение *волнового акустического каротажа* (ВАК), материалы которого позволяют уверенно идентифицировать различные типы волн. Весьма чувствительны к трещиноватости поперечные волны  $P_0S_1P_0$  — наличие трещин вызывает существенное затухание волн этого типа. Кроме того, признаком проницаемости трещин является выраженное затухание волн Лэмба-Стоунли ( $L-St$ ).

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ

*Пористость* — наличие в горной породе пустот, в естественных условиях заполненных нефтью, газом, водой или смесью этих флюидов. Количественно объем порового пространства характеризуется коэффициентом общей пористости  $\kappa_{\Pi}$  (или  $\kappa_{\Pi, \text{общ}}$ )

$$\kappa_{\Pi} = V_{\Pi} / V,$$

где  $V_{\Pi}$  — объем порового пространства, заключенного в породе, объем которой равен  $V$ .

Кроме общей пористости в промысловой геофизике обычно различают открытую, эффективную и динамическую пористости.

Коэффициент открытой пористости  $\kappa_{\Pi, \text{о}}$  — характеризует объем пор, которые сообщаются между собой и с окружающей породу средой.

Коэффициент эффективной пористости  $\kappa_{\Pi, \text{эф}}$  — характеризует объем пор продуктивного коллектора, в которых возможно движение флюидов. Количественно этот объем равен объему открытых пор за вычетом объема физически связанной и капиллярно-удерживаемой во внутривпоровом пространстве воды.

Коэффициент динамической пористости  $\kappa_{\Pi, \text{д}}$  — характеризует объем порового пространства продуктивного коллектора в котором будет наблюдаться движение флюидов при заданном градиенте давления.