

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН

**Ташкентский государственный технический  
университет**  
*имени Абу Райхана Беруни*

**горно-геологический факультет**

**кафедра** Геофизические методы поисков и разведки  
месторождений полезных ископаемых



**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

**по дисциплине**

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН**

**Ташкент 2000**

Конспект лекций составлен на основании учебного плана и соответствующей рабочей программы .

Лекции по направлению В 4400900 \* Геология и разведка полезных ископаемых\* бакалавриата высшего образования предназначены для студентов горно-геологических специальностей высших технических учебных заведений.

Составитель :

А. Г. Антонец

**ТЕМА 1****ЛЕКЦИЯ 1. ВВЕДЕНИЕ**

(Общие положения науки и учебной дисциплины )

**Основное содержание****дисциплины**

Посвящено одному из важнейших разделов **прикладной геофизики - Геофизическим методам исследования скважин (ГИС).**

**ГИС - это методы определения свойств горных пород и бескерновой геологической документации разрезов, основанные на изучении в буровых скважинах различных геофизических полей.**

**Геофизические исследования** в скважинах включают в себя наблюдения, направленные на изучение горных пород, слагающих стенки буровой скважины и ( или ) пород находящихся в непосредственной близости от них.

Такой вид исследований носит еще название **каротажа.**

**Исследования**, направленные на изучение около- и межскважинного пространства, называются **скважинной геофизикой.**

**Роль и значение методов****ГИС и скважинной ГЕОФИЗИКИ****при решении разнообразных задач**

Роль методов ГИС весьма существенна и очень важна.

Методы ГИС (**каротажа**) способствовали применению высокоэффективных приемов бурения без отбора керна . Это обстоятельство позволяет :

- а) резко уменьшает стоимость работ
- б) увеличивает скорость проходки скважин .

Получаемые **физические параметры полей и свойств горных пород** вокруг скважины служат **ИСТОЧНИКОМ ИНФОРМАЦИИ** больше, чем отбор керна.

## **Основные направления** **и основной круг решаемых**

### **задач**

**Методы ГИС развиваются по 4-м основным направлениям:**

- а) изучение геологических разрезов скважин,
- б) изучение технического состояния скважин,
- в) контроль разработки МПИ ( прежде всего месторождений нефти и газа ),
- г) прострелочно-взрывные работы.

**Основные задачи ГИС** связаны с поисками, разведкой и разработкой ( добычей МПИ ).

**Главными задачами, решаемыми ГИС** являются геологические и технические задачи.

При изучении **геологических разрезов скважин** ( на основе интерпретации комплекса данных ( геологической, геохимической, геофизической документации ) **решаются следующие задачи:**

- 1. Геофизическое расчленение разрезов**, а также выявление пород-реперов, и их корреляцию;
- 2. Выявление пород-коллекторов** и изучение их свойств таких как: пористость, проницаемость, глинистость и пр.
- 3. Выявление и определение местоположения** различных полезных ископаемых ( нефти , газа, углей , соли, различных руд, вод : термальных, пресных, минеральных, технических );
- 4. Определение пород**, слагающих разрезы скважин;
- 5. Подсчет запасов** полезных ископаемых.

**Определение ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ скважин** связано с :

- ⇒ **определением** искривления скважин ( инклинометрия );
- ⇒ установлением фактического диаметра скважин ( кавернометрия );
- ⇒ определением профиля сечения скважин и обсадных колонн ( профилометрия );
- ⇒ определением высоты подъема, характера распределения, степени сцепления цемента в затрубном пространстве;
- ⇒ выявлением мест **притоков ( оттоков )** и затрубной циркуляции вод в скважинах;

- ⇒ выявлением водопоглощающих горизонтов и контроля гидравлического разрыва пласта ;
- ⇒ определением уровней жидкости;
- ⇒ определением местоположения \* башмаков \* обсадных колонн и других металлических предметов, оставленных в скважинах при авариях и других действиях;
- ⇒ определением глубин расположения **забоев скважин** и для решения многих других не менее важных вопросов.

**ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ** включают:

- \* перфорацию обсадных труб для сообщения скважин с пластом ;
- \* отбор образцов горных пород из стенок пробуренных скважин для уточнения геологического разреза;
- \* торпедирование для различных целей, включая в т.ч. и ликвидацию аварий.

### Место ГИС и связь их с различными науками и научными дисциплинами

ГИС является составной частью **прикладной (разведочной) геофизики**.

**Методы ГИС** находятся, как и методы общей и разведочной геофизики на стыке самых разнообразных наук, вместе с которыми они развиваются и совершенствуются.

Так **теория ГИС** ( как и прикладной геофизики ) основана на физико-математических науках..

**Методика и аппаратура** базируются на различных методах исследований с широким привлечением **достижений**

( механики, электроники, автоматики, вычислительной техники, компьютерных технологий и коммуникационных сетей ).

При ГИС используются все **физические ( геофизические ) поля и методы, применяемые в РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ**.

Но число их более велико и многообразно по сравнению с методами, применяемыми в наземных вариантах из-за специфики работ, выполняемых на некотором удалении от дневной поверхности: в буровых скважинах наземного и подземного бурения.

**В скважинных условиях наиболее применимыми методами являются:**

- электрические;
- электромагнитные;

- ядерно-геофизические ( методы основанные на изучении естественных и наведенных радиационных полей );
- сейсмоакустические;
- геотермические ( тепловые );
- магнитометрические;
- гравиметрические;
- механические;
- геохимические ( газовые ).

### Система каротажа

**Система** дает представление как о методах рудного каротажа ( например), нашедших широкое применение на рудных объектах, так и методах, опробуемых и внедряемых.

**В системе каротажа** указываются методы каротажа и основные их модификации, геологические задачи, решаемые ими (литологическое расчленение, исследование его структурных условий, выделение зон рудной минерализации, обнаружение и изучение рудных залежей или их интервалов, определение глубины залегания, мощности, качественных характеристик оруденения, оценка содержания полезных компонентов, а также изучение гидрогеологических, инженерно-геологических и горно-технических условий месторождений.

Попутно рассматриваются геолого-геофизические предпосылки, показывается , что благоприятствует применению того или иного метода. Показываются элементы методики и техники работ, где отражаются применяемые способы измерений, установки, аппаратура, измеряемые параметры, тип и размеры зондов, число электродов и катушек зондов, скорости перемещения зондов, используемые частоты, погрешности измерений, масштабы записей, способы ослабления помех, тип исследуемых скважин и т.д.

**В методах и методике интерпретации** охарактеризовываются методические приемы, используемые при обработке и интерпретации материалов каждого из методов, включая определяемые параметры и характеристики, способы установления их значений, вводимые поправки, способы учета помех, используемые формулы, палетки, номограммы, степень автоматизации ( на ЭВМ ) этих операций, комплексный анализ данных и итоговые материалы в виде уточненных геологических колонок , разрезов, планов, карт.

### История развития ГИС

**Первые ГИС** - это температурные измерения в артезианских скважинах ( вторая половина XIX в. ).

Систематические ГИС в 1906-1916 гг. провел известный геолог-нефтяник Д.В.Голубятников. Это были температурные наблюдения в 300 скважинах Азербайджана и Дагестана.

В 1926-28гг. К.Шлюмберже ( Франция ) предложил электрический метод ГИС по  $\rho_k$ .

В 1931г. при совместных работах фирмы Шлюмберже и Аз- и Грознефть создан метод СП ( т.е. метод ПС - аналог поверхностного метода ЕП ).

Большой вклад в развитие промысловой геофизики внес акад. И.М.Губкин , как. наиболее совершенных методов геологической документации скважин.

Уже к 1932 г. число промыслово-геофизических партий в стране в 1.5 раза было больше, чем в других странах.

В 1931 г. начато применение ИНКЛИНОМЕТРИИ ( Г.С.Морозов, Г.Н.Строцкий, К.Н.Бондаренко, К.А.Верпатов).

В 1932-35гг. разработаны : стреляющие перфораторы, боковые грунтоносы, усовершенствованы торпеды.

В 30-х годах основными методами бескерновой документации скважин стали электрические методы КС и ПС, дополненные другими методами и модификациями.

В 1946 г.. В.Н.Дахнов предложил метод КС экранированного заземления ( с 2-мя и несколько симметрично расположенными однополярными электродами).

Х.Г. Долль предложил метод с автоматически управляемой фокусирующей системой \* Laterlog \* ( БК) и метод микрозондов СЭЗ с автоматической фокусировкой тока \* Mikrolaterlog\*.

В 1945 - 55 гг. в МИНХ и ГП под руководством В.Н.Дахнова разработан комплекс методов микроисследований скважин:

- микрозондов;
- метод сопротивления экранированного заземления ( СЭЗ );
- потенциалов ВП.

Х.Г. Долль ( 1948 ) предложил индуктивный метод электрметрии с использованием токов переменного электромагнитного поля.

Впервые в мире были предложены в СССР радиоактивные методы. Гамма-каротаж ( ГК ) в 1933-34гг. ( Г.В.Горшков, Л.М.Курбатов, А.Г.Грамаков В.А. Шпак ).

В 1941 г. Б.Я.Понтекорво ( СССР ) предложил НГК.

В 1942 г. А.И.Заборовский и Г.В.Горшков предложили ННМ.

В 1931-32 гг. начаты термические исследования с электрическими термометрами.

В 1952-58гг. В.Н.Дахнов и Д.И.Дьяконов показали большую эффективность термокаротажа при решении многих геологических и нефтепромысловых задач.

В 1934-36гг. предложены магнитные методы по ( $\chi$ ) К.П.Козин и М.И.Бейсин (СССР)

В 1933-35гг. предложен метод измерения продолжительности бурения ( П.И.Левуцкий).

В 1935г. ( С.Я.Литвинов и Г.Н.Строцкий ) предложили метод **КАВЕРНОМЕТРИИ**.

Пластовый наклономер в 1933г. предложен фирмой \* Шлюмберже\*.

В 1932г. разработан метод газометрии ( М.В.Абрамович, М.И.Бальзаминов )

В 1938-41гг. - возник люминесцентно-битумный метод ( К.П.Козин, Н.А.Шлезингер, В.Н.Флоровская ).

В 1948г. в США предложен **акустический** метод. Несколько позднее в ИФЗ разработана аппаратура для АК.

Одновременно с ГИС создается аппаратура и спуско-подъемное оборудование.

В 1932г. созданы полуавтоматические регистраторы в комплекте с пульсаторами, что позволило проводить одновременную и непрерывную запись КС и ПС.

Были созданы \*Автоматические геофизические лаборатории\* типа АКС ( С.Г.Комаров, Л.И.Померанц, А.А.Дацкевич ); ОКС ( В.М.Запорожец, Г.В.Войшвило, В.В.Фельгейс; АЭКС ( В.Х.Шульгин, И.Я.Ривкин, Т.Б.Щербаненко )

Научные основы ГИС связаны с такими исследователями как Л.М.Альпин, Ю.П.Булашевич, В.Р.Бурсиан, Б.Ю.Вендельштейн, В.Н.Дахнов, В.М.Добрынин, С.А.Кантор, С.Г.Комаров, О.Л.Кузнецов, В.В.Ларионов, В.А.Мейер, В.А.Фок.

Техника и методика ГИС связана с именами ( геофизики и приборостроители):

С.Я.Выборных, Г.В.Горшков, В.Н.Дахнов, С.Г.Комаров, А.А.Коржев, С.Я.Литвинов, В.Ф.Печерников, Г.Н.Строцкий, И.В.Шевченко.

В изучении физических свойств горных пород и интерпретации данных ГИС сыграли роль работы таких исследователей как

Г.М.Авчян, В.Н.Дахнов, Л.П.Долина, Б.Ю.Вендельштейн, В.М.Добрынин, В.Н.Кобранова, А.К.Козырин, С.Г.Комаров, В.В.Ларионов, М.Г.Латышова, Г.С.Морозов, А.М.Нечай, Н.А.Пырков.

В создание **АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ** внесли вклад

Ш.А.Губерман, Г.Н.Зверев, С.М.Зунделевич, А.Е.Кулинкович, Н.Н.Сохранов, М.М.Элланский.

**Из ученых дальнего зарубежья теоретическими и экспериментальными работами наиболее известны :**

К.Шлюмберже, Г.Долль, Г.Арчи, Д.Девон, Г.Гюйо, М.Мартен,, С.Пирсон, В.Рассел, М.Вилли, В.Винзауер, Р.Дебранд, М.Тиксье и др.

**Из специалистов по ГИС Узбекистана можно выделить таких исследователей как** Р.Л.Каипов, И.А.Савинец, И.В.Халамейзер, А.Л.Беньяминович, И.А.Голубев,

К.А. Грудкин, супруги В. В. и Л.В.Коткины ( г. Самарканд )

## ТЕМА 2

### ЛЕКЦИЯ 2. ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

#### Общие сведения о бурении скважин

**Скважина - цилиндрическая** ( вертикальная или наклонная горная выработка большой длины (  $L$  ) и сравнительно небольшого диаметра (  $d$  ), т.е.  $L \gg d$  .

**Устье скважины** - нулевая точка отсчета глубины ( длины ); обычно это уровень ротора буровой установки.

**Забой скважины** - нижняя точка пересеченных скважиной пород.

**Диаметр скважины** - номинальный диаметр скважины принимается равным ДОЛОТУ, которым бурится скважина.

**Каверна** - участок скважины с резко увеличенным диаметром.

**Глубина скважины** - расстояние от устья до забоя по стволу скважины.

**Высота скважины** - *кратчайшее* расстояние по вертикали между устьем и забоем.

( из-за искривления, т.е. наклона, она не равна глубине).

**Абсолютная отметка ( альтитуда устья забоя и др.точки ствола скважины )** - высота над уровнем Балтийского моря:

$$N_{\text{абс.}} = A - h$$

где  $h$  - глубина точки ствола скважины.

$A$  - альтитуда устья скважины.

#### Бурение скважин

В странах СНГ бурение скважин производится **вращательным способом**, когда скважина высверливается специальным долотом.

**Вращение долота производится:**

1. Двигателем ( на поверхности ) вращающим колонну бурильных труб ( **роторный способ**);

2. Забойным двигателем:

- а) с гидравлическим (турбинный способ );
- б) электрическим ( электробур ) приводом.

Выбуренные породы выносятся промывочной жидкостью, циркулирующей в скважинах, или в результате продувки воздухом.

**Процесс бурения :** 1. Работа долота на забое;

2. Спуско-подъемные операции, выполняемые для смены долота после его износа.

После окончания бурения ( в необходимых случаях ) ствол крепится обсадными трубами.

**Цель:** а) предохранить скважину от обвалов;

б) для изоляции нефтегазоносных пластов от водонасыщенных.

**Попутно проводятся:**

- а) геологическое и технологическое наблюдения за процессом бурения скважин;
- б) отбор керна;
- в) исследование выбуренного шлама;
- г) геофизические и геохимические исследования;
- д) опробывание и испытание перспективных интервалов в открытом стволе ( при бурении на нефть и газ).

**Скважины бурятся:**

1. При добыче пресной, технической, минерализованной вод ( гидрогеологические скважины );
2. При поисках и разведке твердых ( угля, металлических, неметаллических руд ) полезных ископаемых;
3. При решении различных инженерных задач во время строительства гидротехнических и др. сооружений;

**К специальным относятся** - предназначенные для глушения открытых фонтанов ( нефти , газа);

- сброса промысловых вод;
- промышленных отходов;
- подготовки структур для подземных газохранилищ.

По своему назначению буровые скважины делятся на:

**картировочные**, которые проходят при геологической съемке для изучения коренных пород, перекрытых рыхлыми отложениями;

**поисковые**, служащие для выявления МПИ ( например, по их ореолам рассеяния );

**разведочные**, необходимые при разведке МПИ для оконтуривания рудных тел и для подсчета запасов;

**параметрические**, используемые для проверки геофизических данных;

**опорные ( структурные )** - глубокие которые бурят на недостаточно изученной территории с целью уточнения геологического разреза.

**Бурение скважин осуществляют 3-мя основными способами :**

- ударным;
- вращательным;
- ударно-вращательным.

### **СКВАЖИНА как ОБЪЕКТ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Скважины бурят с целью изучения геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых ( нефти, газа, подземных вод, руд, строительных материалов) и решения задач гидрогеологии и инженерной геологии и пр. В процессе бурения породы претерпевают изменения. Если плотные породы изменяются незначительно, то в рыхлых трещиноватых могут образовываться каверны.

При наличии флюидов ( нефть, газ, пластовые воды ) образуется **зона проникновения**, диаметр которой превышает номинальный диаметр от нескольких см порою до метров..

Наличие этой зоны существенно усложняет определение параметров пластов. Подвергнутая **наибольшему воздействию часть зоны проникновения** называют **промытой зоной**.

**В** породах -коллекторах за счет проникновения **фильтрата бурового раствора** может образоваться **глинистая корка**, которая уменьшает диаметр скважины.

После окончания бурения для предохранения скважин их обсаживают и цементируют.

Наличие стальной колонны практически исключает возможность применения электрических и электромагнитных методов. Поэтому такие методы применяют в открытом стволе ( т.е. в не обсаженных скважинах). Ядерно-геофизические, акустические и некоторые другие методы можно порою применять как в открытых, так и в обсаженных скважинах.

До создания методов ГИС геологические разрезы скважин изучали путем отбора и исследования кернового материала. Однако такой подход характеризовался рядом существенных недостатков:

- а) значительно возросло время проходки скважины и стоимость;
- б) выход керна обычно не бывает полным, поэтому не получается сплошная информация о разрезе скважин;

в) привязка керна по глубине, как правило, затруднена;

г) радиус исследований мал;

д) керн отбирают из участков, подвергнувшихся наибольшему воздействию при бурении.

В то же самое время методы ГИС лишены большинства этих недостатков, при выполнении каротажа получают сплошную, надежно привязанную по глубине информацию со значительно большим радиусом исследования. Стоимость проведения методов ГИС и связанные с ними затраты времени меньше, чем при отборе керна.

Однако даже самое широкое внедрение ГИС не позволяет полностью отказаться от отбора керна, так как существуют задачи, которые пока можно надежно решить лишь на керновом материале (детальное изучение условий осадконакопления и диагенеза, определение типа порового пространства, минерального состава и т.д.)

Методы ГИС совместно с исследованием кернового материала составляют единый комплекс геолого-геофизического изучения разрезов скважин.

В настоящее время число скважин, бурящихся с отбором керна, значительно сокращено и составляет всего несколько процентов от их общего числа.

## **ОСНОВЫ ТЕЛЕМЕТРИИ СКВАЖИН**

**Телеметрия ( телеизмерения ) - измерение СИГНАЛОВ на расстоянии с помощью каналов связи.**

**Телеметрическая система - совокупность измерительных и преобразовательных приборов с линиями связи между ними.**

При ГИС получают информацию об изучаемом объекте в:

- а) около скважинном пространстве;
- б) в самой скважине;
- в) на глубинах от нескольких десятков метров до нескольких км.

**По типу линий связи ТВС бывают;**

- а) неэлектрические ( гидравлические )
- б) электрические ( проводные, радио).

**Гидравлическая линия связи - промывочная жидкость скважины . Используется только при газометрии скважин.**

⇒ ТВС имеет вид : - в скважине ( **первичный преобразователь сигнала** ) -  
( электрического, неэлектрического ) - **датчик**

Датчик - преобразует физическую величину ( параметр поля ) - ( Н или Е,  $h\nu$ ,  $U_p$  (  $Y_s$ ),  $I_{тока}$ ,  $E_y$ ,  $I_y$ , механическое перемещение ) в СИГНАЛ, удобный для передачи на расстояние, а также для преобразования и регистрации.

**ДАТЧИК** - основной элемент в устройствах дистанционных измерений и телеизмерений.

- Датчик состоит из :
1. Воспринимающего ( чувствительного ) органа;
  2. Одного или нескольких промежуточных преобразователей.

**В геофизике большая часть датчиков работает на основе измерения :**

- а) электрических величин;
- б) неэлектрических величин.

**и преобразования их в ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ.**

Изменение  $U_{вых.}$  от  $X_{вх.}$  (изучаемой величины).

$$S(\text{чувствительность}) = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

Телеизмерительные системы делятся: на а) токовые ; б) частотные  
в) цифровые; г) напряжения ; д) времени

В токовых ТВИС измеряемая величина (  $\rho_k$ ,  $\Delta X$  ) преобразуется в электрический ток [ при этом используется как постоянный , так и переменный ток ]

Токовые ТВИС бывают: а) не компенсационные

- б) компенсационные (линии чувствительны к утечкам и помехам в линиях связи)

В ТВИС ( напряжения ) физическая величина преобразуется в  $\Delta U$

( переменное или постоянное), которое затем поступает в линию связи.

Такие ТВИС обладают : а) высокой точностью измерений;

- б) но чувствительны к утечкам тока

В частотных ТВИС физические величины преобразуются в **ИМПУЛЬСЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА** ( частотно-импульсная система ) или **ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК** ( частотная система ).,

$$f(\text{имп}) \text{ и } f(i) = \Delta X \text{ ( при измерениях } \rho_k, \text{ ГК, ГГК, НГК )}$$

**В цифровых ТВИС** измеряемая физическая величина передается по линии связи **ЦИФРОВЫМ КОДОМ** ( т.е. с помощью определенной комбинации импульсов ).

Эта система называется еще **КОДОИМПУЛЬСНОЙ** .

По квантованию измеряемой величины ( по времени и уровню ) ТВИС делятся на :

- а) **аналоговые** ( непрерывная регистрация измеряемой величины );

- б) **импульсные** ( квантование сигнала по времени );

- в) **цифровые** ( квантование по времени и уровню).

### ТЕМА 3

#### ЛЕКЦИЯ 3. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА СКВАЖИН (КАРОТАЖ)

Горная порода, являющаяся основным объектом геофизических исследований в скважинах и представляющая собой сложную гетерогенную систему, состоит из различных по физико-химическим свойствам твердой и жидкой фаз.

Скелет горной породы обычно имеет сложный минеральный и гранулометрический состав с различной степенью окатанности твердых частиц, их упаковки и цементированности. Цемент породы в общем отличается по своим физико-химическим свойствам от скелета, поэтому текстура и структура порового пространства горных пород разные.

Большое, а иногда и определяющее влияние на физические свойства горных пород оказывает порозаполнитель. В природных условиях порозаполнителем может быть вода, нефть, конденсат, газ или смесь этих компонентов в любых соотношениях.

Минерализация связанной, остаточной и свободной пластовой воды колеблется от единиц до 200 - 300 г/л

Заметное влияние на физико-химические свойства горных пород оказывают термобарические условия ( температура, горное и пластовое давление ). В силу этих причин однотипные горные породы могут значительно различаться по физико-химическим свойствам, а разные породы, наоборот, могут иметь сходную петрофизическую характеристику.

На регистрируемые геофизические параметры существенно влияют скважинные условия проведения ГИС ( каверны, сужение диаметра скважины, тип и минерализация промывочной жидкости, наличие , тип и размеры зоны проникновения её фильтра в породы - коллекторы, время проведения ГИС после разбуривания горных пород и т.д.

Кажущиеся значения и конфигурация кривых геофизических параметров против отдельных маломощных пластов зависят от их мощности и физико-химических свойств вмещающих пород.

Словом, значения регистрируемых геофизических параметров при производстве ГИС зависят от геологических особенностей вскрытого разреза и технологических условий проходки скважины.

Вследствие этого по результатам отдельных геофизических методов исследования скважин неоднозначно решаются задачи, стоящие перед скважинной геофизикой. Так, например, нефтеносные песчаники, залегающие среди глин, и плотные известняки имеют сходные характеристики по ПС (отрицательные амплитуды  $\Delta U_{сп}$ ), по методу КС (повышенные  $\rho_k$ ) и по ГК (пониженную  $I_\gamma$ ). Однако при использовании данных НГК повышается однозначность литологического расчленения: нефтеносные песчаники характеризуются средними значениями  $I_{пг}$ , плотные известняки - высокими  $I_{пг}$ .

При высокой минерализации пластовых вод о наличии нефти в песчаных коллекторах указывают повышенные значения и средние интенсивности  $I_{пг}$ . Даже в этом простом случае для однозначного ответа на вопрос о литологии пластов и характере насыщения коллекторов потребуется, по крайней мере, результаты трех геофизических методов: ПС, КС, НГК. Могут быть предложены и другие варианты комплексного использования ГИС.

При исследовании разрезов скважин по различным видам полезных ископаемых чаще сталкиваются с более сложной геофизической неоднозначностью геологического строения объекта. Эффективное решение геологических и технических задач возможно только при комплексном изучении скважин геофизическими методами, основанными на различной петрофизической природе (электрическими, радиоактивными, термо-физическими, акустическими, сейсмоакустическими, механическими, геохимическими и др.) и обеспечивающими достаточную вертикальную и радиальную расчленяемость геологического разреза.

Достоверное решение геологических и технических задач, стоящих перед скважинной геофизикой, обеспечивается комплексом (программой) методов, требующих минимума затрат средств времени и средств.

Комплекс ГИС определяется целевым назначением скважин (опорные, параметрические, оценочные, поисковые, разведочные, эксплуатационные), особенностями геологического разреза, специфическими условиями бурения, характером ожидаемой геологической информации.

Поскольку геологические и технические условия проведения работ в разных районах сходны, устанавливаются типовые комплексы ГИС для всего разреза и перспективных интервалов на полезные ископаемые для поисковых, разведочных, эксплуатационных скважин с учетом типа промывочной жидкости.

Для опорных, параметрических и оценочных скважин типовые комплексы ГИС не составляются, так как эти скважины исследуются по индивидуальным программам и планам.

**Типовые комплексы ГИС** включают **основные** методы исследований для решения задач в обычных условиях и **дополнительные**, учитывающие специфику конкретных геолого-технических условий. На основе утвержденных (рекомендуемых) типовых комплексов, разрабатываются (по согласованию с заказчиком) более конкретные обязательные комплексы, учитывающие специфику района и обеспечивающие получение

максимальной информации при минимальных затратах средств и времени. По мере разработки новых и более эффективных ГИС - обязательные комплексы пересматриваются.

Наиболее расширенный комплекс ГИС рекомендуется выполнять при изучении разрезов поисковых скважин, так как в этом случае имеется **МИНИМУМ** априорной геологической информации о вскрываемом разрезе горных пород и не известны специфические геологические особенности данного района. Если задачи, поставленные перед поисковым бурением, не удастся решить комплексом основных методов, то проводятся дополнительные исследования разрезов скважин.

### **Автоматизация процессов обработки и интерпретации данных ГИС.**

Геологические сложности открываемых месторождений и расширяющийся круг задач и требований к геологической интерпретации геофизических данных требуют расширенного комплекса ГИС и более тщательного анализа их результатов.

Традиционные ( неавтоматизированные , с помощью \*палеточного инструмента \* ) приемы сбора, хранения, обработки и интерпретации получаемой геофизической информации требуют огромных трудовых и временных затрат, в то же время не обладают необходимой оперативностью, не исключают субъективности в решении геологических задач по ГИСу, следовательно, не обеспечивают полного извлечения геологической информации.

Одним из направлений повышения геологической эффективности и оперативности использования материалов геофизических исследований является автоматизация процессов сбора, обработки и интерпретации с использованием ЭВМ различных классов и другого вспомогательного оборудования.

Автоматизация процессов сбора, обработки и интерпретации геоданных включает следующие основные этапы:

1. сбор геофизической и геологической информации, преобразование её в цифровую форму, запись на магнитную ленту ( жесткие и гибкие диски), транспортировка ( передача ) в ВЦ, контроль и ввод в ЭВМ ;
2. обработка и интерпретация полученных данных на ЭВМ по комплексу специальных программ;
3. оформление и хранение результатов интерпретации.

Поскольку результаты ГИС определяют дальнейший ход разведки МПИ и их разработку, то автоматизированная система сбора обработки и интерпретации геолого-геофизических материалов и их хранения является составной частью общей автоматизированной системы управления геологоразведочными работами ( АСУ ).

### **ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА ИНФОРМАЦИИ**

Для получения геофизической информации в цифровой форме используются специальные цифровые и аналого-цифровые геофизические лаборатории, снабженные цифровыми регистраторами типа \*Триас\*, ПЛК-6, АЦРК-2 и др. Значения геофизических параметров фиксируются в цифровой форме через 1 - 10 см глубины в зависимости от сложности разреза и метода ГИС. Число каналов преобразователей типа ПАК, по которым

можно вести оцифровку регистрируемых параметров, зависит от типа цифрового регистратора и составляет 5 -15 и (даже 22). Для преобразования старой информации (записанной в аналоговом виде) в цифровую форму используются автоматические и полуавтоматические преобразователи. ( Например, типа Ф001, Ф014, Ф018 и их модификации ).

Оцифрованная геофизическая информация на ВЦ может передаваться в зависимости от географического положения и обустроенности района, степени развития связи между ВЦ и местом работ и пр. следующими способами :

1. с помощью транспортных средств ( магнитограммы, перфокарты, перфоленты );
2. по телетайпу, телефону, коротковолновой радиолнии ;
3. космическим линиям связи.

Для ввода оцифрованной геофизической информации с перфокарт, перфолент, магнитных лент и дисков в ЭВМ используются специальные устройства для различных носителей информации.

После ввода геофизической информации в ЭВМ начинается обработка и интерпретация геолого-геофизических данных по системе специальных программ.

#### **ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ и ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИС**

Автоматизированная система обработка и интерпретации ГИС предусматривает сбор о обработку данных по специальным программам по отдельной скважине - ( **оперативная интерпретация** ).

При обработке всех геолого-геофизических данных по отдельной площади или месторождения имеют дело со **сводной интерпретацией**.

При оперативной интерпретации обрабатываются геофизические данные каждого метода ГИС отдельно и затем после корректировки результатов интерпретируются уже совместно все данные комплексного исследования скважины с целью литологического расчленения разреза, выделения пластов-коллекторов, оценки характера их насыщения, определения ряда физ.свойств ( коэффициента пористости, водо-, нефте-, газонасыщенности, глинистости, проницаемости ), содержания полезных компонентов и пр.

При сводной интерпретации обобщается весь геолого-геофизический материал и результаты оперативной интерпретации по всем скважинам отдельного месторождения ( площади), устанавливаются закономерности его продуктивных отложений, определяются подсчетные параметры: средние эффективные мощности, площадь месторождения, средние коэффициенты и параметры. Сводная интерпретация заканчивается подсчетом запасов полезного ископаемого.

Достоверность автоматизированной обработки и интерпретации данных ГИС (АСОИГИС) с помощью ЭВМ зависит не только от математического обеспечения всех операций полного цикла всего процесса, но и от физико-математического подхода и петрофизического обоснования перехода от геофизических параметров к геологическим.

АСОИГИС обеспечивает надежность и объективность получаемой информации, более полное извлечение информации геолого-геофизических материалов при условии широкого обобщения всех имеющихся сведений о районе работ, повышает оперативность геофизических работ в скважинах. Кроме того, требуется меньше квалифицированных специалистов-интерпретаторов.

Однако большое разнообразие существующих систем обработки затрудняет их повсеместное использование на практике, поскольку системы различаются не только типом ЭВМ, на который они ориентированы, но и составом библиотек обрабатывающих программ, их алгоритмическими особенностями.

В ряде стран уже созданы единые автоматизированные системы обработки, которые позволяют без значительных затрат труда использовать одни и те же программы на ЭВМ.

Такая система АСОИГИС обеспечивает обработку и интерпретацию данных на следующих этапах:

1. оперативная интерпретация с целью изучения геологических разрезов отдельных скважин;
2. сводная интерпретация результатов при подсчете запасов полезного ископаемого и проектирования системы разработки;
3. обработка данных ГИС для оценки технического состояния скважин;
4. интерпретация результатов геофизических исследований действующих скважин для контроля разработки месторождений

**Система АСОИГИС включает математическое, информационное, техническое и организационно-технологическое обеспечение.**

Основными компонентами **математического обеспечения** являются стандартное математическое обеспечение, специализированная операционная (обслуживающая система для организации обработки, библиотека геофизических обрабатывающих программ).

**Информационное обеспечение** предполагает наличие обрабатываемой информации трех типов: геофизические данные, геолого-техническая и управляющая информация.

**Технические средства** системы базируются на использовании ЭВМ различных типов.

**Организационно технологическое обеспечение** определяется положением об экспедиционном или региональном ВЦ (РГВЦ).

Основные задачи и функции РГВЦ:

1. формирование банка данных геологоразведочных подразделений;
2. подсчет запасов полезного ископаемого по данным ГИС, оперативный текущий подсчет запасов для оптимизации геологоразведочного процесса;
3. контроль качества интерпретации данных ГИС;

4. обобщение геолого-геофизических материалов и площадные построения ( карты, корреляционные схемы и разрезы).

## ТЕМА 4

### ЛЕКЦИЯ 4. СКВАЖИННАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА и ОБОРУДОВАНИЕ при ВЫПОЛНЕНИИ ГИС

#### Основные принципы построения

аппаратуры для ГИС ГИС включает в себя:

- измерение,
- передачу
- регистрацию
- предварительную обработку информации.

Для их осуществления служат:

- а) наземные лаборатории;
- б) глубинные приборы;
- в) спуско-подъемное оборудование.

Перед производством ГИС бурение прекращают, буровой инструмент извлекают на поверхность, глубинные приборы соединяют с АКС ( автоматизированные каротажные станции ) специальным кабелем, который служит для:

1. Для транспортировки по стволу;
2. Электропитания;
3. Передачи информации

**Спуско-подъемное оборудование** включает:

- а) блок-баланс,      б) лебедку с геофизическим кабелем.

**Лебедка бывает:** а) на отдельном автомобиле-подъемнике,

- б) или на том же автомобиле, что и измерительная лаборатория.

К блок-балансу подсоединяют **датчики** а) глубин;

б) датчики натяжения; в) меток глубин.

Работа лебедки осуществляется от двигателя автомобиля.

При исследовании наклонных скважин в горных выработках, штолен применяются специальные устройства для транспортировки приборов к забою.

В глубинном приборе ( зонде ) находятся **первичные датчики**, преобразующие разность потенциалов, напряженность электромагнитного поля (Е, Н), интенсивность ( $I\gamma$ ) первичного и вторичного радиационных полей в **сигналы ( изменяющиеся ток и (или) напряжение )** .

**Зонд** имеет устройство для создания **электрических, электромагнитных, нейтронных** и т.д. **полей и некоторые специфические элементы** ( экраны, фильтры, центраторы, коллиматоры ).

*Так, например, глубинный прибор может иметь датчики и устройства для одновременного ведения исследований несколькими методами.*

**Сигнал** ( на выходе первичного датчика ) непригоден для его передачи по каротажному кабелю , т.к. большая длина, поэтому **ЕГО преобразовывают** :

- а) интегрируют;
- б) выпрямляют;
- в) усиливают по мощности;
- г) кодируют.

/ Для этого в скважинном приборе размещают электронные приборы, требующие специальной защиты от высоких температур { $T > 200^{\circ}\text{C}$  } и давлений [ $D \geq 120$  МПа ].

Для геофизического кабеля требуется изоляция от воздействия химически агрессивной среды: растворы ( кислот, солей , щелочей ) и нефти и газа.

### **Глубины ( рудных, угольных, инженерно-геологических, гидрогеологических )**

**с к в а ж и н** обычно невелики, т.е. они работают в благоприятных термобарических условиях. Единственно усложняющий фактор - это маленький диаметр скважин.

**Применяемые методы должны учитывать реальные возможности геофизической аппаратуры.**

**Эффективный способ сокращения времени на ГИС -**

- **одновременное исследование несколькими методами**
- **Это делается за счет аппаратурного комплексирования.**

Для этого делаются многоканальные телеизмерительные системы, когда информация от нескольких датчиков подается одновременно.

Существуют приборы ( например, БКЗ ( с фокусировкой тока ) или АК + радиоактивный каротаж ( НГК, ННК, ГК ) или разные модификации ядерных методов.

**Одновременно внедряются АВТОНОМНЫЕ ГЛУБИННЫЕ ПРИБОРЫ** ( НА БУРОВОМ ИНСТРУМЕНТЕ ) - ПОД долотом. Тут информация записывается на магнитные носители.

**Все это:** - сокращает простои ГИС

- дает возможность изучить коллекторы до образования зоны проникновения

**АКС** (автоматизированные каротажные станции ) служат для : - питания скважинной аппаратуры;

- контроля процесса каротажа,
- регистрации
- предварительной обработки информации

По способу регистрации и обработки АКС бывают: - аналоговые,,

- цифровые,
- компьютеризированные

Автоматическая компьютеризированная лаборатория содержит бортовой компьютер, который выполняет следующие функции:

- а) управляет калибровкой аппаратуры;
- б) оптимизирует процесс измерения;
- в) контролирует качество получаемой информации ;
- г) осуществляет оперативную интерпретацию результатов.

## **АППАРАТУРА и ОБОРУДОВАНИЕ**

Геофизическое оборудование обеспечивает **электрическую и механическую стыковку** скважинной и наземной аппаратуры посредством ( кабеля, подъемника, блок-баланса ), также спуск и подъем скважинных приборов

**ПОДЪЕМНИКИ** - спускоподъемное оборудование на автомобиле.

**Подъемник ( или лебедка )**, работающий от двигателя автомобиля и предназначен для спуска кабеля в скважину и подъема его на поверхность.

Подъемники с лебедками разных размеров и конструкций в зависимости от типа и длины кабеля ( ГК-2, ГК - 4 и др. ).

Подъемники содержат : а) лебедки с узлами управления;

б) коробки отбора мощности;

в) редуктора;

г) коллектора ;

д) панели управления ( для контроля спускоподъемных операций и работы двигателя).

**Лебедка состоит из:** а) рамы, б) барабана в) привода для вращения барабана;

г) укладчик кабеля;

д) тормозной системы

**Самоходный подъемник типа ГК-2** предназначен для работ в скважинах глубиной до 4500 м с геофизическим кабелем типов: КГ1-53-180 и КГ1-53-90. Установлен он на ЗИЛ-131.

Подъемник типа **ГК-4 на Урале -375А** ( в скважинах глубиной до 7000м); скорость перемещения снаряда  $Y = 50 - 10000$  м/ ч.

( Питающие измерительные цепи к жилам КГ присоединяются с помощью коллектора, установленного на раме лебедки ).

**Блок-баланс** устанавливается вблизи скважины и предназначен для направления кабеля в скважину и синхронной передачи ( h ) расположения датчика поля на лентопротяжный механизм регистратора.

Блок-баланс:

а) преобразовывает горизонтальное движение кабеля в вертикальное:

б) фиксирует длину перемещения кабеля через него;

в) приводит в действие механические системы лаборатории ( ЛПМ отметки глубин ).

На нем крепятся: 1. Датчик глубин 2. Датчик натяжения кабеля.

Датчик глубин передает движение ЛПМ (лентопротяжный механизм) преобразующего прибора и счетчика глубин. Индикация на контрольных панелях лаборатории.

**Кабели** предназначены для обеспечения линии связи и механической нагрузки. Применяются одно-, трех-, или многожильные кабели в хорошей изоляции.

Требования, предъявляемые к каротажным кабелям: а) достаточная прочность и гибкость; б) малое сопротивление (электрическое) ; в) высокая изоляции токопроводящих жил г) работа при высоких температурах (  $T = 200 - 250^{\circ}C$  ) ;

д) работа при высоких давлениях (  $D = 150 - 150 \text{ МПа}$  ) е) сохранять работоспособность при химически агрессивной среде.

Например, **КГ ( 1, 3, 7 ) - 24 - 190 Ш**

( переводится : кабель геофизический ; одно-, трех-, семижильный ; разрывное усилие в килоньютонах 24 кН, термостойкость кабеля в град. Цельсия;

{ Ш } шланговая оболочка; ( М ) - маслостойкий; ( ВО ) - оплетка из волокнистого материала ; Б - бронированные кабели.

## ТЕМА 5

### ЛЕКЦИЯ 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ и ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КАРОТАЖ

Электрические и электромагнитные методы каротажа занимают ведущее место при проведении геофизических исследований в скважинах, на их долю падает более 50 % от всего объема, приходящегося на выполнение ГИС.

#### Основные понятия и классификация

##### электрических методов исследования скважин

Классификация электрических методов исследования скважин основана на **характере происхождения изучаемого поля** и его изменении во времени ( по частоте).

По происхождению изучаемого поля методы **электрметрии скважин** делятся на две большие группы : естественного и искусственного электромагнитного поля.

А по **частоте поля** на методы: **постоянного, квазипостоянного и переменного** поля. Причем среди **методов переменного электрического поля** различают **низкочастотные и высокочастотные**.

При изучении стационарных естественных электрических полей применяются методы потенциалов собственной ( ПС ) поляризации горных пород. Искусственные стационарные и квазистационарные электрические поля исследуются методами кажущегося сопротивления ( КС ), сопротивления заземления ( СЗ ), методами регистрации тока ( ТК ), потенциалов вызванной поляризации ( ВП),

Искусственные переменные электромагнитные поля изучаются индукционными (ИК), диэлектрическими ( ДК) и радиоволновыми методами.

#### Методы потенциалов собственной

поляризации горных пород ( ПС ) . В эту группу методов входят: а) обычный метод потенциалов ПС ; б) метод градиента ПС ; в) метод селективных зондов ; г) метод квазистатических потенциалов д) метод специальных зондов ; е) метод электродных потенциалов ( МЭП); з) метод гальванических пар и др.

**Метод собственной поляризации (ПС)** основан на измерении потенциалов СП, по которому определяется такая важная характеристика горных пород как  $\alpha$  (естественная электрохимическая активность), которая служит **критерием оценки** наличия в горных породах высокодисперсного материала и (или) минерализованной пластовой жидкости.

**Физические основы метода ПС** сложны. Происхождение потенциалов СП в скважинах обусловлено:

- диффузионно-адсорбционной активностью горных пород;
- фильтрационными;
- окислительно-восстановительными процессами.

В каждом отдельном случае конкретной горной породы и условий измерений преобладает одна из перечисленных причин.

В скважинах, бурящихся на нефть-газ и воду основная причина - диффузия ионов при соприкосновении растворов электролитов разной концентрации.

Большинство осадочных пород - дисперсные пористые среды. В условиях заполнения их электролитами происходит избирательная адсорбция и возникновение двойных электрических слоев диффузионно-адсорбционного происхождения.

Возникновение фильтрационных потенциалов в горных породах с заметно выраженными фильтрационными свойствами и при наличии перепада давления между скважиной и пластом, в результате которого происходит фильтрация жидкости вдоль пласта. **Анионы** (отрицательные ионы) менее подвижны, т.к. адсорбируются тонкодисперсным материалом, а **катионы** (положительные ионы) накапливают положительный заряд на некотором удалении от стенки скважины. При наличии **глинистой корки** на внешней её стороне, создавая  $\Delta U$ , которая является причиной фильтрационной составляющей ПС..

**Количественная оценка скачков потенциала** диффузионно-адсорбционного происхождения на двойном электрическом слое определяется по формуле:

$$E_{да} = K_{да} \lg\left(\frac{\rho}{\rho_B}\right)$$

где  $-K_{да} \approx -11.6 \text{ мВ}$  до  $58 \text{ мВ}$

Окислительно-восстановительные потенциалы наблюдаются в зонах сульфидного оруденения в результате окисления сульфидов.

Окисляющая среда заряжается положительно, отдавая электроны.

Восстанавливающая среда, присоединяя электроны заряжается отрицательно.

В результате чего образуется двойной электрический слой.

Аномалии окислительно-восстановительных потенциалов регистрируются :

- в сульфидных залежах;
- - в угольных пластах;
- в графитах

**Плотные породы** ( известняки, слабопроницаемые песчаники, изверженные породы ) отмечаютя небольшими аномалиями  $\Delta U_{пс}$ .

Кривую  $\Delta U_{пс}$  регистрируют по схеме измерения разности потенциалов между электродом **М** , перемещающимся по скважине, и электродом **Н**. Расположенным неподвижно вблизи устья скважины. Между электродами **М** и **Н** включается регистрирующий прибор и компенсатор поляризации.

Работы методом ПС выполняют , обычно, установкой, содержащей только два приемных электрода : **М** и **Н** . Зондом для измерения  $\Delta U_{пс}$  служат свинцовые электроды.

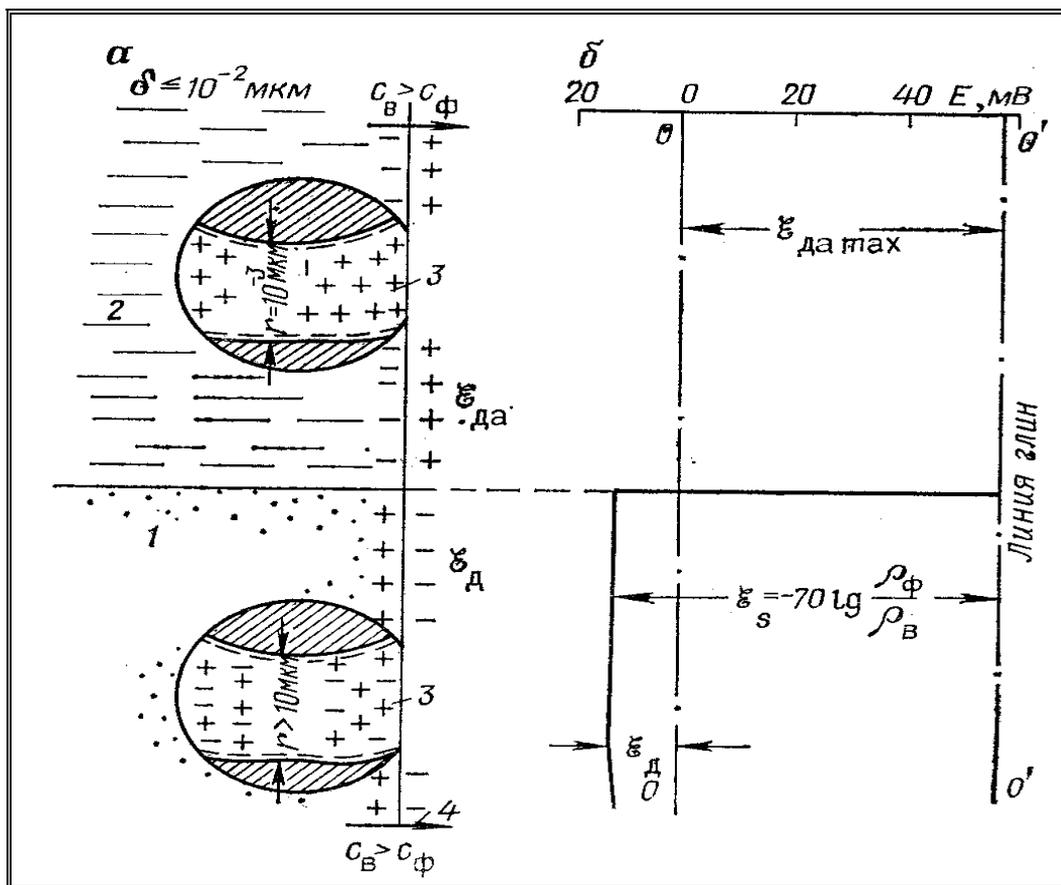
Измерения проводят способом потенциалов или способом градиента потенциалов. Более применимым на практике является **способ потенциалов**, который заключается в том, что измерение  $\Delta U_{пс}$  выполняют установкой, состоящей из подвижного электрода **М** и неподвижного электрода **Н** , который заземляют у устья скважины. Зонд с электродом **М** перемещают по скважине и на пульте регистрации записывают диаграмму  $\Delta U_{пс}$ .

При наличии электрических помех или по другим причинам измерение выполняют **способом градиента потенциала**. В этом случае оба приемных электрода **М** и **Н** передвигают по скважине на постоянном расстоянии друг от друга, обычно равном 1 - 2 м.

В результате измерений получают графики естественных потенциалов ( в мВ ). Изменение потенциалов ПС в скважине отображается симметричной кривой относительно середины пластов. Пласт имеет **границы** на уровне значения потенциала, равного примерно половине амплитуды аномалии  $\Delta U_{пс}$  , т.е.  $0,5 \Delta U_{пс(макс.)}$  . С уменьшением мощности пласта граница его смещается к максимуму, тем интенсивнее, чем меньше мощность выделяемого пласта. На величину отклонения  $\Delta U_{пс}$  влияют также  $\rho_k$  вмещающих пород, зоны фильтрации бурового раствора, диаметр скважины и т.п.

Регистрируемая разность потенциалов равна:

$$\Delta U_{пс} = \Delta U_{mn} = \Delta U_m + const$$



### КАРОТАЖ методом кажущихся сопротивлений (КС)

Скважинные исследования методом КС основаны на разделении пород по кажущемуся удельному электрическому сопротивлению, которое рассчитывают по формуле  $\rho_k = K \Delta U / I$

Обычно применяют четырех-электродную установку А МNB, причем в скважину опускают три электрода АМN или АВМ, а четвертый А или N заземляют на поверхности вблизи устья скважины. Три электрода в скважине образуют каротажный зонд.

В зависимости от положения электродов различают следующие типы зондов:

а) **однополюсный** (с одним питающим электродом А, а второй В находится на поверхности, т.е. установка АМN);

б) **двухполюсный** (зонд типа ВАМ), когда в скважину опускают оба питающих электрода А и В, а на поверхности заземляют приемный электрод;

в) **потенциал-зонд**, зонд в котором расстояние между парными электродами (MN в однополюсном или АВ в двухполюсном) в 5-10 раз превышает расстояние между непарными АМ.

г) **градиент-зонд**, зонд в котором расстояние между парными электродами MN или АВ во много раз меньше расстояния между непарными электродами АМ.

Выделение границ пластов с различным электрическим сопротивлением зависит от расположения парных электродов относительно непарного, поэтому различают градиент-зонды: **подошвенный (П)** и **кровельный (К)**. В подошвенном зонде парные электроды расположены ниже непарного. В кровельном зонде парные электроды находятся выше непарного электрода. Подошвенный градиент-зонд отчетливо фиксирует подошву пласта высокого сопротивления, кровельный - кровлю такого пласта.

Зонды обозначаются буквами - названиями электродов в порядке расположения этих электродов в скважине сверху вниз. Между буквами записывается расстояние между электродами в метрах. Например, **NO,5 M 2,0 A** - кровельный градиент-зонд, где расстояние между парными электродами  $MN = 0,5$  м, а от ближайшего парного M до непарного A электрода расстояние 2м. Длина градиент-зонда  $L_{гз} = 2,25$ м.

**Методика измерений КС** заключается в следующем: скважинный снаряд (каротажный зонд) спускают к забою подготовленной скважины. На питающие электроды подают постоянный ток ( $I$ ). Зонд перемещают от забоя к устью скважины с помощью кабеля и лебедки, и при этом автоматически измеряют и записывают на ленту в виде непрерывной кривой разность  $\Delta U_{кс}$ .

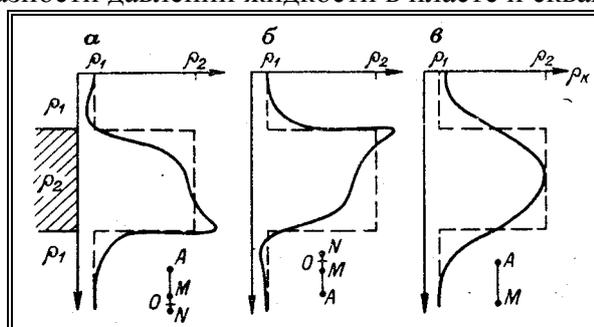
При постоянном размере зонда и постоянном значении ( $I$ ) кривая является фактическим графиком  $\rho_k$ .

Для перевода значений  $\Delta U_{кс}$  (в мВ) в значения  $K$  (Ом м) достаточно выбрать масштаб записи, равный отношению коэффициента зонда к подаваемому на электроды току ( $M = K / I$ ).

Удобный масштаб записи для конкретного зонда получается подбором соответствующей силы тока.

**Интерпретация данных КС** заключается в визуальном выделении на диаграммах КС аномалий  $\rho_k$ , по которым определяют глубину залегания пластов с высоким или низким удельным электрическим сопротивлением и их мощность.

Однако форма кривых и их характер зависят не только от сопротивления и мощности слоев, но и от диаметра скважины, минерализации бурового раствора или воды, заполняющей скважину, радиуса проникновения жидкости в поры породы, а следовательно, от пористости пород и разности давлений жидкости в пласте и скважине.



Графики  $\rho_k$  по данным каротажа КС с разными типами зондов.

**а** - подошвенный градиент-зонд; **б** - кровельный градиент-зонд; **в** - потенциал зонд.

Характер кривой зависит также от типа и размера зонда, с помощью которого получена диаграмма, от соотношений размера зонда с мощностью слоев в стенках скважины.

## ЛЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ ГИС

**Электромагнитные методы** основаны на применении электромагнитного поля, индуцирующего вторичные электромагнитные поля.

Электромагнитные методы не требуют гальванического ( непосредственного ) контакта токоведущих элементов с горными породами.

Эти методы можно применять:

- в сухих скважинах;
- в скважинах пробуренных с использованием непроводящих ток пресных промывочных жидкостей и жидкостей на нефтяной основе;
- при малых значения  $(\rho_p / \rho_c)$

Различают : низкочастотные ( 20 - 60 кГц ) и высокочастотные ( 1 - 40 мГц ) электромагнитные методы.

Основное применение в практике нашел **низкочастотный метод**, известный под названием **индукционный**.

**Индукционный зонд** состоит из 2-х катушек: :

**генераторной** (генераторная катушка создает первичное ЭМП, приводящее к возникновению в горных породах вихревых токов ( Фуко );

**приемной** ( вихревые токи порождают вторичное электромагнитное поле, индуцирующее ЭДС в приемной катушке).

Зависимость  $E_2$  от  $I$  и  $(1/\rho_p)$  приблизительно прямо пропорционально (таким образом , сигнал регистрируемый ИП отражает изменение проводимости по разрезу скважин.

Единицы измерений ( См/ м ), или ( 1/( Ом м )

**БОКОВОЙ КАРОТАЖ ( БК ) ( электрические методы с фокусировкой тока )**

При больших значениях  $\rho_p / \rho_c$ , т.е. при  $(\rho_p / \rho_c > 200)$  шунтирующее влияние столь велико, что МКС не обеспечивает необходимой точности даже в модификации БКЗ.

Серьезные ограничения КС ( в пластах ограниченной мощности ) особенно при малых  $\rho_{вм}$ . Г.П., т.е.  $\rho_p > \rho_{вм} > 20$ .

В обоих случаях ток распространяется не по исследуемому пласту:

- в первом случае он течет, главным образом, вдоль ствола скважины;

■ во втором, - уходит во вмещающие горные породы.

Для устранения **этих недостатков** создан метод с фокусировкой тока. За рубежом он называется \* Laterlog \* ( автор Х.Г.Долль, 1950 ), а в СССР (СНГ) - боковой каротаж ( автор В.Н.Дахнов, 1946).

**Фокусировку** осуществляют экранными электродами (  $A_1$  и  $A_2$  ) 7-электродного зонда, напряжение на которые подают в фазе с напряжением питающего электрода  $A_0$ .

**Строгая горизонтальность токовых линий, обеспечивающая их распространение только по исследуемому пласту, контролируется отсутствием вертикальных составляющих тока, и соответственно, нулевой разностью потенциалов вдоль оси скважины на участках  $M_1N_1$  и  $M_2N_2$  ( т.е.  $\Delta U_{M_1N_1} = 0$   $\Delta U_{M_2N_2}$  )**

При нарушении этого условия, ток проходящий через экранные электроды  $A_1$  и  $A_2$  - **автоматически меняется.**

При расхождении пучка он увеличивается, при схождении - уменьшается.

Длина зонда - это величина  $L = O_1 O_2$ , тогда измеряемое  $\rho_p = K \rho$ ,

где  $U$  - потенциал на участке  $M_1N_1$  и  $M_2N_2$

Рассматриваемая установка по существу есть потенциал-зонд с фокусировкой тока, поэтому получаемые диаграммы ( как и диаграммы потенциал-зонда ) представляют собой плавные кривые симметричные относительно центра пласта.

Методы **с фокусировкой тока** обеспечивают необходимую точность при высоких значениях  $\rho_p / \rho_c$ , даже при малых мощностях пластов, приближающихся к длине зонда.

Получаемые  $\rho_k$  меньше отличаются от истинных, чем это в методе КС..

Поэтому наряду с термином  $\rho_k$  ( МБК ) применяется выражение  $\rho_{эфф.}$  ( эффективное ).

**Ограничением МБК является случай глубокой повышающей зоны проникновения.**

Наряду с 7-электродными зондами применяются ( 3-х электродные и 9-электродные ) зонды с фокусировкой тока.

Фокусировку осуществляют с 2-мя протяженными электродами, обеспечивающими нулевую разность потенциалов ( выше или ниже точки  $A_0$  по оси скважины).

3-х электродные зонды по технологическим и методическим параметрам уступают 7-электродным.

Зонды с 9-ти электродами ( псевдо БК ) служат для исследования зоны проникновения ( в связи с чем ток при выходе из зоны проникновения принудительно расфокусируется )

При больших  $\rho_{п} / \rho_{с}$  используются микрозонды, так как:

- а) обычные зонды не обеспечивают нормальной точности измерений;
- б) солевые промывочные жидкости образуют значительную ГК (глинистую корку).

**Методы с фокусировкой тока решают следующие задачи - их применяют в сложных геолого-геофизических условиях:**

- \* - в сильно дифференцированных карбонатных толщах;
- \* с применением соленых промывочных жидкостей.

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

**КАРОТАЖ МЕТОДОМ СКОльзяЩИХ КОНТАКТОВ ( СК ).** Этот вид токового каротажа наиболее простой из всех ГИС. Установка для этого метода представляет собой два питающих электрода АВ, один из которых ( В ) заземляют на дневной поверхности, а второй ( А ) - опускают в скважину, заполненную раствором.

Сопротивление заземления электрода А в скважине будет зависеть от удельного сопротивления пород, вступающих в контакт с электродом при перемещении его по скважине. Контакт с породами низкого сопротивления приводит к значительному увеличению тока в цепи ( АВ ).

**По результатам метода СК четко отмечают хорошо проводящие ток рудные тела: сульфидные и магнетитовые руды, графит, углистые сланцы, трещиноватые обводненные породы.**

**КАРОТАЖ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ( ВП )** позволяет оценить способность горных пород поляризоваться при прохождении через них электрического тока.

В методе ВП процесс пропускания тока через электроды АВ чередуется с замером разности потенциалов между измерительными электродами MN. В тот момент, когда токовая цепь сомкнута, на MN. Измеряют  $\Delta U_{кс}$ ; после того как пульсатор разомкнет цепь АВ, на тех же электродах измеряют  $\Delta U_{вп}$ .

Поляризацию чаще всего оценивают по относительной величине вызванных потенциалов., равной  $\Delta U_{вп} / \Delta U_{кс}$ . Для этого  $\Delta U_{вп}$ . регистрируют при регулируемом токе с таким расчетом, чтобы  $\Delta U_{кс}$ . оставалось постоянной на протяжении всего замера. В этом случае отношение  $\Delta U_{вп} / \Delta U_{кс}$  будет соответствовать величине ОВП.

Кривые ОВП почти не зависят от удельного сопротивления пластов и поэтому удобны для расчленения разрезов по степени поляризации пород.

*Скважинный вариант метода ВП является дополнительным при изучении месторождений угля, графита, руд различного состава, для выделения пластов, содержащих вкрапленные сульфидные руды. и пр.*

**ИНДУКТИВНЫЙ КАРОТАЖ (ИК)** основан на измерении напряженности переменного электромагнитного поля, возбужденного в породах, и предназначенного для изучения их удельной проводимости (удельного сопротивления).

Наиболее простой зонд (ИК) состоит из генераторной и измерительной катушек, расположенных соосно на расстоянии, равном длине зонда.

Через генераторную катушку пропускают переменный ток с частотой (20 - 60 КГц.) Создаваемое этим током первичное переменное поле возбуждает в окружающей среде вихревые токи и вторичное электромагнитное поле. Первичное и вторичное электромагнитные поля индуцируют в измерительной катушке ЭДС  $E$ , первичная составляющая  $E_1$  которой компенсируется, а вторичная  $E_2$  регистрируется.

Так как сила тока в генераторной катушке постоянна, наведенная в измерительной катушке ЭДС  $E_2$  будет расти примерно пропорционально удельной электропроводности среды, окружающей зонд:

$$E = \gamma_k K = \frac{1}{\rho_k}$$

где  $\gamma_k$  и  $\rho_k$  - соответственно кажущаяся удельная электропроводность и сопротивление среды

$K$  - коэффициент зонда, зависящий от его длины, параметров катушек и питающего тока.

В современной аппаратуре ИК применяют фокусированные зонды, которые кроме генераторной и измерительной катушек, содержат дополнительные фокусирующие катушки. Фокусирующие катушки снижают влияние вмещающих пород, скважины и зоны проникновения на показания зонда.

Основная область применения (ИК) - определение  $\rho_k$  пластов в скважинах с пресной промывочной жидкостью, когда возможно только повышающее проникновение.

Наилучшие результаты ИК дает в песчанисто-глинистых разрезах с небольшим уд. сопротивлением пластов ( $\rho_{п} < 30$  Ом).

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАРОТАЖ (ДК)** предназначен для изучения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) горных пород и основан на измерении амплитуды и фазы высокочастотного (30-60 МГц) электромагнитного поля.

Диэлектрическая проницаемость горных пород изменяется в широких пределах и является характерной величиной, связанной с их литологией, пористостью, нефтегазонасыщенностью.

Нефтегазо- и водонасыщенные породы значительно различаются по  $\epsilon$ . Так у воды  $\epsilon = 80$ , нефти = 2-3, а газа близка к 1.

**ДК** успешно решает задачу детального расчленения скважины, а в нефтяных и газовых скважинах позволяет прогнозировать характер насыщения пластов-коллекторов и в благоприятных условиях ( высокая пористость, отсутствие глинистости - определять коэффициент нефтегазонасыщенности).

## ТЕМА 6

### ЛЕКЦИЯ 7. РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ и ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ

Радиометрические и ядерно-физические методы ГИС основаны на изучении полей ионизирующих излучения ( естественных и искусственно вызванных ( наведенных)).

**Радиоактивный каротаж ( РК )** предназначен для изучения как естественной радиоактивности горных пород, так и вторичной ( наведенной ) , возникающей в результате облучения горных пород внешними источниками гамма-излучений или нейтронов, а также для изучения явлений поглощения, замедления и рассеяния горными породами внешних ионизирующих излучений.

Основные методы радиоактивных ГИС: гамма-каротаж, гамма - и нейтронные методы, основанные на эффекте взаимодействия источников излучения с горными породами. Результатами такого взаимодействия является рассеяние или поглощение нейтронов и гамма-квантов. Неоднозначность ответной реакции позволила создать ряд модификаций радиоактивных методов, таких как нейтронный гамма-каротаж, нейтрон-нейтронный каротаж, импульсные нейтронные методы, активационный каротаж, рентгенорадиометрический и др.

Методами ядерно-физического каротажа можно измерять параметры в обсаженных и не обсаженных скважинах, сухих или заполненных буровым раствором, определять минеральный и химический состав пород, слагающих разрез скважины.

**Недостатки методов** сводятся к малому радиусу исследований ( невысокая глубинность ) и опасность работы с источниками излучений.

**ГАММА-КАРОТАЖ ( ГК )** основан на изучении *естественного гамма-излучения* пород вдоль ствола скважин. Гамма-излучение обладает наибольшей проникающей способностью среди других видов ядерных излучений и это дает возможность регистрировать её скважинным радиометром, основная часть схемы которого смонтирована в стальном скважинном снаряде.

Электрические сигналы ( импульсы тока или напряжения ), пропорциональные интенсивности гамма-излучения, передаются по кабелю на пульт каротажной станции и записываются на каротажную диаграмму или магнитную ленту ( при цифровой записи). В частности , на диаграммах выделяют пласты с разной радиоактивностью: так максимумами отмечаются породы и руды, содержащие уран, радий, торий, калий-40 и др. радиоактивные элементы, а также породы с их высоким содержанием ( например, граниты, глины ). Минимальными значениями отмечаются песчанистые и карбонатные породы, каменная соль, угли и пр.

На **интенсивность регистрируемого излучения(  $I_{\gamma}$  )** существенное влияние оказывают излучение от глинистого раствора, поглощение излучений обсадной колонной, цементом и

т.д. Радиус обследования ГК около 50 см; излучение же от более удаленных участков поглощается средой и не достигает детектора прибора.

Увеличение диаметра скважины из-за размыва стенок или отпадок сопровождается уменьшением показаний. Все эти помехи учитываются в процессе количественной интерпретации, при которой данные гамма-каротажа приводятся к стандартным условиям.

**ГК проводят с целью :** - выделения глинистых пластов; оценки их глинистости, корреляции пластов в скважинах; при выделении пластов руд радиоактивных элементов и т.д.

Кривые ГК могут регистрироваться совместно с кривыми других методов каротажа. Каротаж может проводиться одновременно с выполнением технических операций в скважинах.

В последние годы стал широко внедряться в практику исследований спектрометрический гамма-каротаж **ГКс**, основанный на измерении энергетических характеристик излучений. **ГКс** позволяет определять природу радиоактивных аномалий, т.е. раздельно определять содержание **U, Th K-40**.

**ГКс** с успехом может применяться для поисков и оценки руд нерадиоактивных элементов: **Ta, Nb, Be, Sn, W, Mo**.

**ГАММА- ГАММА-КАРОТАЖ ( ГГК )** основан на измерении потока рассеянного гамма-излучения, возникающего в результате облучения горных пород **γ-квантами** с энергиями до 1-2 МэВ и их взаимодействия с электронными оболочками атомов ( фотоэффект, эффект Комптона)

Модификацию ГГК, которую применяют для определения плотности пород, называют *плотностным гамма-гамма-каротажем ( ГГК-П )*. В этом случае в качестве источника **γ-квантов** обычно используют радионуклиды ( активные изотопы ) **Co-60 ( E<sub>γ</sub>= 1,17 МэВ ), Cs-137 ( E<sub>γ</sub>= 0.662 МэВ )**.

При **E<sub>γ</sub> < 0,2 МэВ** для тяжелых металлов в основном проявляется фотоэлектронное поглощение, поэтому изменение содержания таких металлов в рудах приводит к вариациям потока **\* мягкого \*** гамма-излучения за счет различия в фотоэлектрическом поглощении. Радиоактивный каротаж, основанный на измерении содержаний тяжелых металлов в руде получил название *селективного гамма-гамма каротажа ( ГГК-С )*. В качестве источников гамма-излучения используются радионуклиды **Se -75 ( 0.24 МэВ ) , Am-241 ( 0.3 МэВ )**.

В обеих модификациях активность источников должна быть такой, чтобы регистрируемая **I<sub>γ</sub>** была в несколько раз выше естественного фона. Такое превышение дает возможность **пренебречь влиянием радиоактивности пород** на измеряемые в ГГК параметры.

**Источник и детектор I<sub>γ</sub>** располагаются в скважинном приборе и разделены свинцовым экраном.

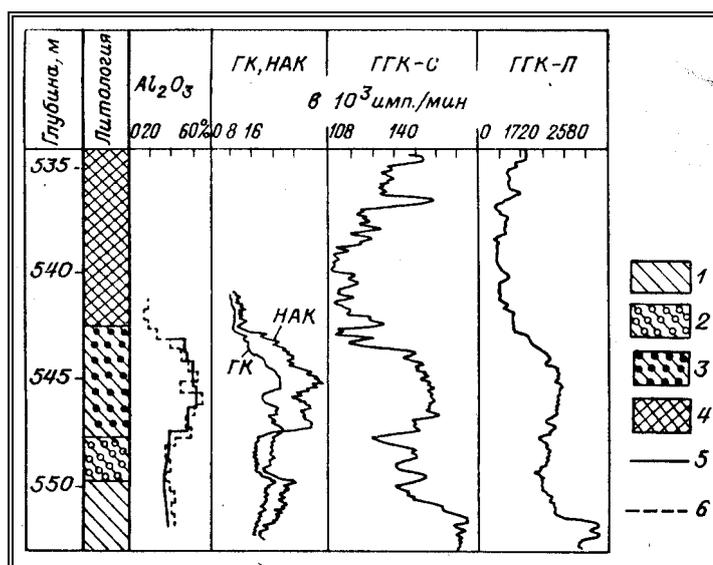
Измеренные -потоки гамма-квантов зависят от геометрии зондов, условий измерений и свойств среды. Прибор в скважине располагается эксцентрично, т.е. прижат одной стороной к стенке скважины, что уменьшает влияние поглощения излучения буровым раствором. В этом случае полезная информация поступает из плоского слоя пород, поэтому такие зонды называют *2π-зондами*.

С увеличением длины зонда наблюдается так называемая *инверсионная зависимость* потока гамма-квантов от плотности ( $\sigma$ ), т.е. вначале интенсивность излучения растет, достигая **максимума**, а затем падает.

В ГГК-П оптимальными являются *заинверсионные 2π-зонды*, для которых  $I_{\gamma}$  экспоненциально убывает с увеличением плотности пород. Длина ( $L=15-40$  см) зондов.

Оптимальными для ГГК-С являются *инверсионные зонды*, для которых регистрируемый максимальный поток  $\gamma$ -квантов не зависит от изменения плотности пород.

Оба варианта ( ГГК-С и ГГК-П ) широко применяют **при детальном изучении угленосных толщ, расчленении угольных пластов по составу и зольности**; кроме того ГГК-П используют для **определения плотности грунта, его влажности и прочности** в варианте *пенетрационного каротажа*.



Результаты ядерно-геофизических методов каротажа на Висловском месторождении (КМА) бокситов ( по А. М. Блюменцеву).

1- сланцы; 2 - аллиты; 3 - бокситы; 4 - переотложенные железные руды; 5 и 6 - содержание  $Al_2O_3$ : 5 - по керну, 6 - по данным каротажа

*Глубинность исследований* ГГК - 10- 15 см, поэтому на его показания оказывает влияние условия измерения и диаметр скважины. Для *уменьшения влияний искажающих факторов используют двухзондовый вариант скважинного прибора или приборы других конструкций*. Получаемая по данным ГГК плотность позволяет рассчитывать пористость и оценивать коллекторские свойства пород.

**РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ КАРОТАЖ ( РРК )** основан на регистрации характеристического рентгеновского излучения, возникающего в процессе фотопоглощения  $\gamma$ -квантов. РРК предназначен для определения содержания преимущественно тяжелых

(  $Z > 30$  ) химических элементов, слагающих стенки скважины. При этом используют *геометрию прямой видимости*, в которой детектор принимает излучение с поверхности среды, непосредственно облучаемой источником. В качестве источников фотонного излучения используют радионуклиды **Cd-109. Am-241. Co-57** . а для *регистрации характеристического рентгеновского излучения* применяют **сцинтилляционные, пропорциональные и полупроводниковые детекторы**.

Данные РРК зависят не только от содержания исследуемого элемента, но и от вещественного состава породы ( матричного эффекта ), т.е.  $Z_{эфф}$ .

Для исключения влияния матричного эффекта используют совместные измерения интенсивности характеристического  $I_r$  и рассеянного  $I_s$  излучения.

Для разделения элементов с близкими  $Z_{эфф}$ . ( например, серебро и кадмий в серебряных рудах, медь, никель, железо в сульфидных рудах ) применяют скважинные зонды с дифференциальными фильтрами и полупроводниковые детекторы.

В РРК используют зонды с двумя *дифференциальными фильтрами*, один из которых для данной ( т.е. определенной ) энергетической линии является пропускающим, а второй - поглощающим. По разности измеренных интенсивностей  $\Delta I = I_1 - I_2$  можно выделить излучение в узком энергетическом интервале.

/ Конструктивно это реализуется в скважинном зонде с двумя сцинтилляторами NaJ (Tl), имеющими разные световыходы и размещенными на фотокатоде одного и того же ФЭУ. На этих сцинтилляторы установлены свои фильтры . Благодаря разному выходу сцинтилляторов, на выходе ФЭУ появляются импульсы различной амплитуды, которые формируют на спектрометре два максимума. Если настроить один канал прибора на выделение первого максимума, а второй - другого, то можно одновременно и независимо измерить интенсивности  $I_1$  и  $I_2$  с пропускающим и поглощающим фильтрами/.

Так как **глубинность** РРК не превышает несколько (мм), измерения на коротком интервале не могут охарактеризовать содержание элемента в руде. Поэтому при обработке данных определяют среднее интервальное значение измеряемых параметров  $\Delta I = \frac{S}{h}$   
 $S$  - аномальная площадь параметра;  $h$  - интервал аномалии ( обычно составляющий 1- 3 м).

Среднее содержание изучаемого элемента (  $q$  ) на интервале определяют по формуле  $q = K \Delta I$  где  $K$ - пересчетный коэффициент, который определяется в опорной скважине путем сопоставления  $\Delta I$  с данными химических анализов проб керна.

При линейной зависимости между  **$q$  и  $\Delta I$**  применяют автоматизированные системы обработки, которые выдают информацию в цифровой форме или виде гистограммы.

В качестве аппаратуры в РРК применяли в последнее время анализаторы

\*Минерал 5\* , РРК-103 \*Поиск\* , четырехканальный анализатор \*Антей\* со

скважинными приборами типа СКР-1000(сцинтилляционный счетчик) или СКР-300 (пропорциональный счетчик).

**ГАММА-НЕЙТРОННЫЙ КАРОТАЖ (ГНК)** основан на использовании фотоядерной реакции, т.е. расщеплении ядер элементов под действием жестких  $\gamma$ -квантов по реакции ( $\gamma, n$ ). Данная реакция является **пороговой**, причем самый низкий порог имеет Be (1,666 МэВ), на ядрах которого эта реакция осуществляется радиоисточником  $Sb-124$  ( $E_{\gamma} = 1,76$  МэВ).

ГНК применяют преимущественно для определения интервалов бериллиевых руд и оценки в них содержания (Be).

В качестве детекторов используют сцинтилляционные счетчики. Первичное (возбуждающее излучение) излучение - это поток  $\gamma$ -квантов от  $Sb-124$ . Измеряемым является поток выбиваемых ими нейтронов (фотонейтроны). Величина потока нейтронов зависит как от **гамма-лучевых**, так и **нейтронных свойств среды**.

Основные помехи в методе связаны с поглощающими свойствами редкоземельных элементов, бора, кадмия, лития.

Наиболее полный учет влияния мешающих факторов, в т.ч. и скважинных условий измерений, производится путем **градуировки аппаратуры** в опорных скважинах со стандартным диаметром и типичным для месторождения геологическим разрезом.

**Чувствительность ГНК по Be** довольно высокая (порядка  $10^{-3} - 10^{-4}$  :% Be), поэтому метод применяется не только при разведке, но и при подсчете запасов бериллиевоносных редкометальных месторождений.

При **поисках** месторождений Be исследуются неглубокие скважины, пробуренные в рыхлых отложениях, содержащих вторичные ореолы и потоки рассеяния.

## ЛЕКЦИЯ 8. МЕТОДЫ НЕЙТРОННОГО КАРОТАЖА

При нейтронном каротаже разрезов скважин изучают эффекты взаимодействия потока нейтронов, излучаемых естественными или искусственными источниками быстрых нейтронов с горной породой.

Нейтроны будучи электрически нейтральными элементарными частицами не взаимодействуют с электронными оболочками атомов, вследствие чего их проникающая способность намного выше, чем у других видов излучений

Нейтроны взаимодействуют с ядрами атомов элементов, слагающих породу, испытывая при этом **неупругое** и **упругое рассеяние**, а в конечном итоге - поглощение (захват) ядрами атомов с испусканием, как правило, гамма-квантов.

Эффект взаимодействия нейтрона с ядром зависит от энергии нейтрона. По этому показателю нейтроны подразделяются на

**быстрые** ( $E_n > 100$  КэВ); **надтепловые** ( $E_n = 0,05 - 20$  КэВ); **тепловые** ( $E_n = 0,025$  эВ)

При взаимодействии нейтронов со средой их энергия теряется за счет различных процессов, основные из которых это : неупругое рассеяние, упругое рассеяние, поглощение ( захват ).

Максимальная потеря энергии нейтроном на одно соударение происходит в результате взаимодействия их с ядром водорода ( вследствие соизмеримости их масс ).

Наисильнейшей замедляющей способностью по отношению к нейтронам обладают среды с большим водородосодержанием. Конечным результатом взаимодействия нейтрона ( уже тепловой энергии ) с ядрами среды является радиационный захват ( поглощение ), сопровождаемый вторичным гамма-излучением.

В пористых породах большинство нейтронов тепловой энергии захватывается атомами **H** , **Cl**. Хотя элементный состав породы играет немаловажную роль при литологическом расчленении разреза по поглощающим свойствам при незначительной её пористости. Поглощающая способность породы резко возрастает при наличии в ней элементов с высокой активностью в отношении радиационного захвата нейтронов, даже при их незначительном содержании. К ним относятся **Cd** , **B**, **Cl**, **Fe**, **Mn** и др. При решении задач нефтегазовой геологии особое место занимает **Cl** ( поглощающая способность его больше, чем у **H** , в 100 раз ), как основной элемент соли **NaCl** . , определяющий минерализацию пластовых вод.

Нейтронные свойства горных пород определяют пространственное распределение нейтронов около источника, характеризующееся плотностью нейтронов, т.е. их числом в единице объема среды. Характер распределения плотности нейтронов зависит от замедляющих свойств среды: определяется её водородосодержанием и концентрацией элементов, имеющих высокое сечение поглощения тепловых нейтронов. Этот параметр можно определить по среднему времени жизни тепловых нейтронов ( $\tau$  ).

## **НЕЙТРОН -НЕЙТРОННЫЙ КАРОТАЖ**

( по надтепловым и тепловым нейтронам )

Основан на регистрации потока нейтронов, замедлившихся до тепловой ( ННК-Т ) и надтепловой ( ННК-НТ ) энергии, при облучении пород источником быстрых нейтронов.

При ННК-Т и ННК-НТ измеряют плотности тепловых и надтепловых нейтронов по разрезу скважины при заданном расстоянии индикатора от источника нейтронов. Расстояние от источника до средней точки индикатора называют длиной зонда ( **L** ).

Поскольку водородосодержание пород определяется в основном их пористостью, то оба метода используются для выделения коллекторов и оценки их пористости.

Показания ННК-НТ - характеризуется водородосодержанием среды; а показания ННК-Т - определяются не только водородосодержанием, но и наличием элементов с аномально высокими поглощающими свойствами ( в первую очередь хлора ). Зонд больших размеров ( $L > 30$  см ) имеет большой радиус ( глубинность ) исследований, и большое различие в плотностях надтепловых и тепловых энергий над различными средами.

На практике (исключая исследования для специально поставленных задач) применяются зонды с  $L=30-40$  см для ННК-Т и с  $L=25-40$  см для ННК-НТ.

Глубинность исследований методом в зависимости от водородосодержания пород составляет 20-30 см.

Для уменьшения влияния скважинных факторов и хлорсодержания пласта при регистрации ННМ-Т в последние годы используют двухзондовые установки с размером зондов 25 и 50 см. Отношение показаний двух детекторов в несколько раз уменьшает помехи по сравнению с однозондовым методом.

Методика проведения скважинных измерений, учета искажающего фактора влияния конструкции скважин и измерительной установки и пр. при ННМ такие как и при других методах скважинной ядерной геофизики

**НЕЙТРОННЫЙ ГАММА-КАРОТАЖ (НГК)** заключается в регистрации гамма-излучения, образующегося в результате радиационного захвата ядрами породы тепловых нейтронов.

Если порода, находящаяся вблизи зонда НГК, отличается повышенным содержанием **Н**, т.е. в породе много воды, нефти и газа, то испускаемые источником быстрые нейтроны переходят в тепловые после короткого (до  $L=30$  см) пробега в такой породе и поглощаются ею, а в более отстоящих от излучателя породах поток тепловых нейтронов ослабевает. Там, где мало тепловых нейтронов, там низка интенсивность гамма-излучения.

Словом, регистратор вторичных гамма-квантов фиксирует **уменьшение**  $I_\gamma$  в водородосодержащих породах и резкое увеличение его интенсивности в породах, содержащих тяжелые элементы.

Радиус исследования НГК порядка 20-40 см, размер используемых зондов  $L=5-70$  см. На результаты НГК оказывает влияние естественное гамма-излучение, которое учитывается по данным ГК. При работе зондами таких размеров аномально низкими показаниями на диаграммах отмечаются **глины и гипсы**, содержащие химически связанную и свободную воду, а также очень пористые песчаники и известняки, насыщенные водой.

Высокими параметрами характеризуются плотные известняки и доломиты, сцементированные песчаники, алевролиты, ангидриты, каменная соль.

Метод НГК в спектрометрическом варианте (НГКс) используется для выделения хромитовых, медно-никелевых сульфидных; никелевых силикатных; марганцевых, железных руд.

Содержащиеся в этих рудах элементы обладают большим сечением радиационного захвата нейтронов. Кроме того для спектра гамма-излучения характерно присутствие интенсивных линий в определенных для каждого элемента энергетических интервалах.

### **ИМПУЛЬСНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ КАРОТАЖ (ИНК)**

При импульсном нейтронном каротаже породы облучают импульсным (прерывистым) потоком быстрых нейтронов с помощью импульсного источника (генератора) нейтронов.

Генератор испускает нейтроны периодически с  $f = 1 - 10^3$  раз в 1 с в течении короткого интервала времени  $\Delta t = 1-2 - 100-200$  мкс. В промежутках между облучениями в специально выбранные интервалы времени  $\Delta t$  измеряют плотность тепловых нейтронов (ИННК) или интенсивность гамма-излучения радиационного захвата (ИНГК).

Регистрируя тепловые нейтроны или  $\gamma$ -кванты при нескольких значениях времени задержки, определяют среднее время жизни  $\tau_{\text{ср}}$  тепловых нейтронов в породе, позволяющее судить о концентрации элементов с высоким сечением поглощения нейтронов:

$$\tau_{\text{ср}} = (t_2 - t_1) / (\ln J_1 - \ln J_2)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  - время задержки на двух каналах;  $J_1$  и  $J_2$  - скорости счета для тех же каналов.

Измерения проводят при движении прибора по стволу скважины или на точках при неподвижном приборе.

Принцип интерпретации заключается в следующем: пласты, характеризующиеся большими значениями  $\tau_{\text{ср}}$  (плотные породы, нефтеносные и газоносные пласты) отмечаются высокими скоростями счета  $J_i$ , а пласты с малыми значениями  $\tau_{\text{ср}}$  (глинистые, высокопористые пласты, насыщенные минерализованной водой) - низкими скоростями счета  $J_i$ .

Преимущество ИНК перед стационарными (ННК-НТ, ННК-Т и НГК) - меньшее влияние скважины на результаты измерений и большая чувствительность к содержанию элементов, сильно поглощающих нейтроны.

**НЕЙТРОННЫЙ АКТИВАЦИОННЫЙ КАРТАЖ. (НАК)** основан на измерении гамма-излучения искусственных радиоактивных ядер, возникающих при облучении пород потоком нейтронов.

При захвате нейтронов ядра некоторых элементов становятся радиоактивными и образуют искусственные радиоактивные изотопы элементов. Эти радиоактивные изотопы становятся источником гамма-излучения с присущими им периодами полураспада. Для решения конкретной задачи изучают активность определенного элемента.

Методика проведения исследований сводится к регистрации  $\gamma$ -излучения путем точечных замеров при  $T_{1/2}$  изотопа больше 5 - 10 мин либо путем непрерывной регистрации кривых (**гамма-активационный картаж**) при  $T_{1/2}$  изотопа меньше 5-10 мин.

Выбирая время облучения, можно добиться того, что наведенная активность одних элементов будет максимальной, а других - небольшой.

Метод наведенной активности (МНА) используется для отбивки ВНК по активации **O, Cl, Na, V**, для выделения и оценки залежей бокситов по активации **Al**, марганцевых и медных руд по активации **Mn и Cu**.

**МЕТОД МЕЧЕННЫХ АТОМОВ (ММА)** Каротаж ММА предназначен для контроля за различными проводимыми в скважинах работами и используется в двух модификациях: метод радиоактивных изотопов и метод элементов с аномальными нейтронными свойствами.

В первом варианте, предварительно зарегистрировав кривую естественного  $\gamma$ -поля, в скважину закачивают жидкость, активированную радиоактивными веществами, дающими  $\gamma$ -излучение. После проведения необходимых операций повторно регистрируют  $\Gamma\gamma$ .

Сравнивая результаты замеров, делают вывод о распределении радиоактивного вещества в скважине и в около скважинном пространстве, что позволяет решить те или иные геологические и технические задачи.

В качестве радиоактивных веществ используют изотопы, дающие жесткое  $\gamma$ -излучение и хорошо растворяющиеся в жидкости, а также имеющие небольшие периоды полураспада

{ Fe -59 (  $T_{1/2} = 45$  дн.), Zr- 95 (  $T_{1/2} = 65$  дн, ) }.

Во втором варианте в закачиваемую в скважину жидкость добавляют элементы , обладающими аномальными нейтронными характеристиками : большим сечением захвата тепловых нейтронов  $\Sigma_{\text{з}}$  и высокой эмиссирующей способностью гамма-квантов. После промывки скважины проводят НК-Т или НК-К. В качестве жидкости

\* меченой\* используют борную кислоту  $\text{H}_3\text{BO}_3$  или хлористый кадмий  $\text{Cd Cl}_2$ .

На практике обе модификации ММА применяют для решения геологических и технических задач:

- связанных с выделением в разрезе скважин пластов -коллекторов-
- расчленение их по нефте- и водонасыщенности;
- определение в разрезе поглощающих пластов;
- по контролю за техническим состоянием скважин ( определение высоты подъема цементного кольца в затрубном пространстве, определения мест повреждения обсадных труб, затрубной циркуляции жидкости ).

## ТЕМА 7

### ЛЕКЦИЯ 9 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ КАРОТАЖА

**АКУСТИЧЕСКИЙ КАРОТАЖ (АК)** основан на измерении параметров упругого волнового поля в скважинах в звуковом ( 3- 20 кГц ) и ультразвуковом ( 20 кГц -2 МГц ) диапазонах.

Поскольку разрешающая способность волновых методов зависит от длин волн, т.е. частотного диапазона колебаний. АК отличается от сейсмических методов ( в т.ч. от

сейсмокаротажа и ВСП) не только методикой и типом регистрируемых волн, но главное, своей разрешающей способностью.

Основное распространение получили :

- акустические методы на головных волнах;
- методы отраженных волн.

Акустические параметры горных пород связаны (функциональной зависимостью) с их физико-механическими свойствами, пористостью, структурой порового пространства, характером насыщения флюидами и пр.

Характеристики акустических сигналов, зарегистрированных в обсаженных скважинах, тесно связаны с состоянием обсадки, с качеством контактов \*цемент - порода \* и \*цемент-колонна \*.

Акустический каротаж предполагает возбуждение колебаний магнитострикционным излучателем с  $f = 10 - 100$  кГц и регистрацию колебаний в точках приема пьезоэлектрическими приемниками.

Излучатель и приемник разделены акустическими изоляторами (например, резина каучуковая).

Работу проводят с помощью акустического зонда, опущенного в скважину, и наземной аппаратуры. Основные типы зондов: двухэлементный; трехэлементный.

Двухэлементный зонд состоит из излучателя и детектора (сейсмоприемник).

Трехэлементный зонд содержит излучатель и два приемника, расположенных по одну сторону от излучателя.

Регистрируется время прихода продольной волны к первому и второму приемникам, расположенным от излучателя на  $R = 50 - 100$  см. Определяется скорость продольной волны  $V_s$ , характеризующая породы вблизи зонда.

Метод АК позволяет получить еще один параметр - **интенсивность затухания упругих колебаний** (в породах, вскрытых скважиной). На **величину затухания** сильное влияние оказывает: глинистость, трещиноватость, кавернозность пород, характер насыщения пор флюидами и пр.

Акустический каротаж применяют :

- изучения геологических разрезов скважин;
- выделения пластов-коллекторов;
- определения пористости пластов-коллекторов;
- выделения угольных пластов;
- решения задач при инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях:

- в геофизике ( для интерпретации сейсморазведочных материалов, определения плотности пород и т.д. ).

**ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ** основаны на изучении распространения в них и окружающих их породах естественных и искусственных тепловых полей. Для изучения этих полей проводят непрерывные измерения температуры или разности температур по стволу скважин.

Для измерений используют электрические термометры, действие которых основано на измерении сопротивления проводников при изменении их температуры.

Обычно в скважинных термометрах для измерений применяют мостовые схемы, в которых два сопротивления не чувствительны к воздействию температуры, а два других имеют высокий температурный коэффициент. Изменения температуры нарушают равновесие моста, установленное при фиксированной температуре, что сопровождается пропорциональным изменением разности потенциалов  $\Delta U$  на выходе мостовой схемы. Переход от регистрируемых на диаграмме значений  $\Delta U$  к температуре осуществляют с помощью градуировочного коэффициента, получаемого при измерениях в термостате с обогревом.

Широко распространены скважинные термометры типа ТЭГ, в которых вариации сопротивления проводников, обусловленные изменениями температуры, преобразуются в частоту колебаний генератора.

Данные термокаротажа с установившимся режимом служат для изучения естественных тепловых полей. По разности зарегистрируемых температур, отнесенной к интервалу 100 м, находят геотермический градиент, который определяется температурным режимом недр и особенностями глубинного строения регионов.

Локальные изменения геотермического градиента на отдельных отрезках скважины могут быть обусловлены как различиями пород по теплопроводности, так и естественными тепловыми полями, возникающими вследствие физико-химических процессов, происходящих в горных породах. На основе этого возможно расчленение разреза, выделение в разрезе горючих и твердых полезных ископаемых, водоносных пластов, и т.д.

Локальные тепловые поля образуются при окислении сульфидов и углей, которые на термограммах могут отмечаться аномалиями повышенной температуры. Тепловые поля в галогенных отложениях ( каменная соль и др. ) обусловлены растворением солей, которое сопровождается понижением температуры промывочной жидкости.

При вскрытии и разработке нефте- и газоносных пластов образуются аномалии теплового поля за счет поступления газа в скважину ( снижение температуры ) и движения нефти ( повышение температуры ).

Данные об измерении температуры в глубоких скважинах, особенно на нефтяных и газовых месторождениях, нужны для определения условий бурения, каротажа и выбора режима эксплуатации скважин.

Метод искусственного теплового поля основан на наличии в скважине неустановившегося теплового режима, возникающего сразу после прекращения циркуляции бурового раствора. Так как окружающие породы обладают разной теплопроводностью, то и скорость восприятия раствором температуры окружающих

пород будет неодинаковая. Это фиксируется термограммой раствора. Например, если температура раствора ниже естественной температуры пластов, то песчаный пласт отметится более резким повышением температуры раствора, чем глинистый пласт, так как пески обладают большей теплопроводностью по сравнению с глинами. По температурным кривым выделяют пласты с большей или меньшей теплопроводностью.

Для измерения температуры в скважине применяют электрические термометры сопротивлений, опускаемые в скважину. Их действие основано на свойстве металлического проводника изменять свое сопротивление с изменением температуры окружающей среды и, следовательно, самого проводника.

В термометрии используют также градиент-термометры и аномалий-термометры. С помощью градиент-термометров измеряют разность температур между двумя точками, расположенными друг от друга на постоянном расстоянии 1,5-3 м, с помощью аномалий-термометров - отклонение температуры от ее среднего значения, обусловленного средним температурным градиентом на данной глубине.

Температуру измеряют в скважине при спуске, чтобы избежать искажений в результате перемешивания раствора.

**МАГНИТНЫЙ КАРОТАЖ** основан на изучении магнитных свойств горных пород посредством их измерения по стволу скважины. Различают каротаж магнитной восприимчивости (КМВ) и каротаж по магнитному полю.

Для регистрации кривых  $\chi$  (магнитной восприимчивости) используют аппаратуру, включающую скважинный магнитометр и наземную панель. Разработано несколько типов аппаратуры - КМВ, АМК-3, ЭМК-1 и др. Изменение магнитной восприимчивости основано на индуктивности датчика в зависимости от магнитных свойств среды. Датчик представляет собой катушку с сердечником из ферромагнитного материала. Он является одним из плеч моста, расположенного в скважинном магнитометре. Мост питается переменным током частотой 1кГц от электронного генератора. На поверхности ( $\chi=0$ ) он уравнивается. В процессе измерения  $\chi$  индуктивность датчика изменяется, происходит разбаланс моста и в измерительной диагонали моста возникает напряжение, пропорциональное изменению магнитной восприимчивости пород. С помощью электронной схемы оно усиливается, выпрямляется и по кабелю передается на поверхность, где регистрируется в виде кривой изменения магнитной восприимчивости в функции глубины.

Каротаж магнитной восприимчивости используют для литологического расчленения разрезов, выделения в разрезах рудных месторождений (магнетитовых и титаномагнетитовых железных руд, бокситов и др.), а также для интерпретации данных магниторазведки.

**Каротаж по магнитному полю** основан на изучении аномалий магнитного поля Земли, связанных с наличием в разрезе скважин пород, по магнитным свойствам отличающихся от вмещающих, или рудных тел, находящихся в около скважинном пространстве. Аномальное магнитное поле измеряют по одной (обычно вертикальной  $Z$ ) составляющей или трем составляющим вектора напряженности магнитного поля  $Z$ ,  $X$ ,  $Y$  с одновременным замером магнитной восприимчивости пород.

В качестве датчика скважинного магнитометра применяют пермаллоевый сердечник с обмоткой, питаемой с поверхности током частотой 1 кГц. Изменение  $Z$  вызывает в обмотке

датчика напряжение переменного тока, которое подается на поверхность и регистрируется в виде кривой изменения  $\Delta Z$  в функции глубины. Для измерения трех составляющих Z, X, Y земного магнитного поля используют три взаимно перпендикулярных датчика. Каротаж по магнитному полю позволяет проводить расчленение горных пород в разрезе скважины по магнитным свойствам и выделять ряды.

**Ядерно-магнитный каротаж (ЯМК)** основан на измерении амплитуды сигнала свободной прецессии в магнитном поле Земли, которая прямо пропорциональна количеству несвязанной жидкости ( воды, нефти ) в поровом пространстве породы. Ядра водорода, входящие в состав кристаллической решетки, или воды, связанной с поверхностью зерен породы, не участвуют в свободной прецессии, так как степень их свободы ограничена.

Амплитуду сигнала свободной прецессии, наблюдаемую при ЯМК, относят к амплитуде сигнала в дистиллированной воде, которая представляет собой эталонный пласт с эффективной пористостью, равной 100%. Упомянутое отношение называют *индексом свободного флюида* (ИСФ) и измеряется ( в % ) при ЯМК.

ЯМК используют как дополнительный метод к детальному комплексу ГИС перспективных интервалов нефтяных и газовых скважин. Основное назначение ЯМК - выделение в разрезе пластов-коллекторов независимо от их литологии , а в песчано-глинистом разрезе также определение их эффективной пористости.

*При гравиметрических исследованиях в скважинах ( гравиметрическом каротаже )* вдоль ствола скважины через 50-100 м с помощью специальных скважинных гравиметров измеряется приращение силы тяжести с глубиной. Гравиметрический каротаж может проводиться как в не обсаженных скважинах, так и в обсаженных скважинах. В результате обработки кривых  $\Delta g$  вдоль ствола скважины можно определить среднюю плотность пород в естественном залегании , на разных глубинах и в радиусе нескольких метров от оси скважины.

#### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ и ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе бурения скважин появляется возможность получения комплексной информации, отражающей как геолого-геофизические особенности проходимых горных пород, так и особенности технологического процесса бурения.

Комплекс методов ГИС, применяющихся в процессе бурения, основан на способах получения информации путем исследования физико-химических свойств промывочной жидкости и шлама ( геохимические методы исследования скважин ), изучения характеристик гидравлической системы и бурового оборудования в процессе бурения.

#### ГАЗОВЫЙ КАРОТАЖ

Основан на изучении физическими методами содержания и состава углеводородных газов и битумов в промывочной жидкости , а также параметров, характеризующих режим бурения. В комплекс газового каротажа входит отбор и исследование шлама. Характерная особенность газового каротажа - проведение исследований в процессе бурения скважины.

При вскрытии нефте-газосодержащего пласта газ из разработанной породы поступает на забое скважины в промывочную жидкость . Обогащенная газом порция промывочной жидкости поднимается благодаря циркуляции на устье скважины и поступает в желоб , где с помощью непрерывно действующего дегазатора из нее извлекают газовую смесь . Последнюю подвергают суммарному и компонентному анализу и определяют

объемные концентрации углеводородов ( метан , этан , бутан и др.) и их суммарное содержание . Эти величины , а также производные от них параметры регистрируют в виде непрерывной кривой по мере бурения скважины.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛАМА. МЕХАНИЧЕСКИЙ КАРОТАЖ

В процессе бурения скважины отбирают **шлам** - частички выбуренной породы, поднимаемой на поверхность глинистым раствором. Отбираемый шлам привязывают к истинным глубинам и исследуют. Данные исследования шлама используют для построения литологического разреза скважины с определением коллекторских свойств пройденных пород и уточнения характера пластового флюида.

Для построения литологического разреза скважины порции шлама отмывают от глинистого раствора, высушивают, отделяют от обвалных пород, описывают и проверяют на содержание карбонатных минералов. Затем по результатам проведенных исследований и описанию шлама строят литологический разрез скважины.

Открытую пористость пород по шламу определяют только в интервале вскрытия пород-коллекторов. Для уточнения характера пластового флюида выполняют **люминесцентно- битумный анализ шлама**, основанный на способности нефти и битумов люминесцировать под действием ультрафиолетового облучения. Анализ проводят с помощью люминоскопа. Наличие нефти и битумов определяют по цвету люминесцирующего пятна и его форме. Данный метод позволяет определять содержание нефти в образце до 0,01 - 0,005 %.

**ДЕТАЛЬНЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ КАРОТАЖ ( ДМК )** дает сведения о прочности пород, пересеченных скважиной. В процессе механического каротажа измеряют продолжительность бурения 1 м скважины и скорость проходки, которые зависят от геологических и технических ( типа бурового инструмента, его состояния, режима бурения и т.д. ) факторов. Важнейшим параметром характеризующим режим бурения скважины, является продолжительность бурения одного метра скважины или обратная ей величина - скорость бурения.

Измерение скорости бурения скважины называют **механическим каротажем**. Продолжительность бурения существенно зависит от применяемого бурильного инструмента и режима бурения, однако по относительному изменению  $t$  можно расчленять разрез скважины по степени цементирования пород. Кривая  $t$  хорошо коррелируется с кривыми КС, ПС и ГК, что важно для совмещения по глубине данных газового и других видов каротажа.

## ТЕМА 8

### ЛЕКЦИЯ 9. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СКВАЖИН

Технические операции и её положение в пространстве определяется углом отклонения от вертикали в скважинах выполняют специальными приборами с использованием оборудования обычных каротажных станций.

**ИНКЛИНОМЕТРИЯ.** В процессе бурения происходит отклонение скважины от заданного вертикального или наклонно-направленного положения, что объясняется большим числом сложно действующих факторов геологического и технического характера.

Искривление скважины и положение её в пространстве определяется углом отклонения от вертикали ( $\delta$ ) и азимутом отклонения ( $\phi$ ), определяемого углом между направлением на магнитный север и проекцией оси скважины на горизонтальную плоскость, взятой в сторону увеличения её глубины.

Оба УГЛА изменяются с увеличением глубины скважины  $h$ , и на каждом конкретном интервале скважины через вертикаль и ось скважины можно провести плоскость, называемую **плоскостью искривления**.

Сведения об искривлении скважин необходимы для построения :

а) геологических разрезов; б) структурных карт; в) точного определения положения геологических границ.

Отклонения скважин измеряют специальными приборами - **инклинометрами**.

В необсаженных скважинах, пробуренных в нормальном магнитном поле, используют дистанционные электрические инклинометры или фотоинклинометры. В обсаженных скважинах или при наличии аномального магнитного поля применяют **гирскопические инклинометры**.

Электрические и фотоинклинометры главной механической частью имеют буссоль и отвес для измерения соответственно азимута и угла отклонения от вертикали. Буссоль и отвес помещены в свободно вращающейся рамке. Ось вращения рамки совпадает с осью инклинометра, а центр тяжести смещен относительно оси.

При наклоне инклинометра в скважине плоскость рамки обязательно вертикальна и перпендикулярна к плоскости искривления. Буссоль располагается в рамке таким образом, что остриё, несущее магнитную стрелку, устанавливается вертикально, а колодка с расположенным на ней круговым реохордом - горизонтально. Реохорд играет роль лимба с указателем азимута в обычной буссоли. Магнитная стрелка располагается по магнитному меридиану и в момент замера пружинными контактами закорачивает часть реохорда так, что сопротивление незамкнутой части реохорда и, следовательно, напряжение, снимаемое с неё, становится пропорциональным величине азимута.

Отвес, являющийся измерителем угла отклонения, жестко связан со стрелкой и образует с ней плоскость, перпендикулярную к плоскости рамки, но совпадающую с плоскостью искривления.

При отклонении прибора от вертикали на некоторый угол стрелка перемещается вдоль реохорда, в момент замера - прижимается к реохорду и с незамкнутой части последнего снимается напряжение, пропорциональное величине угла наклона скважины.

Азимутальный и угловой реохорды попеременно подключаются в мостовую электрическую схему, позволяющую измерять напряжения и переводить их в соответствующие углы.

В гироскопических инклинометрах использовано свойство гироскопа (т.е. волчка) сохранять заданную ориентировку оси вращения, поэтому направление этой оси служит началом отсчета для замеров угла наклона и азимута скважины.

В фотоинклинометрах отвес и магнитная стрелка движутся вдоль лимбов с цифровыми указателями углов, и показания приборов в момент замера фотографируются на пленку.

Примером инклинометров с дистанционным управлением относятся ( ИШ-4, КИТ, ИФ-6, МИ-30 и др. ). К гироскопическим относятся ИГ-50, ИГ-32 и др.

**КАВЕРНОМЕТРИЯ** При бурении и после его завершения диаметр скважины по ряду причин геологического и технического характера могут отклоняться от заданного размера. Против глинистых, известковых или просто сильно разрушенных тектоническими процессами пород диаметр скважины может увеличиться за счет вывалов или размывов буровым раствором, а это оказывает влияние на результаты скважинных измерений.

Для измерения фактического ( отклоненного от номинального ) диаметра скважины применяют скважинные приборы - каверномеры.

Имеется несколько типов каверномеров, отличающихся \ системой рычагов и способом преобразования раскрытия рычагов в электрические сигналы

Так , например, фонарный каверномер имеет ромбовидные рычаги. Каверномер состоит из металлической гильзы, вдоль ствола которой располагаются ромбовидные рычаги-щупы, прижимаемые к стенкам скважины мощными пружинами. При изменении диаметра скважины изменяется угол раскрытия рычагов и следом за рычагами начинает перемещаться закрепленный на них шток, связанный с ползунком реостата. С изменением положения штока меняются сопротивления реостата и напряжение, подаваемое на регистратор.

В процессе градуировки устанавливается зависимость между напряжением и радиусом раскрытия рычагов и строится график изменения напряжения тока от характера изменения диаметра скважины ( кавернограмма ).

Ромбовидный каверномер ( типа КВ-2 ) позволяет выполнять измерения как при спуске, так и при подъеме прибора. Механическая часть ромбовидного каверномера представляет собой фонарь с тремя парами шарнирно соединенных измерительных рычагов, расположенных через 120 градусов. Перемещения рычагов через фигурные кулачки передаются на шток, управляющий датчиком.

При детальном исследовании разрезов скважин с целью выделения пород-коллекторов применяют **микрокаверномеры** и **коркомеры**, дающие возможность измерить толщину глинистой корки.

**ПРОФИЛЕМЕТРИЯ** - метод, регистрирующий изменение диаметра скважины одновременно в нескольких вертикальных плоскостях ( обычно от двух до четырех )

Основное назначение профилометрии скважины - выявление зон желобообразования, возникающих в результате скольжения замковых соединений буровых труб по стенкам скважины при спуско-подъемных операциях. Наличие в стволе

скважины желобов повышает вероятность возникновения аварий при бурении скважин и проведении в ней геофизических исследований.

Одновременное измерение диаметров скважины в двух взаимно перпендикулярных плоскостях выполняется каверномером-профилемером СКП.

При проведении детальных исследований применяют профилемер Спрут, по точечным измерениям которого строят более полный профиль сечения ствола скважины и определяют его ориентацию. Для контроля за состоянием обсадных металлических колонн используют скважинные трубные профилемеры, записывающие шесть профилеграмм.

**НАКЛОНОМЕТРИЯ** скважин заключается в определении угла и азимута падения пластов по данным геофизических измерений в скважине, знание которых необходимо при геологическом изучении районов (особенно со сложной тектоникой) с целью поисков и разведки МПИ, а также при интерпретации данных ГИС.

Измерения проводят с пластовым наклономером (например, НИД-1), который включает в себя инклинометр и три электродные установки, расположенные под углом  $120^{\circ}$  друг к другу, с центрами, лежащими в одной плоскости, перпендикулярной к главной оси прибора. Поскольку электродные установки должны обеспечить максимальную дифференциацию регистрируемых кривых, отражающих изменение свойств пластов по разрезу скважины, в их качестве обычно используют микро- или бокового каротажа.

## ТЕМА 9

### ЛЕКЦИЯ 10. ПРОСТРЕЛОЧНЫЕ И ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ

Для уточнения литологической характеристики пород или определения их физических свойств иногда бывает недостаточно извлеченного керна и появляется необходимость в отборе проб пород из стенок скважины.

В случаях бескернового бурения такой отбор крайне необходим. Поэтому в пробуренных скважинах намечают интервалы и отбирают образцы посредством специальных пробоотборников - боковых стреляющих или сверлящих грунтоносов.

Геофизическая служба выполняет ряд операций, связанных с прострелочными и взрывными работами в скважинах, поскольку выбор объектов для опробывания и вскрытие пластов основаны на данных геофизических исследований, проводимых с целью изучения разрезов скважин и их технического состояния. Кроме того, при прострелочно-взрывных работах и при изучении разрезов скважин геофизическими методами используется одно и то же оборудование.

Прострелочные работы в скважинах предусматривают:

1. перфорацию обсадных колонн и цемента для вскрытия нефтяных, газовых и водоносных пластов;
2. срезание в скважинах колонн и труб с целью их извлечения;

3. отбор образцов горных пород в необсаженных скважинах;
4. отбор проб пластовых жидкостей и газов для опробования пластов.

Взрывные работы в скважинах проводятся для следующих целей:

- а) повышения продуктивности эксплуатационных скважин;
- б) разобщения пластов;
- в) очистки фильтров;
- г) освобождения и извлечения труб из скважин при авариях;
- д) борьбы с поглощением промывочной жидкости при бурении;
- е) ликвидация открытых фонтанов и тушении пожаров на скважинах и пр

Основные узлы опробователя пластов - прижимные устройства, герметизирующий башмак и камера для пластовой жидкости. После установления прибора на интервале опробования прижимное устройство прижимает башмак опробователя к стенке скважины. Затем к башмаку подключается прибор. Вследствие большого перепада давлений в камере и пласте жидкость из пласта через отверстие в башмаке поступает в опробователь. После взятия пробы камера герметизируется, прижимное устройство убирается, давление под башмаком уравнивается с давлением в скважине, благодаря чему башмак удается оторвать от стенки скважины. После подъема опробователя на поверхность извлекают пробу и исследуют ее. При незначительном проникновении фильтрата промывочной жидкости интерпретация ОПК однозначна: характер пробы соответствует насыщению пласта. При глубоком проникновении фильтрата результаты ОПК интерпретируются с помощью компонентного анализа растворенных газов.

*Отбор образцов пород.* Основные данные о горных породах, слагающих геологический разрез, получают по их образцам (кернам), отобраным в процессе бурения скважины. В нефтяных, газовых и углеразведочных скважинах в дополнение к кернамобираются образцы (грунты) со стенок скважины при помощи боковых стреляющих гунтоносов или сверлящих керноотборников.

Отбор грунтов проводят после геофизических исследований и предварительного геологического изучения разреза в необсаженной скважине.

Боковой стреляющий гунтонос состоит из корпуса с гнездами, в каждое из которых при снаряжении прибора закладывается боек - пустотелый цилиндр, кромка которого приспособлена для врезания в породу. Боек стальным тросиком соединяется корпусом. В нижней части гнезда помещается пороховой заряд с электрозапалом. После установки гунтоноса на нужной глубине по жиле кабеля напряжение подается на электрозапал, который накаляется и воспламеняет пороховой заряд. При этом образуются пороховые газы, под давлением которых боек выстреливается из гнезда и врезается в породу. После выстрелов всеми бойками путем натяжения кабеля при помощи тросиков бойки вместе с захваченным грунтом извлекаются из пласта и гунтонос поднимается на поверхность.

## **ЛЕКЦИЯ 11. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКОЛОСКВАЖИННОГО и МЕЖСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА**

Эта группа методов ГИС относится к дистанционным методам подземной геофизики, предназначенным для исследования отдаленных окрестностей скважин и горных выработок, а также массивов пород, залегающих между скважинами (горными выработками) и земной поверхностью.

Физические поля измеряют при расположении источника поля и приемника в различных сочетаниях: скважина - земная поверхность, скважина - скважина, одиночная скважина и т.д.

Практически все методы полевой геофизики могут быть использованы в скважинной модификации.

Скважинные модификации геофизических методов применяют на всех стадиях геологоразведочного процесса:

- на стадии поисков, т.е. для поисков глубокозалегающих месторождений;
- на стадии разведки - для подсчета запасов МПИ; создания ФГМ (физико-геологическая модель) для выбора оптимальной системы эксплуатации месторождения;
- на стадии эксплуатации - в помощь эксплуатационной разведке, а также для решения разнообразных горно-технических задач, направленных на повышение безопасности ведения работ;
- на всех стадиях - для определения физико-механических свойств пород и руд в естественном залегании.

**СКВАЖИННАЯ ТЕРМОРАЗВЕДКА** основана на изучении тепловых полей в недрах земли, преимущественно естественного происхождения.

Источниками аномального теплового поля в земной коре могут быть:

1. окислительно-восстановительные реакции, протекающие на сульфидных, угольных и др. типах месторождений;
2. различие в теплопроводности пород и руд;
3. скопления радиоактивных элементов;
4. месторождения термальных вод;
5. вулканическая и тектоническая деятельность;
6. подземные пожары и возгорания и пр.

Измерения температур проводят с помощью точечных замеров и непрерывной записью изменений тепловых полей.

Точечные измерения температуры выполняют полупроводниковыми термосопротивлениями ( термисторами ), электрическое сопротивление которых уменьшается с возрастанием температуры. Для перевода величины сопротивления в градусы ( Цельсия или Кельвина ) термисторы градуируют, используя при этой операции высокоточные ртутные термометры.

При шпуровой съемке температуру измеряют в шпурах, специально пробуренных для этих целей с поверхности земли на глубине, куда не проникают суточные вариации температуры на земной поверхности. Глубина измерений 0,7 - 1,5 м. При наличии картировочных, разведочных, гидрогеологических и др. скважин измерения проводят и на больших глубинах ( более 10-15 м ).

Скважинную терморазведку применяют для:

1. картирования пород, различающихся по теплопроводности;
2. выявления структурных особенностей ( разрывных нарушений, антиклиналей и др. ) участка исследований;
3. поисков и разведки месторождений термальных вод и массивных руд ( полиметаллы, сульфидные, железные и др. руды ), обладающих повышенной теплопроводностью по сравнению с вмещающими породами;
4. обнаружения очагов самовозгорания на угольных и сульфидных месторождениях.

**МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ МЮОНОВ** основан на зависимости интенсивности космических мюонов (  $I_{\mu}$  ) от массы пройденного ими вещества ( горных пород ).

Космические мюоны, представляющие собой элементарные частицы с массой в 207 раз тяжелее электрона, образуются в атмосфере Земли в результате взаимодействия протонов первичных космических лучей с ядрами химических элементов воздуха.

Образовавшиеся мюоны имеют большие энергии  $E_{\mu} = 10^{15} - 10^{17}$  эВ, слабо взаимодействуют с веществом, поэтому могут проникать в горные породы до глубины 2-3 км.

Так же, как и  $\gamma$ -излучение, космические мюоны по мере прохождения через породы поглощаются по экспоненциальному закону. Таким образом, по измеренной интенсивности мюонов под землей и закону их поглощения можно получить плотность блока пород, через который прошли мюоны.

В скважинах измерения интенсивности мюонов выполняют на отдельных точках аппаратурой типа ИИКМ-С ( измеритель интенсивности космических мюонов, скважинный ). Аппаратура состоит из скважинного зонда, включающего сцинтилляционный или черенковский детектор мюонов, и наземного пульта для энергопитания и счета электрических импульсов. Используя градуировочные кривые, по величине измеренной интенсивности мюонов определяют плотность пород.

Мюонный метод применяется для определения плотности пород, залегающих между земной поверхностью и точкой измерения, или слоя пород, расположенного между двумя точками измерения интенсивности мюонов. По размерам исследуемого пространства, для которого определяется плотность, мюонный метод занимает промежуточное положение между плотностным гамма-гамма - и гравиметрическим каротажем.

## ТЕМА 11

**ЛЕКЦИЯ 11. ОБРАБОТКА и ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН**

Данные полевых ГИС обрабатывают и интерпретируют **вручную и на ЭВМ.**

При **ручной интерпретации** производят визуальное сравнение данных измерений с **теоретическими кривыми и градуировочными графиками** с целью получения о **МОЩНОСТИ и ПАРАМЕТРАХ ПЛАСТА** ( удельном сопротивлении, глинистости, пористости, содержании полезного флюида ( жидкое состояние ) или химического элемента).

При использовании автоматизированных систем применяют **СПЕЦИАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ** обработки и интерпретации данных каротажа на ЭВМ.

**ОБРАБОТКА КАРОТАЖНЫХ ДИАГРАММ**

Подлинник каротажной диаграммы должен иметь: а) заголовок; б) нулевые линии ; в) масштаб кривой ; г) значения измеряемой величины через каждые 2 см.

**ГЛУБИНУ** отмечают по линии глубин в точках, соответствующих целому числу десятков метров.

**П о л о ж е н и е** **НУЛЕВОЙ ЛИНИИ** для диаграмм  $R_k$  наносят по отметкам нуля, замерам в колонне и записям нуль-сигнала, а на диаграммах радиоактивного каротажа - по записям нулевого положения пишущего устройства.

**Подлинник каротажных диаграмм** должен содержать:

- сведения о предприятии и площади бурения;

- данные о скважине, промывочной жидкости и цементном растворе;
- информацию о скорости каротажа, масштабах регистрируемых показаний глубин;
- наземном и скважинном оборудовании;
- даты измерений, начала и окончания разбуривания;
- тип зонда, его размер и коэффициент;
- тип и номер радиоактивного источника, его активность;
- тип и количество детекторов, их размеры;
- тип дегазатора непрерывного действия;
- градуировочные и контрольные записи, данные эталонирования скважинных приборов, их диаметр;
- пределы измерений скважинной и наземной аппаратуры;

- фамилию, имя, отчество оператора.

С **подлинника диаграммы** вычерчивают первую копию, с которой снимают последующие.

На **первой копии** при выходе основной кривой (КС) за пределы диаграммы или в случае, если она располагается вблизи нулевой линии (менее 0,5 см от неё), на диаграмму наносят дополнительные кривые так, чтобы обеспечить возможность отсчета показаний против всех глубин.

**Кривую ПС** смещают вправо от **кривой КС** на такое расстояние, чтобы они возможно меньше пересекались друг с другом.

**Кривые КС** двух стандартных зондов наносят разными линиями на одно поле со смещением нулевых линий на 1 и 2 см.

На базе ЭВМ созданы **автоматизированные системы обработки и интерпретации данных ГИС**, которые осуществляют **СБОР, ОБРАБОТКУ и ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ**.

**Сбор данных** заключается в **ПРЕОБРАЗОВАНИИ геофизической информации** в цифровую форму записи её на **перфоленту, магнитную ленту, магнитные диски (жесткие, гибкие)** для ввода в ЭВМ.

Эти данные передают от каротажной партии на геофизическое предприятие или в вычислительный центр (ВЦ), где осуществляют считывание и контроль цифровых данных путем сравнения **кривых**, произведенных воспроизведенных) по цифровым данным, с каротажных кривых в аналоговой форме.

**Хранение информации ГИС** предусматривает запись геолого-геофизических данных и результатов их интерпретации в информационно-поисковую систему, которая **хранит, осуществляет поиск по запросу** и выдает на печать данные в виде **ТАБЛИЦ, ГРАФИКОВ, ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ КОЛОННОК**.

Для **интерпретации** каротажных данных на ЭВМ **аналоговые кривые** представляют в цифровой форме в виде последовательности чисел, характеризующих показания геофизических приборов на различной глубине в скважине.

**Шаг квантования (дискретизации)** представляет собой интервал, через который значение каротажной кривой вводится в ЭВМ. (По глубине он равен 0.5 и 1.0 мм, что соответствует 0.1 и 0.2 м при масштабе глубин 1 : 200).

## **ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНЫХ СКВАЖИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

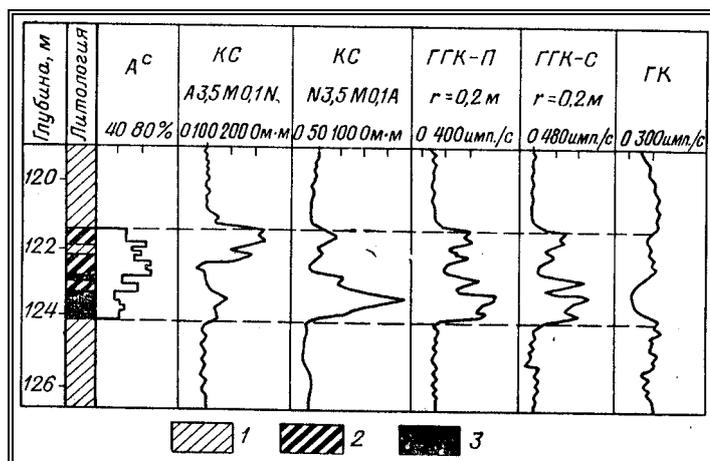
Геофизические исследования в скважинах служат;

- для геологической документации разрезов (при бескерновом бурении);
- дают сведения о литологии (петрографии) пород; наличии полезных ископаемых определенного типа;

- мощности отдельных пластов, коллекторских, фильтрационных свойствах, пористости окружающих пород и т.д.

**Интерпретация** данных скважинных геофизических исследований часто бывает **качественной** - когда по графикам (кривым) тех или иных параметров, полученных вдоль ствола выявляют аномалии (минимумы, максимумы, средние, нулевые значения и т.д.) По ним оценивают **местоположение пластов** с разными **физическими свойствами**, а затем дается **ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ РАЗРЕЗА**.

**Конечная цель интерпретации** - определение **мощности и физических свойств** выделенных в разрезе пластов, а по ним **ОЦЕНКА ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ, КОЛЛЕКТОРСКИХ, ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ** и пр. и **наличия** тех или иных видов полезных (особенно, нефти, газа, воды, руды).



Выделение угольного пласта в определении его зольности  $A^c$  по результатам каротажа (по В. А. Гречухину).

1 - аргиллиты; 2 - углистые аргиллиты; 3 - уголь.

Это задача **КОЛИЧЕСТВЕННОЙ**, порой и **полуколичественной (оценочной) интерпретации**, которые осуществляются с помощью:

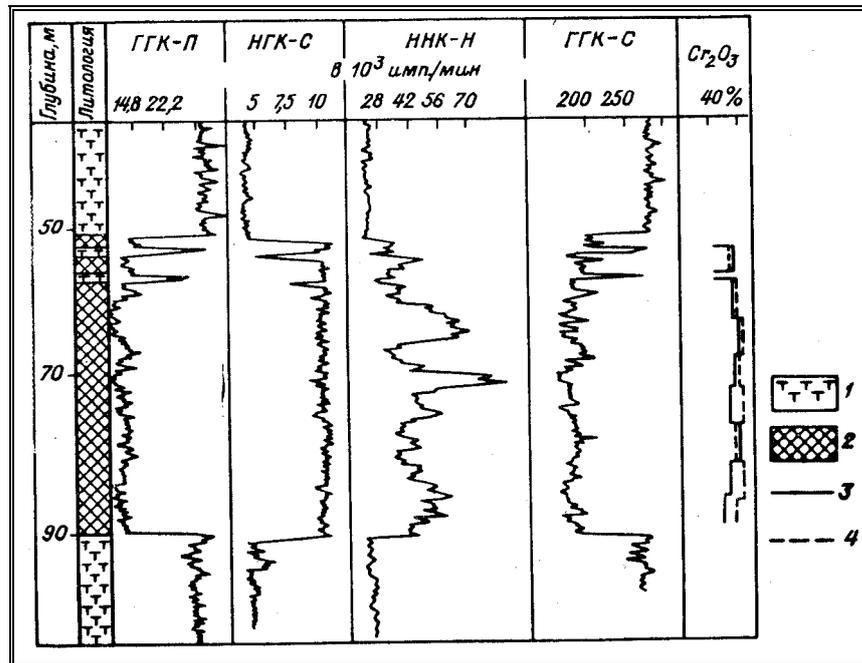
- а) теоретических кривых;
- б) номограмм;
- в) таблиц, составленных для каждого скважинного метода.

**Главнейшей задачей** скважинных геофизических исследований является **геологическое расчленение разрезов скважин** (в т.ч. **определение** литолого-петрографических разностей, мощностей слоев, наличия полезных ископаемых и пр.).

Эти задачи решаются в такой последовательности:

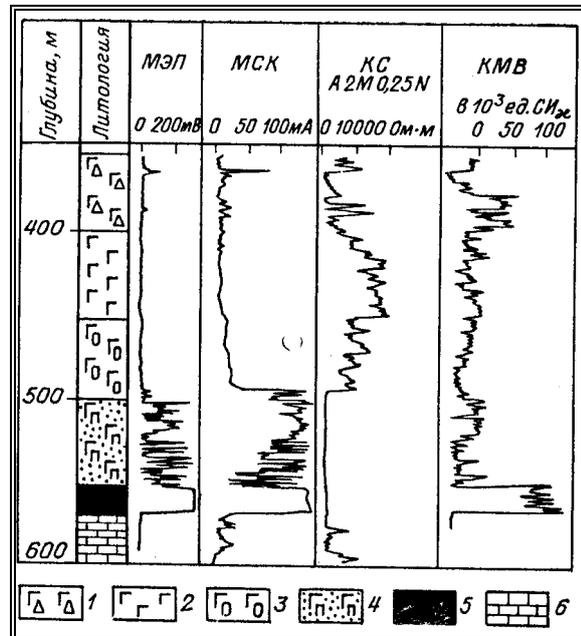
- на **диаграммах** (различных методов) **выделяются аномалии** (максимумы, минимумы, положительные, отрицательные, повышенные, пониженные, средние и нулевые значения тех или иных параметров поля);

■ производится расчленение разреза на пласты, выясняются их положение и мощность, которая может быть определена по ширине большинства аномалий (методов ПС, КС, ГК и др.). Так кровля и подошва пластов выделяется по экстремумам КС (с помощью градиент-зондов Инг, Игг), акустическому каротажу.



Выделение и оценка хромитовых руд по данным ядерно-геофизических методов каротажа (по И. И. Фельдману).

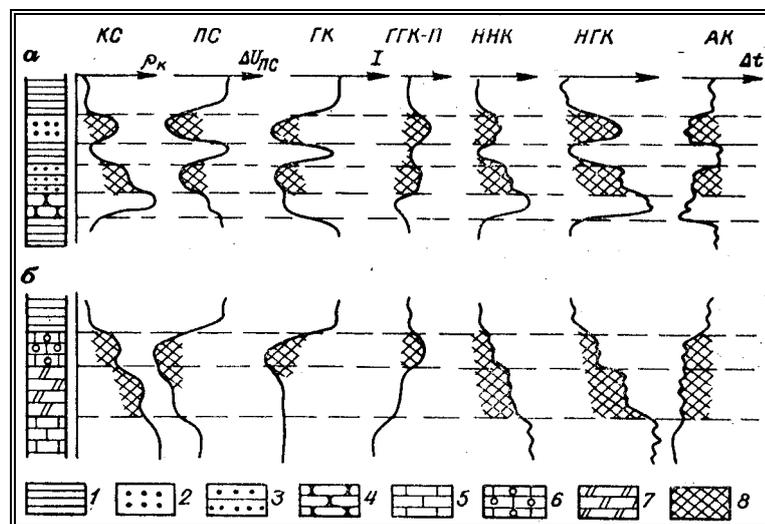
1- дуниты; 2 - хромитовые руды; 3 и 4 - содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 3 - по керну, 4 - по данным каротажа.



Выделение медно-никелевых сульфидных руд на одном из месторождений Норильского района (по Г. К. Зорину).

1- габбродиориты; 2 - габбродиабазы; 3 - габбродиабазы оливиновые; 4 - габбродиабазы пикритовые; 5 и 6 - руды : 5 - массивные, 6 - вкрапленные.

- далее производится **КОРРЕЛЯЦИЯ** одинаковых по виду аномалий по соседним скважинам. Сначала выделяются **ОПОРНЫЕ (репера) горизонты**, т.е. такие участки диаграмм, которые связаны с выдержанными по простиранию пластами, четко отличающимися по физическим свойствам от окружающих пород (например пласт **глин** среди песчано-глинистых отложений).



Характеристика песчано-глинистого (а) и карбонатного (б) геологических разрезов месторождений нефти и газа по данным различных видов каротажа.

**1 - глины; 2 - пески; 3 и 4 - песчаники: 3 - рыхлые, 4 - плотные; 5-7 - известняки: 5 - плотные, 6 - кавернозные, 7 - трещиноватые; 8 - коллекторы ( по геофизической характеристике).**

- далее по каротажным диаграммам соседних скважин производится **корреляция** всех слоев с одинаковым типом и формой аномалий.

Следующий этап интерпретации - сопоставление выявленных по аномалиям разных методов каротажа **ПЛАСТОВ** с определенными **ЛИТОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ**, или геологическое истолкование результатов.

Для увязки геофизических данных с литологией используются все сведения по геологическому строению района, в т.ч. и данные картировочного бурения, поинтервального отбора керна, анализа образцов, полученных с помощью грунтоносов, а также шлама и буровой жидкости в процессе проходки скважин.

В результате сопоставления геологических данных с типичными диаграммами каротажа, полученными разными методами, составляются **НОРМАЛЬНЫЕ** или **СВОДНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ**, которые служат **ЭТАЛОНОМ** для интерпретации материалов ГИС в данном районе.

При подготовке этих разрезов используют диаграммы, полученные стандартными зондами, однотипной аппаратурой, с учетом характера бурового раствора, обсадных колонн и пр.

При расчленении разрезов скважин, пересекающих осадочные породы, **наибольшей информативностью** обладают данные **электрического (КС, ПС) и ядерно-физического (ГК, ННК, НГК) каротажа.**

**ГЛИНЫ** и **ГЛИНИСТЫЕ СЛАНЦЫ** на каротажных диаграммах выделяются **низкими значениями  $\rho_k$** , положительными потенциалами ПС и высокими значениями ГК.

**ПЕСКИ** и **ПОРИСТЫЕ ПЕСЧАНИКИ** отличаются от глин более низкими показаниями ПС и ГК и высокими ( $\rho_k$ ). [ **Исключение** представляют водоносные песчаные ласты, имеющие низкие ( $\rho_k$ ) при высокой минерализации вод, и глауконитовые, монцанитовые пески и песчаники, характеризующиеся высокими показаниями ГК ]

На **диаграммах каротажа** породы характеризуются следующими свойствами:

**ИЗВЕРЖЕННЫЕ ПОРОДЫ** на диаграммах естественного поля (ПС) выделяются слабыми аномалиями положительного и отрицательного знака. Кажущиеся сопротивление (КС) у этих пород высокие (сотни и тысячи Ом), потенциалы ВП небольшие ( $\eta = 1-2\%$ ). На графиках **акустического и магнитного** каротажа они выделяются **МАКСИМУМАМИ**.

**КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ** характеризуются **отрицательными значениями (ПС)**, высокими сопротивлениями (сотни и даже тысячи Ом) - у плотных пород; и низкими (десятки Ом) - у трещиноватых и обводненными, а также небольшими аномалиями ВП. На диаграммах ГК - низкими значениями (1 - 2 пА/кг), а на диаграммах НК и НГК повышенными значениями - у сухих; и пониженными у трещиноватых и обводненных. Для них характерны **ВЫСОКИЕ СКОРОСТИ** распространения упругих волн и очень низкие значения МК (магнитной восприимчивости).

**ПЕСКИ** и **ПЕСЧАНИКИ** - выделяются отрицательными аномалиями (ПС), сопротивление их меняется от долей (Ом) - у песков, насыщенных минерализованными водами, до сотен Ом - у цементированных песчаников; ВП бывают повышенными (особенно если в породе присутствуют глинистые частицы). ГК дает более высокие значения по сравнению с глинами, наблюдаются также большие значения НГК.

**ГЛИНЫ** и **ГЛИНИСТЫЕ СЛАНЦЫ** отмечаются положительными аномалиями ПС, низкими значениями КС (1 - 50 Ом), низкими значениями ВП. Гамма-излучение у глин выше, чем у всех других осадочных пород. На диаграммах нейтронных методов глины отмечаются **минимумами**, тем большими, чем больше их кавернозность, пористость и влагонасыщенность.

Скорость распространения упругих волн у глин больше, чем у песков, и меньше, чем у песчаников.

**ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ, ЖЕЛЕЗНЫЕ, СУЛЬФИДНЫЕ** руды отличаются следующими аномалиями:

- \* интенсивными максимумами и минимумами ПС (особенно сульфидные руды);
- \* минимумами КС, максимумами ВП;

- \* повышенными значениями гамма-поля;
- \* повышенными значениями скорости упругих волн и магнитной восприимчивости (особенно у железных руд);
- \* пониженной интенсивностью рассеянного гамма-излучения.

УГЛИ отличаются резкими положительными значениями ПС, широким диапазоном изменения КС (от единиц - у антрацитов, до сотен (Ом м) у коксующих и газовых углей); максимумами ВП. На диаграммах ядерных, акустических и магнитных методов пласты угля выделяются **минимумами**.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ И МОЩНОСТИ ПЛАСТОВ

Определение местоположения и мощности пластов различных горных пород и полезных ископаемых **основано** на использовании характерных особенностей аномальных кривых каротажа.

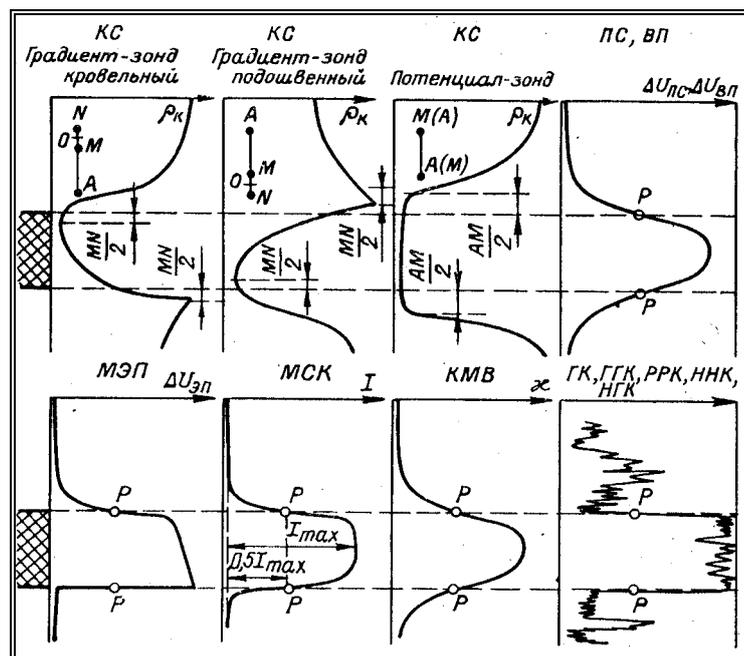
Наиболее сложный характер имеют аномалии на диаграммах метода КС, форма которых во многом зависит от размера зонда и мощности пласта.

Для мощных пластов на диаграмме, полученной при записи **кровельным** **градиент-зондом**, КРОВЛЯ определяется по точке, смещенной на  $\rho_k$  выше максимума, а ПОДОШВА смещена на такое расстояние вверх от характерного минимума.

МОЩНОСТЬ определяется как расстояние между экстремальными точками

$(\rho_k)_{\max}$  и  $(\rho_k)_{\min}$ .

На диаграммах методов ПС, ВП, КМВ, ГК и других методов ГИС границы пластов большой мощности **определяются по точкам**, расположенным на **середине амплитуды аномалии**.



Определение границ мощности рудных тел или пластов по данным различных видов каротажа ( мощность больше длины зонда).

**В точке Р значение регистрируемого параметра равно половине амплитуды аномалии.**

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ ПОРОД

Высокопористые обводненные пласты выделяются **низкими значениями** на диаграммах КС и микрозондов., нейтронного и акустического каротажа ( по скорости упругих волн ).

Высокопористые газовые пласты отмечаются **высокими значениями КС и НГК.**

При благоприятных условиях в водоносных пластах по методам: КС, ННК и АК имеется возможность оценить коэффициент пористости **Кпор.**

Для определения величины (**Кпор**) используются кривые зависимости относительного удельного сопротивления  $P = f(K_{пор})$ , построенные по результатам экспериментальных исследований.

$$\text{При } P = \rho_{п} / \rho_{в}$$

где  $\rho_{п}$  - удельное сопротивление водоносного пласта, найденное по **по** БКЗ и др. методам.

$\rho_{в}$  - уд. сопротивление насыщающей пласт воды, которое определяют по результатам лабораторных измерений проб пластовой воды.

По результатам акустического каротажа (**Кпор.**) рассчитывают по формуле:

$$K_{п} = \frac{V_{ж}(V_{м} - V)}{V(V_{м} - V_{ж})}$$

где  $V$  - скорость упругих волн в горных породах на участке пласта.

$V_{м}$  - скорость упругих волн в минеральном скелете горной породы;

$V_{ж}$  - скорость упругих волн в жидкости, заполняющей поровое пространство горных пород.

Скорости  $V_{м}$  и  $V_{ж}$  определяются в лабораторных условиях.

Для определения пористости пластов по методам ННК и НГК составляют график корреляционной зависимости показаний НК от пористости на моделях различного состава, пористости для определенных видов аппаратуры, длины зонда, диаметра скважины, наличия или отсутствия обсадной колонны и т.д.

В дальнейшем показания, полученные в пластах для идентичных эталонированию условий, наносят на график и определяют величину ( $K_{пор.}$ ).

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ для ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

**Эффективность** геофизических исследований в скважинах в большей степени зависит от **полноты и качества интерпретации** результатов исследований.

**Автоматическая обработка** диаграмм и применение **ЭВМ** для **интерпретации** позволяют:

- более полно использовать все геофизические материалы для получения полезной информации по всему вскрытом разрезу, а не только в пределах наиболее перспективных толщ;
- повысить качество интерпретации каротажных диаграмм, а следовательно, и **геологическую эффективность** геофизических исследований;
- ускорить выдачу заключений о скважине геологической службе.

К настоящему времени наиболее разработана система **ОПЕРАТИВНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ**, предусматривающая индивидуальную обработку каротажных диаграмм по отдельной скважине.

**Цель оперативной интерпретации** - расчленение разреза скважины, выделение коллекторов и оценка их насыщения, определение коллекторских свойств пород по разрезу.

**Сводная интерпретация** включает обобщение всех геофизических и геологических данных по площади участка (месторождения).

Практическая реализация **автоматизированной сводной интерпретации** возможна при создании развитых территориальных банков геолого-геофизических данных (ТБД) и систем управления ими.

Система оперативной интерпретации работает по следующей структурной схеме.

Результаты исследований представляются или в **аналоговой** или в **цифровой** форме.

Для перевода из аналогового вида в цифровой записывается последовательность чисел  $a_i$ , соответствующих амплитудам отсчета показаний геофизических параметров на

различной глубине ( $Z_i$ ) скважины [Интервал глубин между двумя соседними отсчетами

$a_i$  называется шагом квантования по глубине. Шаги квантования бывают 0,1- 0,2,

иногда 0,3 м. Шаг квантования может быть постоянным - **равномерная система квантования**, или изменяться по глубине - **неравномерная система квантования** ] .

При равномерной системе квантования кривая ГИС имеет вид последовательности чисел - отсчетов показаний метода, для которых запоминается только глубина начальной точки. Для всех остальных точек значения глубин не записывается, а рассчитывается по формуле:

$$Z_i = Z_1 - i\Delta$$

где  $i$  - номер точки

$\Delta$  - шаг квантования

Оцифровка диаграмм производится от забоя к устью, а целью уменьшения ошибок в определении глубины весь интервал оцифровки разбивают на зоны, задавая метками им через 20, 40, 80 м.

При неравномерной системе квантования показания геофизического метода преобразуются в цифровой код через постоянный по глубине интервал  $\Delta = 0,0625$ .

( Показания в каждой последующей точке сравниваются только в том случае, когда оно отличается от предыдущего на некоторую заданную небольшую величину )

Всегда отмечается первое значение  $a_1$ , соответствующее началу оцифровки на глубине  $Z_1 = Z_{нач}$ .

Далее фиксируется лишь значение ( $a_i$ ) в точке ( $i$ ). Удовлетворяющее условию ( $a_i - a_1$ )  $> \epsilon$ .

Для определения глубины любой точки фиксируется значение  $K_j$  пропущенных точек.

Преобразование аналоговых кривых в цифровую форму осуществляется с помощью полуавтоматических Ф014 или автоматических Ф 018 преобразователей.

Цифровая регистрация результатов непосредственно в процессе проведения измерений осуществляется посредством цифровых регистрирующих комплексов с записью информации на магнитную ленту.

Цифровые регистраторы устанавливаются в типовых аналоговых станциях, переводя их тем самым в разряд цифровых станций.

После получения геофизической информации в цифровом виде она должна быть передана в ВЦ для обработки и интерпретации.

Обработка информации а ЭВМ, удаленной от места получения исходных данных и связанной с ним средствами связи, называется **телеобработкой** .

Типичная система телеобработки включает центральную ЭВМ, на которой выполняется программа, осуществляющая **прием** информации от абонентских пунктов, мультиплексоры передачи данных (МПД), абонентские пункты (АП) и средства связи.

МУЛЬПЛЕКСОР передачи данных осуществляется обмен между основной памятью ЭВМ через каналы \* ВВОДА - ВЫВОДА \* и абонентскими пунктами через средства связи.

Средства связи включают линию связи и аппаратуру передачи данных (АПД), которая реализует соединение между МПД и АП по каналу связи.

Важным **этапом** является **обработка и интерпретация** данных на ЭВМ по какой-либо программе или системе программ, печать и воспроизведение результатов интерпретации в удобной для обозрения и хранения форме.

Наиболее важный элемент схемы - система программ, по которой обрабатываются и интерпретируются данные в ЭВМ.

**Системы программ** формируют по принципу открытой библиотеки программ, пополняемой новыми программами по мере усовершенствования процесса интерпретации для более полного и эффективного решения геологических задач.

В системе АСОИГИС обработку и интерпретацию данных каротажа выполняют в четыре этапа: предварительная обработка исходных данных; оценка констант обработки, расчленения кривых на пласты, определение ( $\rho_k$ ); оценка литологии, коллекторских свойств, характера насыщенности; заключительная обработка..

## ТЕМА 12

### ЛЕКЦИЯ 12. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Эффективность ГИС** зависит от разработок в области теории методов, петрофизических исследований, аппаратуры и методик обработки и интерпретации.

Особая роль принадлежит интерпретации (истолкованию) получаемых данных, которая невозможна без использования математических методов и современной вычислительной техники.

Использование технических и теоретических достижений кибернетики открывает новые горизонты перед работниками различных специальностей: геологами, геофизиками, геохимиками, гидрогеологами.

Еще до недавнего времени во всех звеньях связанных с получением и обработки геолого-геофизических данных роль \* регулятора системы \* играл человек, причем выполнял их в \*ручную\* не будучи вооруженным какими-либо устройствами, облегчающими, в первую очередь, анализ этих данных.

Малая эффективность \* ручной \* обработки связаны с целым рядом причин объективного и субъективного характера.

Радикальное повышение ЭФФЕКТИВНОСТИ \* обработка - интерпретации\* геолого-геофизической информации возможно на основе АВТОМАТИЗАЦИИ с привлечением современной кибернетической техники.

Применение этой техники может идти по двум линиям:

1. по пути совершенствования интерпретации текущей информации с использованием самой современной вычислительной техники (включая и автоматизированный сбор первичного материала);
2. углубленной обработке материалов прошлых лет (\* разведка архивов\*).

Повторная обработка \*архивов\* связана со следующим:

а) в процессе разведке, полученные выводы устаревают часто довольно быстро... вновь полученные данные требуют пересмотра положений, легших в основу первоначальной обработки материалов;

б) со временем совершенствуется и методика обработки материалов, в результате ранняя обработка данных становится неэффективной с точки зрения сегодняшнего дня.

Так, например в США в результате \* разведки архивов \* был открыт целый ряд месторождений различных полезных ископаемых (прежде всего нефти и газа).

В настоящее время речь идет о применении ЭВМ всех классов не столько для решения отдельных задач, связанных с громоздкими вычислительными работами, а сколько о применении этой техники для широкой автоматизации хранения и обработки разнообразной геолого-геофизической информации, получаемой от компьютеризированных каротажных станций и лабораторий.

Повышение эффективности ГИС, и следовательно, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых различных видов, связывается с разработкой технологии комплексной интерпретации разных видов информации о районе работ - данных полевой геофизики, в первую очередь сеймики, гравиразведки, электроразведки, геологических и др. данных, ГИС.

Формальное объединение существующих автоматизированных систем обработки разнообразной информации в единую систему с переводом на новые более мощные вычислительные средства не позволит обеспечить резкого повышения эффективности, из-за отсутствия единого методического подхода в разных системах.

Техническое перевооружение геофизических организаций новыми современными вычислительными средствами - персональными компьютерами, станциями интерактивной графики, мощными ЭВМ, спецпроцессорами, оптическими дисками, аппаратными и программными средствами развития диалога \* пользователь -ЭВМ \* ..(включая средства распознавания речи, синтезаторы речи) - явилось благоприятным моментом для создания нового поколения систем регистрации, обработки и интерпретации геолого-геофизической информации, удовлетворяющих возросшим требованиям к детальному изучению месторождений.

В начале XXI в. Основными принципами организации интегрированной системы сбора, хранения, передачи, обработки, истолковании информации должны стать:

- система должна обеспечить сбор и любую обработку геолого-геофизической информации при решении задач на всех этапах геологоразведочных работ на различные виды полезных ископаемых.
- базироваться на использовании персональных компьютеров, сочлененных с большими ( даже супер-ЭВМ );
- обработка и интерпретация данных ГИС должна производиться, как в ВЦ на больших ЭВМ, так и в полевых и камеральных подразделениях на персональных компьютерах, соединенных с большой ЭВМ и представляющих собой рабочее место интерпретатора.;
- система должна иметь, помимо базы данных, базу знаний, куда загружаются все имеющиеся сведения о районе работ в виде карт, схем, разрезов, таблиц, разного рода теоретических и эмпирических данных, необходимых для совместного анализа данных ГИС и полевой геофизики;
- система должна обеспечить работу со знаниями, находящимися в банке данных, включая их хранение, пополнение, проверку, логические решения, вывод, объяснение;
- система должна обеспечить консультирование геофизика по всем вопросам обработки и интерпретации, вызвавшим затруднения.

## ИНФОРМАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### Основная литература

1. Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И, Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин М., Недра, 1984.
2. Кривко Н.Н. Аппаратура геофизических исследований скважин. М., Недра, 1991.

### Дополнительная литература

1. Бондаренко В.М., Демура Г.В., Ларионов А.М. Общий курс геофизических методов разведки. М., Недра 1986.
2. Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика. Под ред. В.М.Запорожца. М., Недра 1983.
3. Дьяконова Т.Ф. Применение ЭВМ при интерпретации данных геофизических исследований скважин. М., Недра, 1991.
4. Итенберг С.С., Дахкильгов Т.Д. Геофизические исследования в скважинах. М., Недра, 1982.
5. Комаров С.Г. Геофизические методы исследования скважин. М., Недра, 1973.
6. Латышова М.Г., Вендельштейн Б.Ю., Тузов В.П. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин. М., Недра, 1990.
7. Резванов Р.А. Радиоактивные и другие неэлектрические методы исследования скважин. М., Недра, 1982.
8. Скважинная и шахтная рудная геофизика. Справочник геофизика. В 2-х книгах. Под ред. В.В. Бродового. М., Недра, 1989.
9. Сохранов Н.Н., Аксельрод С.М., Обработка и интерпретация с помощью ЭВМ результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин. М., Недра, 1984.

### Содержание

Первая лекция . ВВЕДЕНИЕ .....	2
Вторая лекция. Принципы получения информации при геофизических исследованиях скважин.....	9

Третья лекция.	Геофизические исследования разреза скважин ( каротаж ) .....	16
Четвертая лекция.	Скважинная геофизическая аппаратура и оборудование при выполнении ГИС.....	22
Пятая лекция.	Электрический и электромагнитный каротаж.....	28
Шестая лекция.	Электромагнитные методы ГИС.....	33
Седьмая лекция.	Радиометрические и ядерно-физические исследования в скважинах.....	39
Восьмая лекция.	Методы нейтронного каротажа.....	45
Девятая лекция.	Специальные виды каротажа.....	50
Десятая лекция.	Прострелочные и взрывные работы в скважинах.....	61
Одиннадцатая лекция	Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин.....	65
Двенадцатая лекция	Заключение.....	77

## Приложение 1

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

блок-баланс  
 гамма-излучение  
 геологическое расчленение  
 геофизические измерения  
 геофизические исследования скважин ( ГИС )  
 геофизическое поле  
 градиент-зонд  
 грунтонос  
 диаграмма  
 зонд  
 измерительная аппаратура  
 инклинометр  
 интерпретация  
 каверномер  
 каротаж скважин  
 каротажная станция  
 каротажный кабель  
 коллекторские свойства  
 кривые КС

кривые ПС  
 кумулятивный перфоратор  
 микрозонд  
 нейтроны  
 перфоратор  
 пористость  
 потенциал-зонд  
 радиоактивность  
 резистивиметр  
 скважинный снаряд  
 электродные установки  
 электротермометр

Приложение 2.

### ВОПРОСЫ для САМОКОНТРОЛЯ

1. Назначение и области применения ГИС.
2. Основные задачи, решаемые методами каротажа и скважинной геофизики.
3. Наиболее тесная связь методов ГИС с другими науками и производствами.
4. Основное представление системы каротажа, перечень рассматриваемых вопросов.
5. Роль ученых различных стран и народов в создании и развитии методов ГИС.
6. Основные виды буровых скважин, их основные характеристики.
7. Влияние скважин на результаты геофизических исследований.
8. Особенности проведения геофизических исследований в скважинах по сравнению с наземными измерениями.
9. Назначение телеметрии и использование её приемов и достижений, при проведении, геофизических работ в скважинах.
10. Физические свойства горных пород как основной фактор создания геофизических полей. Характер физического поля в скважинах при встрече тех или иных видов горных пород.
11. Основные принципы создания автоматизированной системы обработки и интерпретации результатов ГИС. Основные достоинства её перед \*ручными\* способами обработки геолого-геофизических материалов.
12. Основные виды вспомогательного оборудования, используемые при выполнении ГИС. Их назначение и краткий принцип работ.
13. Основные виды скважинной геофизической аппаратуры. Принцип их работы.
14. Основные методы электротометрии скважин. Их назначение и области применения. Принципы положенные в основу классификации электромагнитных методов ГИС.
15. Основные физико-химические процессы, создающие потенциалы самопроизвольной поляризации пород в скважине.
16. Основные факторы, влияющие на величину и знак аномалий ПС.
17. Охарактеризовать зависимости  $\rho_k$  от действия различных факторов.
18. Основные типы электродных зондов, используемых в методах КС.

19. Основные преимущества экранированных зондов БК по сравнению трехэлектродными зондами КС.
20. Основные достоинства и недостатки индуктивных методов по сравнению с методами электротометрии на постоянном токе.
21. Области применения зондов малого размера. В чем отличие микрозонда от зонда МБК.
22. Какой принцип заложен в одновременной регистрации нескольких параметров с использованием одножильного кабеля ?
23. Основные методы радиоактивного каротажа ; каковы основные отличия радиоактивных методов от электрических ?
24. Охарактеризуйте виды взаимодействия гамма-квантов с веществом и методы, основанные на таких взаимодействиях.
25. Виды взаимодействия нейтронов с веществом ( горными породами ) и методы ГИС, основанные на таких эффектах взаимодействия.
26. Сущность импульсных нейтронных методов и их преимущества применения перед стационарными.
27. Основные виды детекторов радиоактивного излучения, используемых в измерительной аппаратуре . Их достоинства и недостатки.
28. Основной круг задач, решаемых различными видами радиоактивного каротажа.
29. Специальные виды каротажа, их назначение и сущность.
30. Особенности применения геохимических методов изучения скважинного пространства.
31. Физико-геологические условия применения геофизических методов контроля технического состояния скважин.
32. Виды контроля технического состояния скважин. Их сущность и область применения.
33. Принцип действия и конструктивные особенности геофизических приборов , применяемых для контроля технического состояния скважин.
34. В чем основное отличие геофизических методов от прямых методов исследования скважин.
35. Какие основные задачи решаются на основе комплексной интерпретации данных ГИС ?
36. Что такое стандартный комплекс ГИС?
37. В чем существенные отличия методов ГИС от методов скважинной геофизики ?
38. Характер результатов методов ГИС над определенными видами горных пород.
39. Основные способы определения пористости горных пород.
40. Основные особенности применения ЭВМ при анализе ( интерпретации ) результатов ГИС.
41. Перспективы развития методов ГИС в первой половине XXI века.