

Геофизические
исследования
скважин

Геофизические исследования скважин (ГИС) – это методы геологической и технической документации проходки скважин, основанные на изучении в них различных геофизических полей.

Такое понимание ГИС привело к созданию самостоятельной научно-прикладной отрасли геофизики, которую иногда называют ***каротаж*** или ***промысловая геофизика***.

Геофизические методы исследования скважин
предназначены для изучения геологического
разреза и, в частности, выявления пластов разной
литологии, определения углов и азимутов их
падения, выделения полезных ископаемых в
разрезах, а также оценки пористости,
проницаемости, коллекторских свойств окружающих
пород и их возможной нефтегазоносной
продуктивности.

Специальной аппаратурой производится контроль технического состояния скважин (определение их диаметров, искривления, наличия цемента в затрубном пространстве и др.), а также прострелочно-взрывные работы в скважинах (отбор образцов из стенок, перфорация обсадных колонн)

Физические свойства горных пород, определяемые в результате исследования в скважинах, служат не только для непосредственного получения той или иной геологической информации, но и для интерпретации данных полевой геофизики.

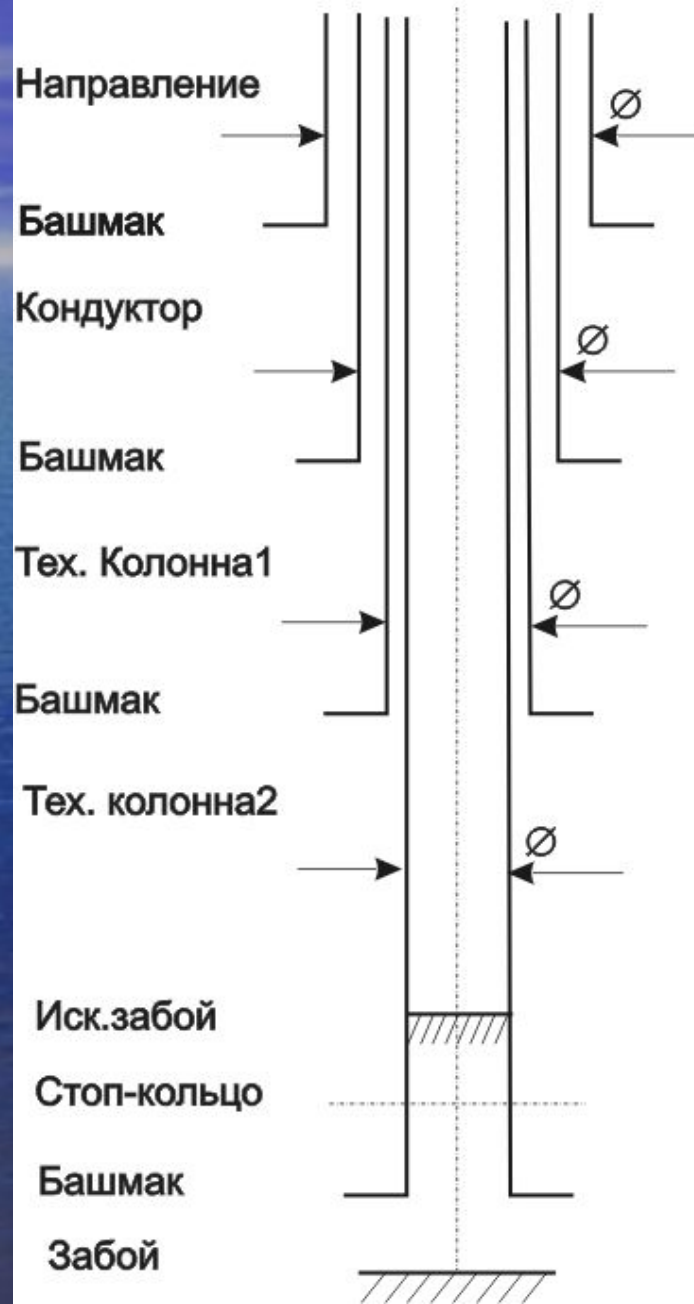
При геофизических исследованиях в скважинах используются все поля и методы, применяемые и в полевой геофизике.

Для изучения разрезов скважин применяются электрические, ядерные, термические, сейсмоакустические, магнитные, гравиметрические методы. Измеряемые в скважинах с помощью датчиков те или иные параметры физических полей преобразуются в электрические сигналы, которые по кабелю подаются в так называемые каротажные станции. В них они автоматически регистрируются при подъеме кабеля с глубинным прибором и датчиком поля, производимом со скоростью от 200 до 5000 м/ч.

*Скважина, как объект
разведки недр и
геофизических
исследований*

Скважина является важнейшим источником информации о строении недр и местонахождении полезных ископаемых, а также единственным технологическим способом добычи нефти и газа и в зависимости от глубины и назначения ее бурение проводится механическими, роторными, турбобуровыми и другими способами.


Конструкция скважины



Несмотря на широкое использование ГИС, особенно в нефтегазовой геофизике, некоторые литолого-петрографические исследования требуют отбора кернa из основных перспективных на нефть, газ комплексов пород. Это необходимо для установления конкретных корреляционных связей между геологическими и геофизическими параметрами.

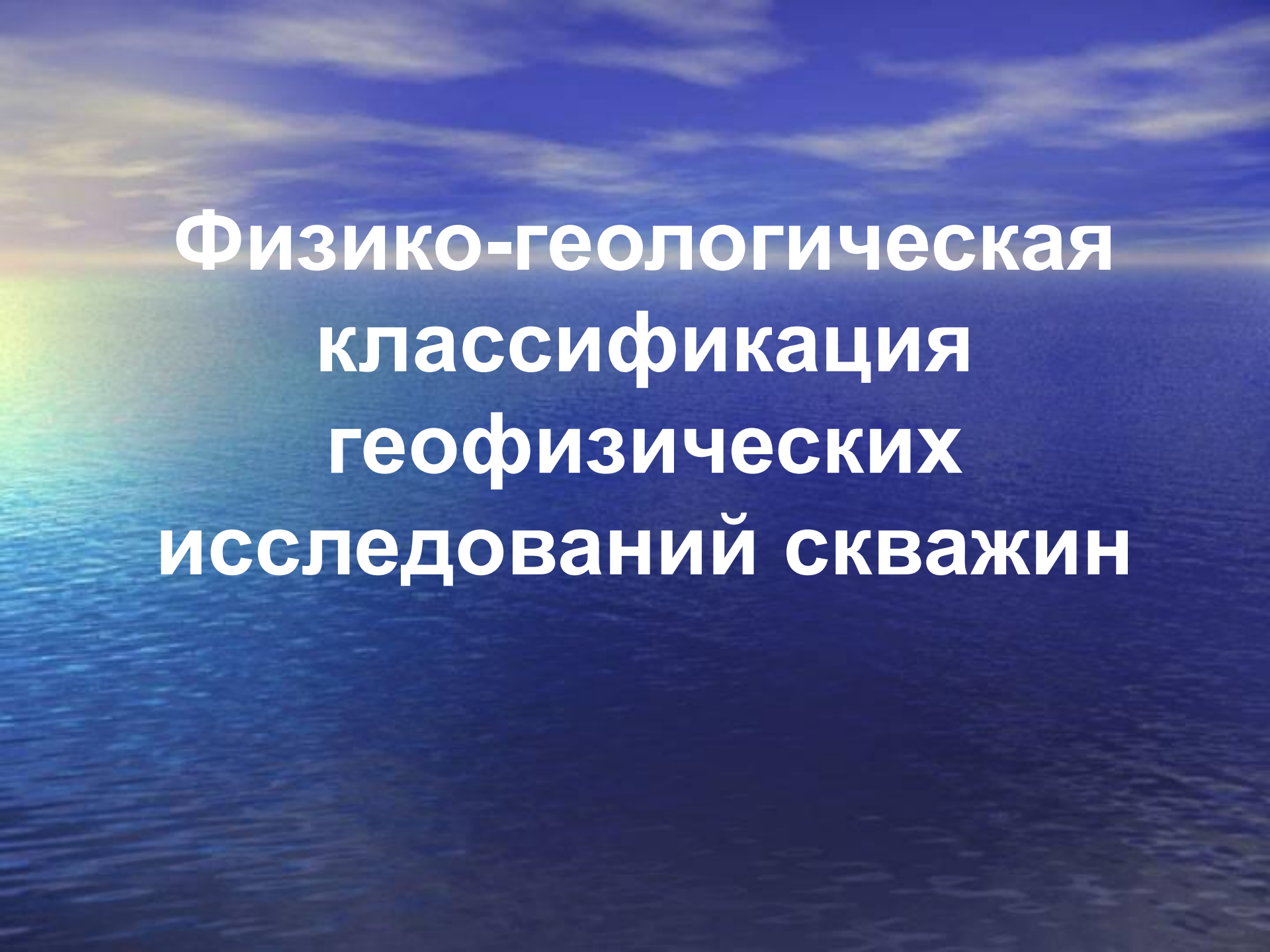
Таким образом, ГИС с очень небольшим (несколько %) отбором кернa дает наибольшую информацию от геологоразведочных скважин.





***Принципы решения прямых
и обратных задач ГИС***

При геофизических исследованиях скважин используются те же поля, что и в полевых геофизических методах (гравитационные, магнитные, электромагнитные, сейсмоакустические, ядерно-физические, тепловые), поэтому принципы теоретического решения задач – прямых (определение физических параметров поля по известному геофизическому разрезу) и обратных (определение физического разреза по наблюдаемым физическим параметрам) – одинаковы. Однако строгое теоретическое решение прямых задач ГИС сложнее, так как приходится учитывать влияние обсадных колонн, цемента, глинистого раствора, по-разному проникающих в породу в зависимости от их трещиноватости и пористости.



**Физико-геологическая
классификация
геофизических
исследований скважин**

В таблицах приведены группы методов ГИС (в порядке объемов их применения) и основные методы в них. Здесь же даны физические свойства пород, на которых основаны методы, измеряемые параметры, а также решаемые геологические задачи.

Электрические методы ГИС

Название методов	Исследуемые физические свойства пород	Измеряемые параметры	Решаемые геологические задачи
Метод естественной поляризации (ПС)	Электрохимическая активность	Естественные потенциалы	Геологическое расчленение разрезов в комплексе с методами КС, выявление сульфидных руд, углей, графитовых сланцев, коллекторов и водоупоров
Методы токового каротажа, скользящих контактов (МСК)	Удельное электрическое сопротивление (УЭС)	Изменение тока в питающей цепи	Выделение в разрезах хорошо проводящих горизонтов (сульфидов, углей, графитов и др.)
Метод кажущихся сопротивлений (КС), боковое каротажное зондирование (БКЗ) и др.	Удельное электрическое сопротивление (УЭС)	Кажущееся сопротивление	Геологическое расчленение разрезов, определение мощности слоев и истинного сопротивления пород, выделение коллекторов, водоупоров, рудных и нерудных пропластков
Резистивиметрия	УЭС жидкости в стволе скважины	УЭС жидкости в стволе скважины	Определение сопротивления воды и глинистого раствора в скважине
Метод вызванных потенциалов (ВП)	Поляризуемость	Вызванные потенциалы (ВП)	Геологическое расчленение разрезов скважин, выявление сульфидных руд, угля, графитов, сланцев
Индуктивный метод (ИМ)	Электропроводность	Потенциалы	Расчленение низкоомных разрезов
Диэлектрический метод (ДМ)	Диэлектрическая проницаемость	Потенциалы	Расчленение водоносных разрезов

Ядерные методы ГИС

Название методов	Изучаемые физические свойства пород	Измеряемые параметры	Решаемые геологические задачи
Гамма-метод (ГМ) или гамма-каротаж (ГК)	Естественная радиоактивность	Интенсивность естественного гамма-излучения (I_γ)	Обнаружение радиоактивных руд, геологическое расчленение разрезов
Гамма-гамма-метод (ГГМ) или гамма-гамма-каротаж (ГГК)	Плотность и химический состав	Интенсивность рассеянного гамма-излучения ($I_{\gamma\gamma}$)	Изучение плотности горных пород и их химического состава
Нейтронный гамма-метод (НГМ) или каротаж (НГК)	Поглощение нейтронов с последующим гамма-излучением	Интенсивность вторичного гамма-излучения ($I_{n\gamma}$)	Расчленение разреза по водородосодержанию, оценка пористости пород
Нейтрон-нейтронный метод (ННМ) или каротаж (ННК)	Поглощение быстрых нейтронов и определение медленных нейтронов	Интенсивность потока тепловых и надтепловых нейтронов	То же, что и в методе НГК, но более точное определение количества водорода в породах

Акустические и сейсмические методы ГИС


Название методов	Изучаемые физические свойства пород	Измеряемые параметры	Решаемые геологические задачи
Метод акустического каротажа	Скорость распространения волн, амплитуда сигналов	Время и скорость упругих волн, их затухание (t , V , b)	Геологическое расчленение разреза, оценка пористости, проницаемости, состава флюида
Сейсмический каротаж	Скорость распространения волн, амплитуда сигналов	Время и скорость упругих волн, их затухание (t , V , b)	Определение пластовых и средних скоростей

Термические методы ГИС

Название методов	Изучаемые физические свойства пород	Измеряемые параметры	Решаемые геологические задачи
Метод естественного теплового поля (МЕТ)	Теплопроводность	Температура	Изучение геологического разреза скважин, определение наличия газа, нефти, сульфидов и др., определение техническое состояние скважин
Метод искусственного теплового поля (МИТ)	Тепловое сопротивление, температуропроводность	Температура	Изучение геологического разреза скважин, определение наличия газа, нефти, сульфидов и др., определение техническое состояние скважин

Гравитационные методы ГИС

Название методов	Изучаемые физические свойства пород	Измеряемые параметры	Решаемые геологические задачи
Гравиметрический каротаж	Плотность	Аномалии силы тяжести	Геологическое расчленение разреза



***Принципы устройства
каротажных
станций и скважинных приборов***

Для проведения геофизических исследований скважин используется как общая аппаратура и оборудование, применяемые в большинстве методов ГИС (автоматические каротажные станции (АКС) или аппаратура геофизических исследований скважин (АГИС), спускоподъемное оборудование), так и специальные скважинные приборы, разные в разных методах (глубинные или каротажные зонды). АКС (АГИС) смонтированы на автомашинах хорошей проходимости.

К общему оборудованию каротажной станции относятся:

- источники питания (батарея аккумуляторов);
- приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока;
- лебедка, работающая от двигателя автомобиля и предназначенная для спуска и подъема каротажного кабеля в скважину (при каротаже глубоких скважин – более 3 км – лебедка устанавливается на отдельном автомобиле-подъемнике);
- блок-баланс, располагающийся вблизи скважины и предназначенный для направления кабеля в скважину и синхронной передачи глубины расположения индикатора поля на лентопротяжный механизм регистратора;
- однопильный, трехжильный или многожильный кабель в хорошей изоляции.

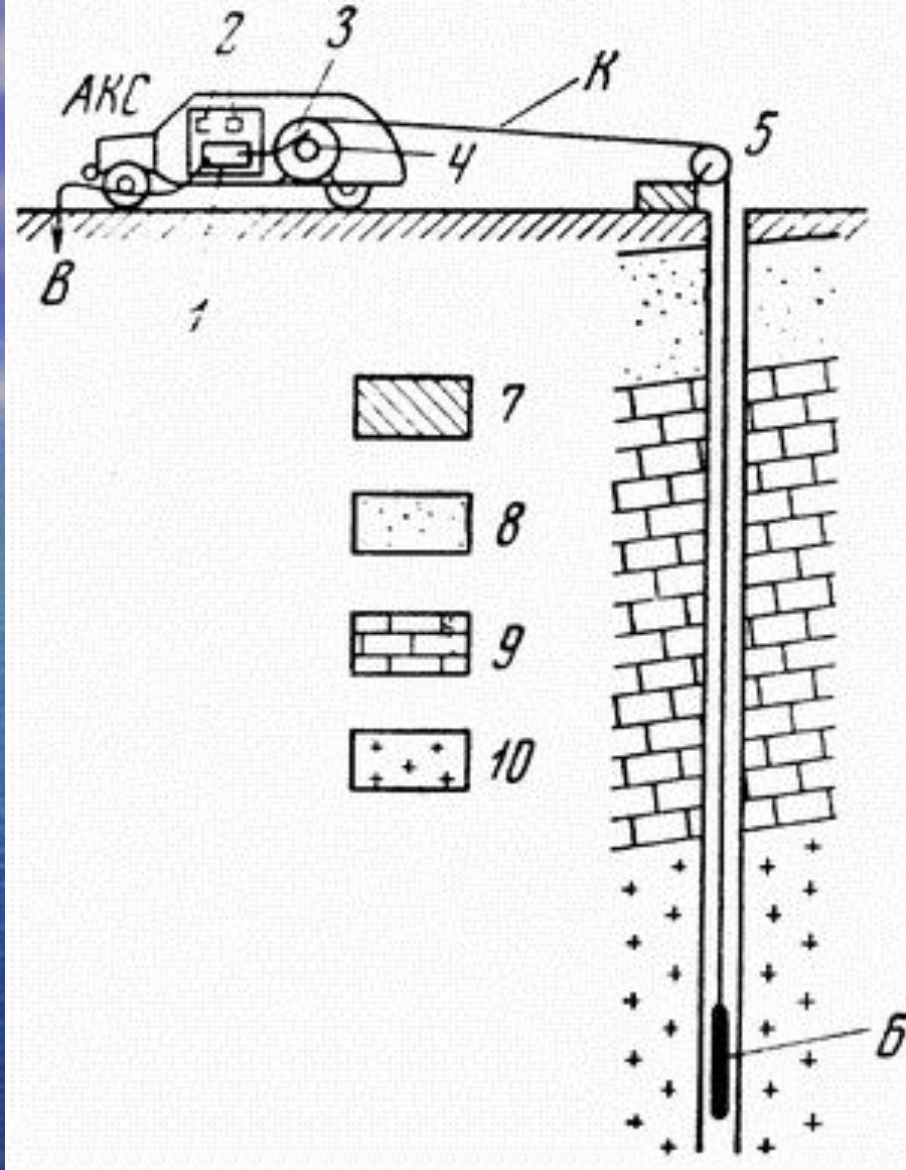


Схема выполнения ГИС: АКС – автоматическая каротажная станция, К – каротажный кабель, 1 – источник питания, 2 – приборы для регистрации разности потенциалов и силы тока, 3 – лебедка, 4 – коллектор лебедки, 5 – блок-баланс, 6 – глубинный каротажный зонд, 7 – глины, 8 – пески, 9 – известняки, 10 – изверженные породы





Приборы предназначенные для различного вида каротажа имеют свои особенности:

- **Зонд в методах электрического каротажа** состоит из одного, двух, трех и более свинцовых электродов, укрепленных на кабеле. Такие зонды используются в скважинах, заполненных буровой жидкостью или водой. При работах в сухих скважинах применяются скользящие электроды, каждый из которых состоит из металлической щетки, укрепленной в обойме из изолятора на плоской металлической пружине. Пружины такого «фонарного» зонда прижимают электроды к стенкам скважины.
- **В глубинном зонде ядерных методов** помещаются счетчики гамма- или нейтронного излучения и предварительные усилители сигналов на их выходе. Для искусственных методов там же располагаются источники и экраны, препятствующие прямому облучению счетчика.
- **В гамма-методах экраны свинцовые, в нейтронных методах они парафиновые**
- **В глубинном зонде сейсмоакустических методов** смонтирован источник упругих волн и два сейсмоприемника, изолированные резиновым экраном от источника.
- **В глубинном зонде для терморазведки** установлен электрический термометр. Скважинные магнитные и гравиметрические наблюдения выполняются специальными приборами, трансформирующими наблюдаемые параметры в электрические сигналы. В глубинных приборах, кроме датчиков поля, размещаются электронные усилители электрических сигналов и блоки питания. Корпуса их герметичны, термостойки, баростойки.



*Электрические методы
исследования скважин*

Метод естественного поля

Скважинные исследования методом естественного поля (ЕП) или поля самопроизвольного (каротаж ПС) сводятся к измерению постоянных естественных потенциалов, возникающих у пластов с разной электрохимической активностью. Естественные потенциалы (потенциалы собственной поляризации) возникают при окислительно-восстановительных, диффузионно-адсорбционных и фильтрационных процессах, протекающих в различных горных породах. Зондом для измерения собственных потенциалов служат свинцовые приемные электроды.

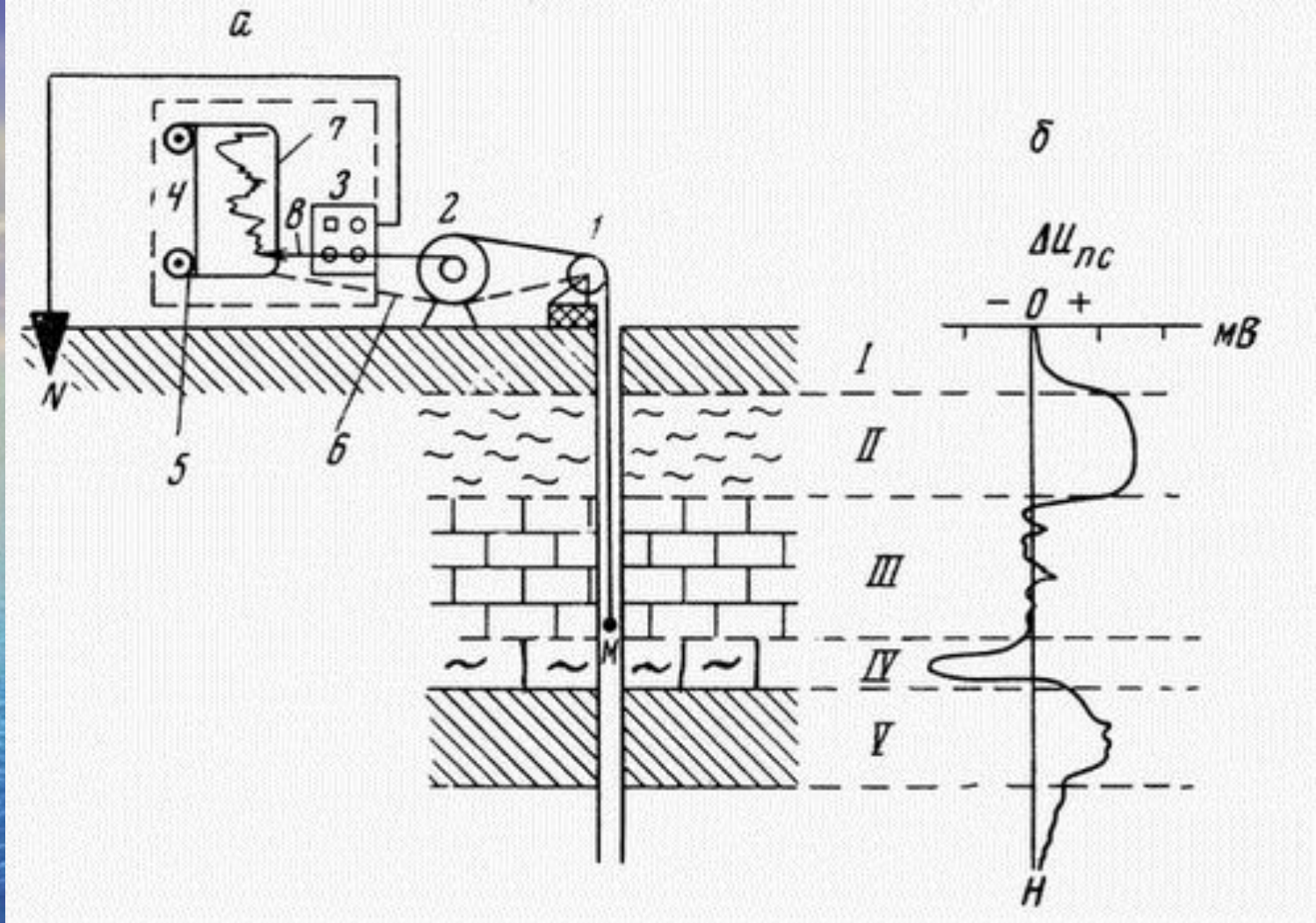


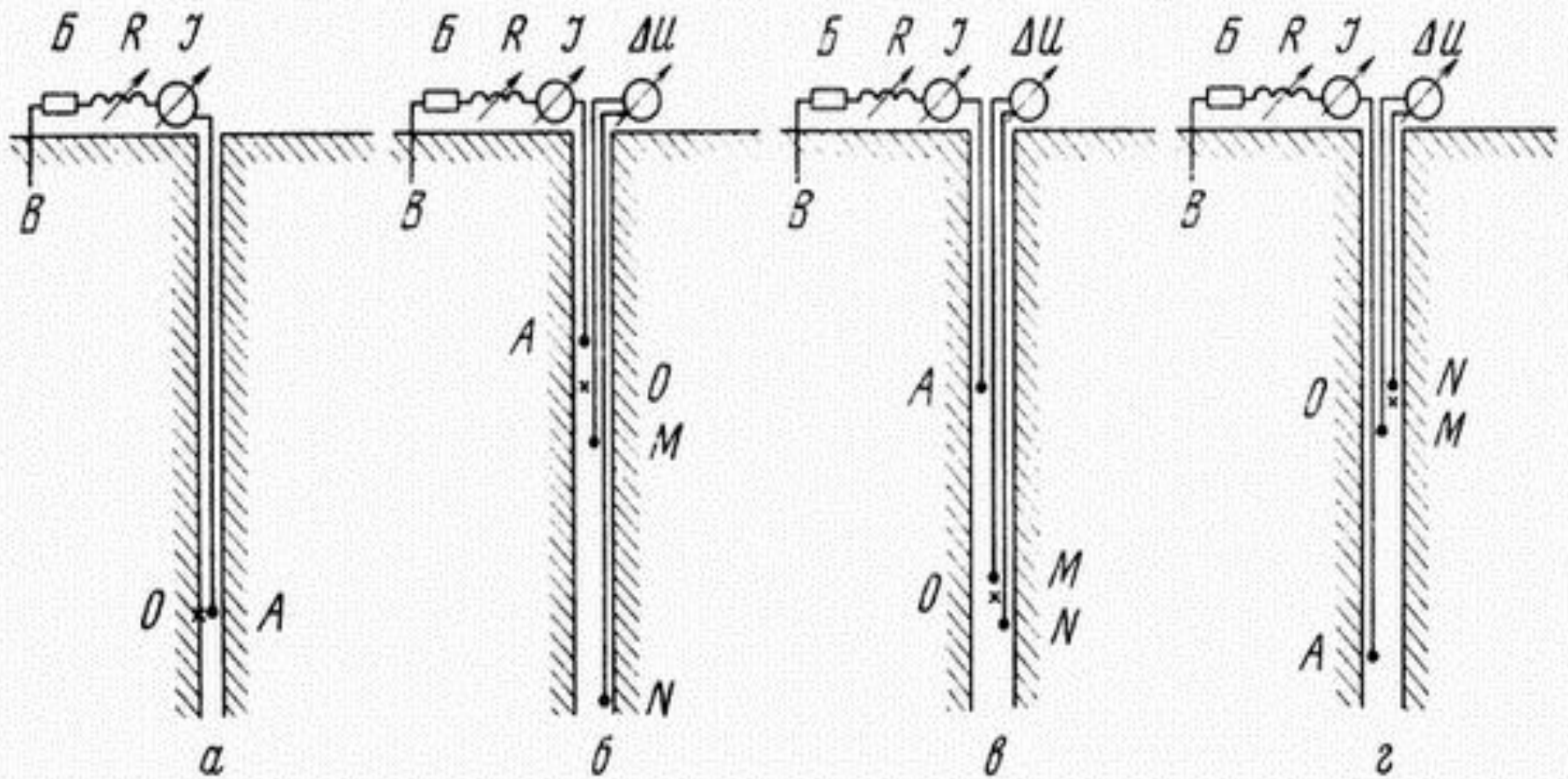
Схема каротажа ПС способом потенциала с полуавтоматической регистрацией: а – схема установки: 1 – блок-баланс, 2 – лебедка с коллектором, 3 – милливольтметр, 4 – регистратор, 5 – лентопротяжной механизм, соединенный гибким валиком (6) с роликом блок-баланса, 7 – диаграммная бумага, 8 – карандаш; б – диаграмма естественных потенциалов по стволу скважины: I (почва) и III (известняки) – пласты со слабой электрохимической активностью, II (суглинки) и V (глины) – пласты с положительными аномалиями ПС, IV – пласт с отрицательной аномалией ПС, характерной для проницаемых слоев

Скважинные исследования методом ПС

служат для расчленения геологических разрезов и корреляции по соседним скважинам отдельных пластов, выявления плохо проницаемых сланцев, глин и хорошо проницаемых песков, пористых известняков, выделения сульфидных, полиметаллических руд, угля, графита, оценки пористости и проницаемости пород.

Метод кажущихся сопротивлений.

Скважинные исследования методом кажущихся сопротивлений (каротаж КС) основаны на расчленении пород, окружающих скважину, по их удельному электрическому сопротивлению (УЭС)



Различные зонды для электрического каротажа скважин: A , B – питающие электроды, $Б$ – батарея или другой источник питания, R – реостат для регулировки силы тока, I – прибор, измеряющий силу тока, MN – приемные измерительные электроды, ΔU – прибор для измерения (регистрации) разности потенциалов, O – точка записи, к которой относят результаты замеров; a – одноэлектродный зонд токового каротажа, $б$ – трехэлектродный потенциал-зонд, $в$ – трехэлектродный подошвенный (последовательный) градиент-зонд, $г$ – трехэлектродный кровельный (обращенный) градиент-зонд

Методика и техника метода КС

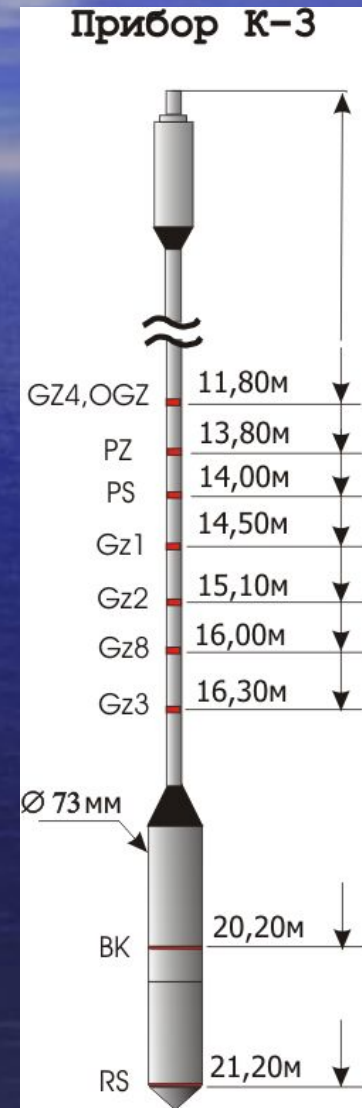
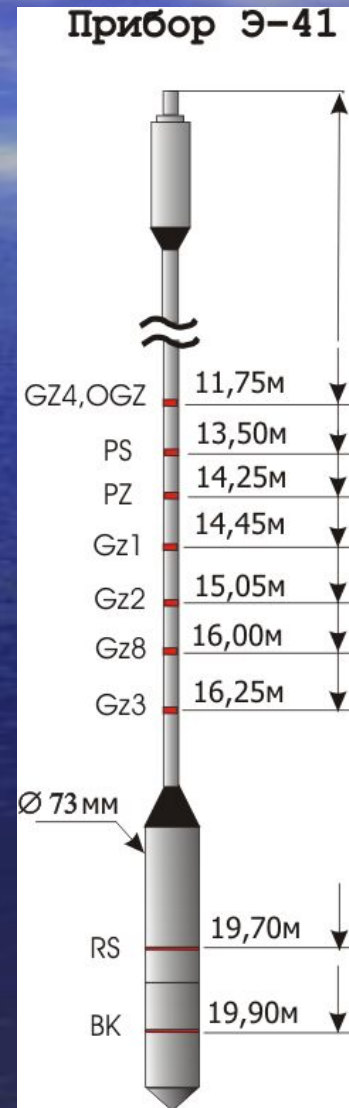
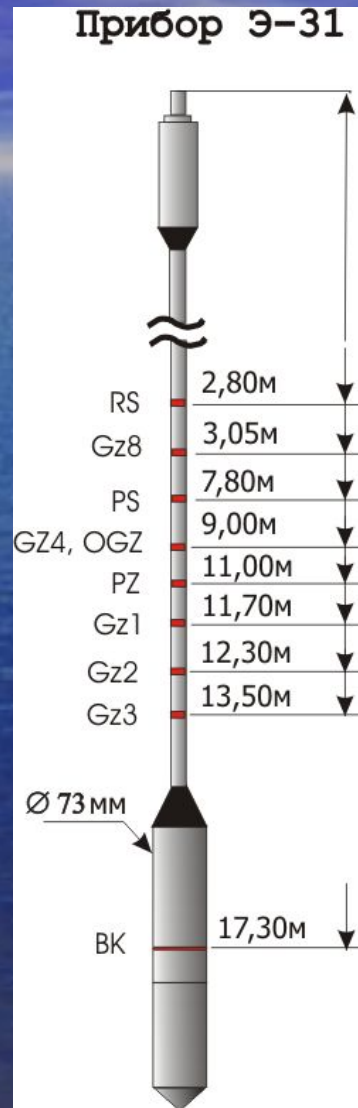
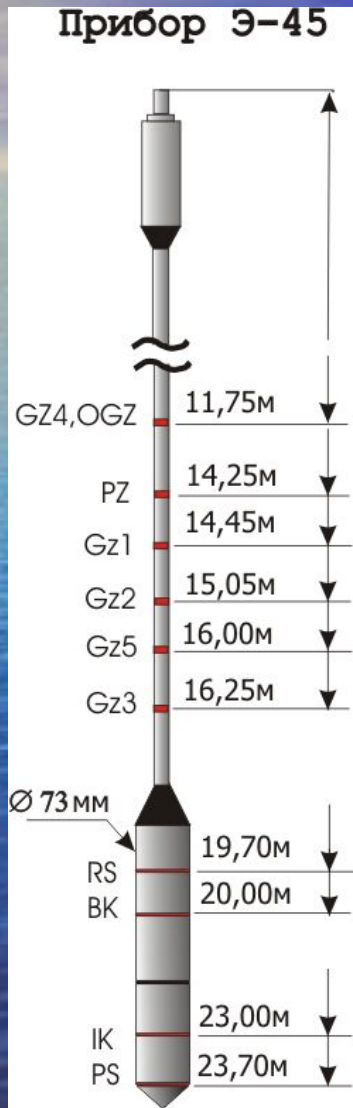
При исследованиях методом КС может регистрироваться либо сила тока (токовый каротаж), либо разность потенциалов. В результате токового каротажа (в сухих скважинах он называется методом скользящих контактов, или МСК) получают токовые диаграммы, характеризующие изменение силы тока по стволу скважины.

Основным видом скважинных электрических наблюдений является измерение КС (ρ_k) по стволу скважины с помощью стандартного зонда с постоянным в данных геологических условиях размером. Стандартный, или оптимальный для изучаемого района зонд обеспечивает наилучшее выделение по кривым КС слоев с разным удельным электрическим сопротивлением. Его вид и размеры зависят от поставленных задач и выбираются опытным путем. Чтобы получить кривую изменения КС по скважине, сила тока I на питающих электродах обычно поддерживается постоянной, а измеренная непрерывная кривая разностей потенциалов ΔU на приемных электродах при постоянной длине зонда является фактически графиком изменения ρ_k . Для перевода кривой ΔU (в милливольтгах) в кривую ρ_k (в Омм) изменяется лишь масштаб записи с учетом величины коэффициента установки и силы тока.

Методика БКЗ

Она сводится к последовательному выполнению работ КС несколькими (5 – 7) однотипными зондами разной длины (например, $AO = 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 7$ м). Проведя измерения зондами разной длины, получаем кажущиеся сопротивления, соответствующие разным радиусам обследования пород вокруг скважины. Для каждого пласта, сопротивление которого необходимо определить, на логарифмических бланках строят кривую БКЗ, т.е. кривую зависимости КС от длины зонда. Кривые БКЗ интерпретируются с помощью специальных теоретических кривых (палеток БКЗ) так же, как это делается при интерпретации ВЭЗ. В результате получают истинное сопротивление пород и оценивают глубину проникновения бурового раствора в среду.

Приборы БКЗ



Интерпретация и область применения метода КС

При токовом каротаже (в том числе МСК) сила тока, стекающего с помещенного в скважину питающего электрода, зависит от удельного сопротивления окружающих пород. Если питающий электрод расположен против хорошо проводящего пласта, то его сопротивление заземления уменьшается, а сила тока увеличивается. Вблизи высокоомных пород сила тока будет уменьшаться. На диаграммах хорошо выделяются лишь пласты с резко отличающимися от вмещающих пород свойствами, например, руды.

Интерпретация данных КС начинается с визуального выделения на диаграммах КС аномалий R_k , по которым определяют глубину залегания слоев с разными удельными электрическими сопротивлениями. Форма и характерные особенности кривых КС определяются не только сопротивлением и мощностью слоев, но и диаметром скважины, минерализацией бурового раствора, радиусом его проникновения в породу (последний зависит от пористости пород и разности давлений жидкости в пласте и стволе скважины), а также типом и размерами зонда, с помощью которого получена диаграмма.

Метод кажущихся сопротивлений, один из основных методов скважинных геофизических исследований, применяется для геологической документации скважин, выделения пластов разного литологического состава, определения их глубины залегания и мощности, оценки пористости и коллекторских свойств пород, выявления полезных ископаемых, в том числе нефтегазоносных и водоносных пластов.

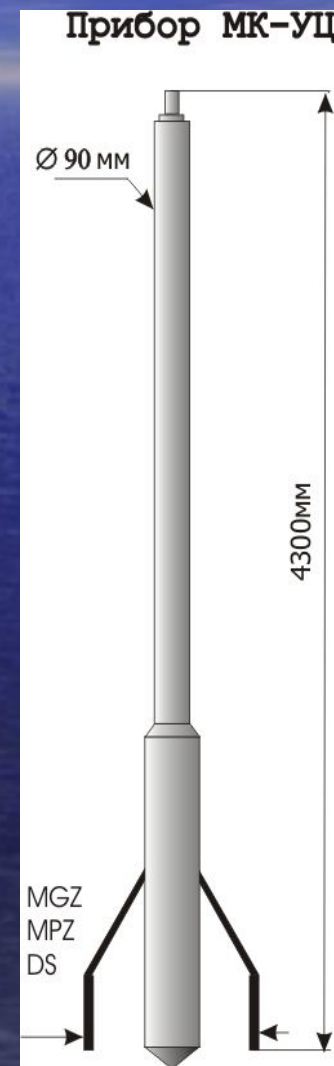
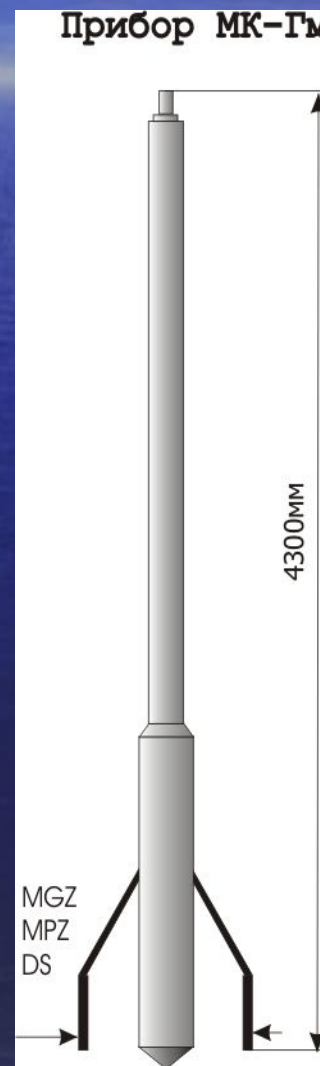
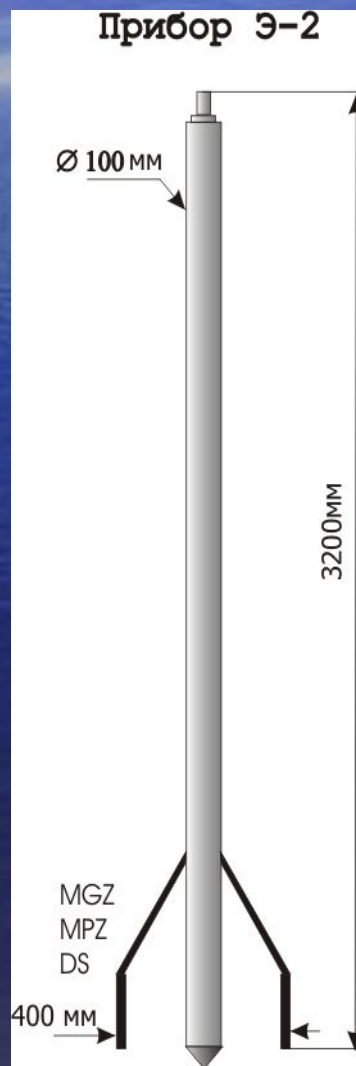
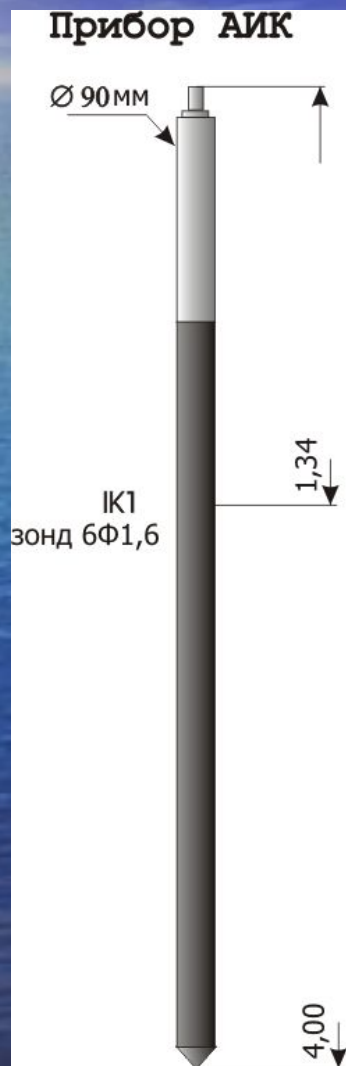
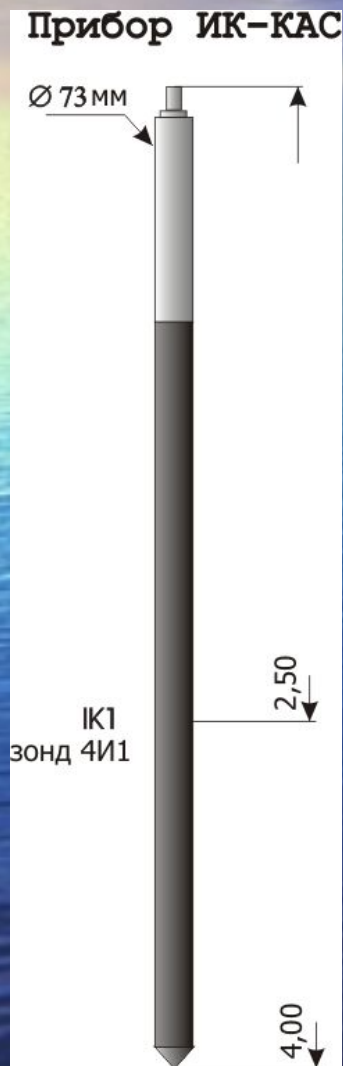
Другие методы электрометрии скважин

К таким методам относятся:

1. Резистивиметрия
2. Метод вызванной поляризации
3. Индукционный метод
4. Диэлектрический метод

Приборы индукционного каротажа

Микрозонды



The background of the slide is a photograph of a sunset over a vast body of water. The sun is partially visible on the left side, creating a bright, colorful glow that transitions from yellow to orange and then to a faint rainbow. The sky is a deep blue with wispy white clouds. The water in the foreground is dark blue with gentle ripples.

Ядерные методы исследования скважин

Методы изучения естественной радиоактивности горных пород в скважинах


На изучении естественной радиоактивности горных пород основан гамма-каротаж (ГК) или гамма-метод (ГМ), являющийся аналогом радиометрии. Работы проводят с помощью скважинных радиометров разных марок. Электрические сигналы, пропорциональные интенсивности гамма-излучения, передаются с них по кабелю в обычную каротажную станцию, где и осуществляется их автоматическая регистрация.

Методы скважинных исследований с искусственным облучением горных пород

В искусственных скважинных методах ядерных исследований изучаются явления поглощения, замедления, рассеяния гамма-лучей и нейтронов, а также вызванное, вторичное радиоактивное излучение. Эти методы являются ядерно-физическими. Для этого в скважину опускается глубинный зонд с источником гамма-лучей или нейтронов, облучающий горные породы. В настоящее время широко используются несколько методов искусственных ядерных исследований в скважинах. Рассмотрим некоторые из них.

Методы скважинных исследований с искусственным облучением горных пород:

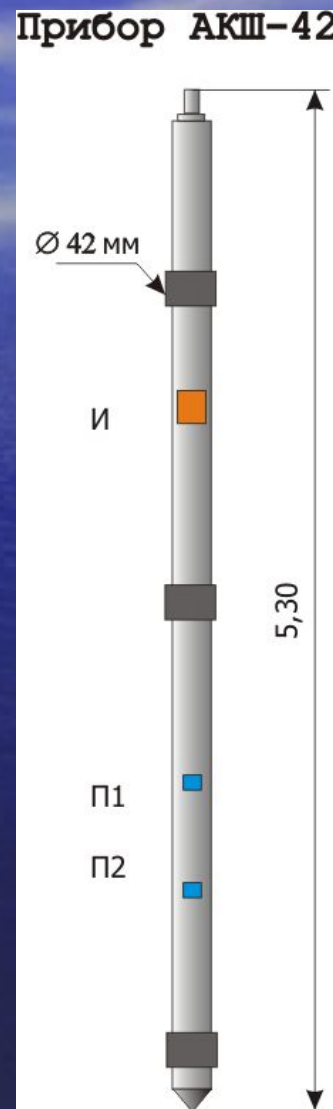
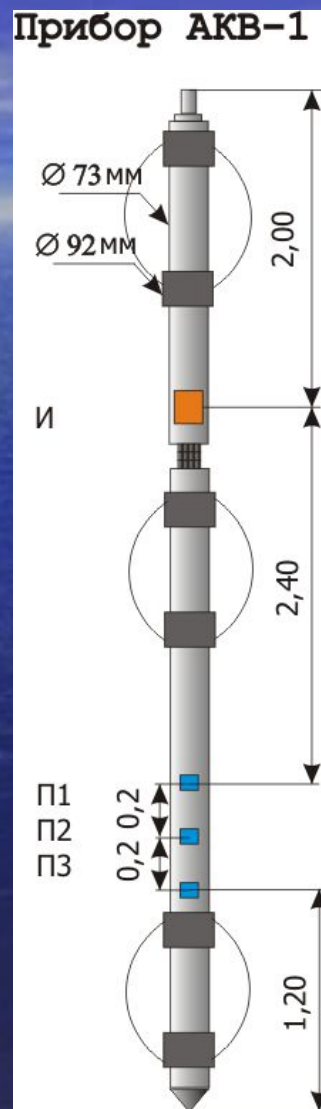
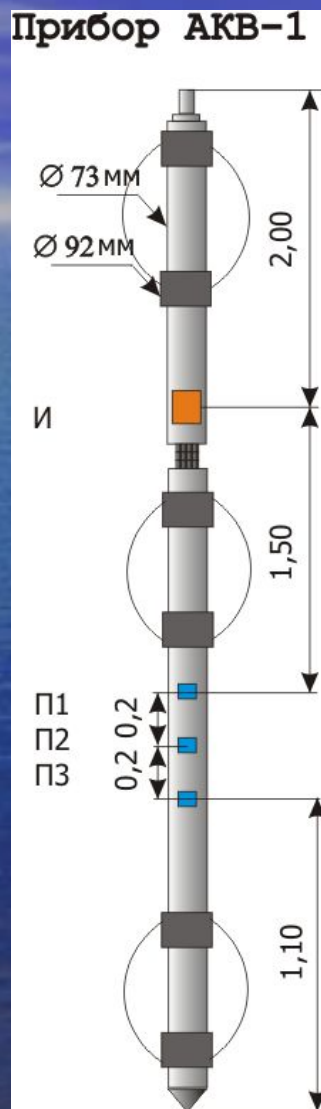
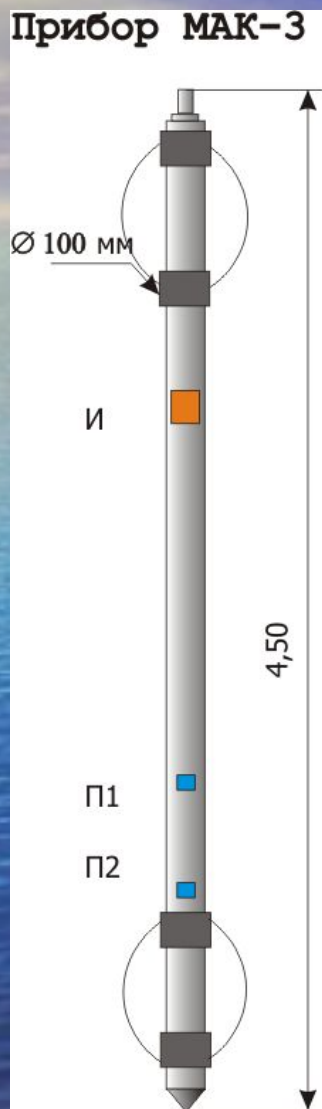
- *гамма-гамма-каротаж (ГГК)*
- *нейтронные методы каротажа*
(нейтрон-нейтронный и нейтрон-гамма каротажи)
- *рентгенорадиометрический каротаж (РРК)*



Сейсмоакустические методы исследования скважин

Сейсмоакустические методы исследования скважин основаны на изучении времени пробега упругих волн по породам, окружающим стенки скважин, от пункта возбуждения до сейсмоприемников. По способу возбуждения упругих волн и частоте колебаний различают сейсмический и акустический методы или виды каротажа.

Приборы акустического каротажа

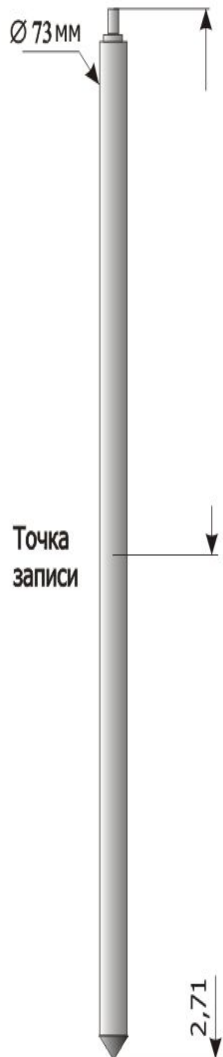


Другие методы геофизических исследований скважин:

- Термический каротаж
- Магнитный и гравитационный скважинные методы
- Кавернометрия
- Инклинометрия

Инклинометры

Прибор ИМММ 73-120/60

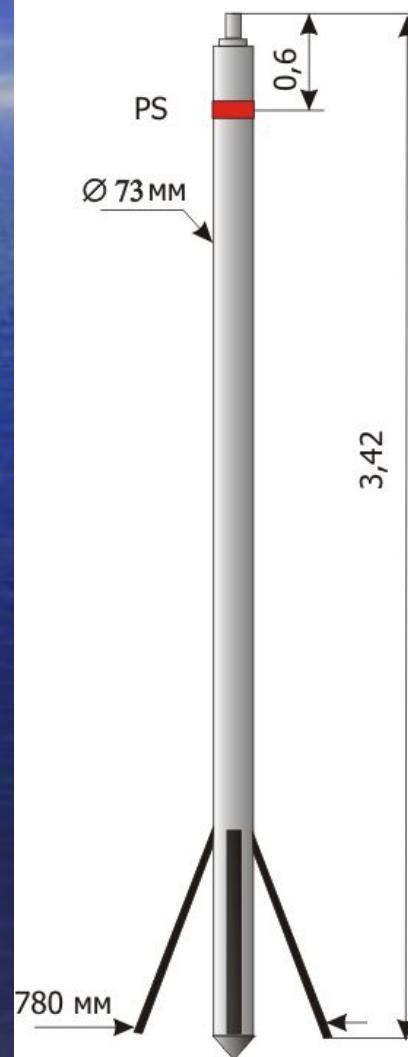


Прибор ИОН-1



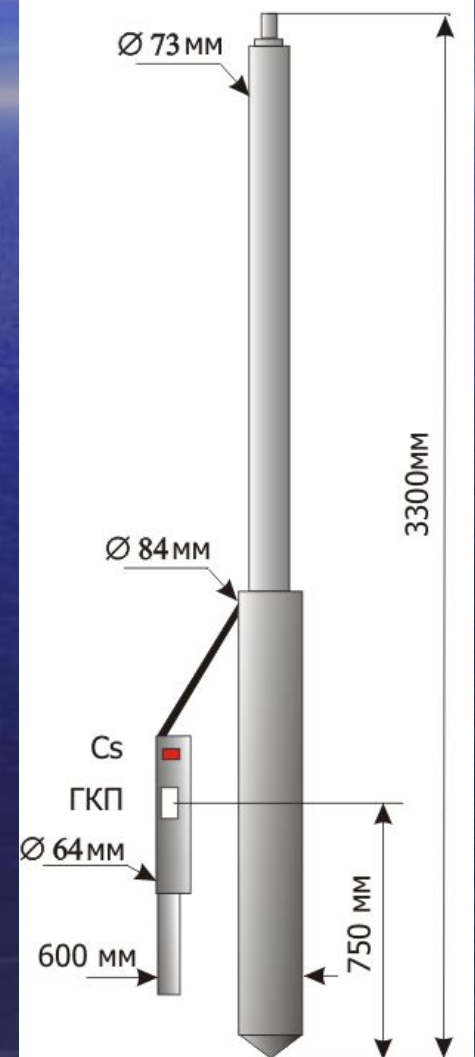
Каверномер

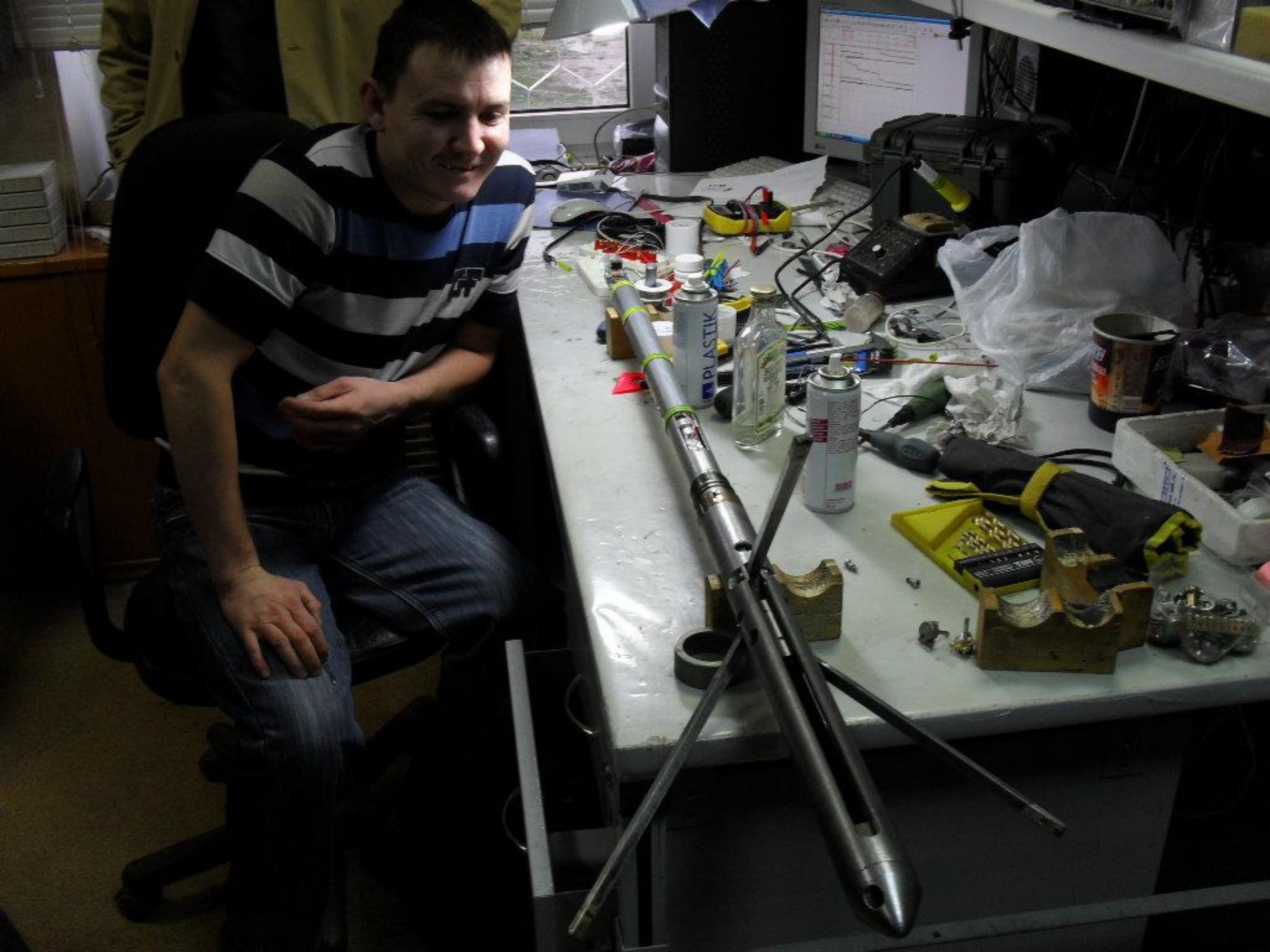
Прибор СКПД-3



Плотномер

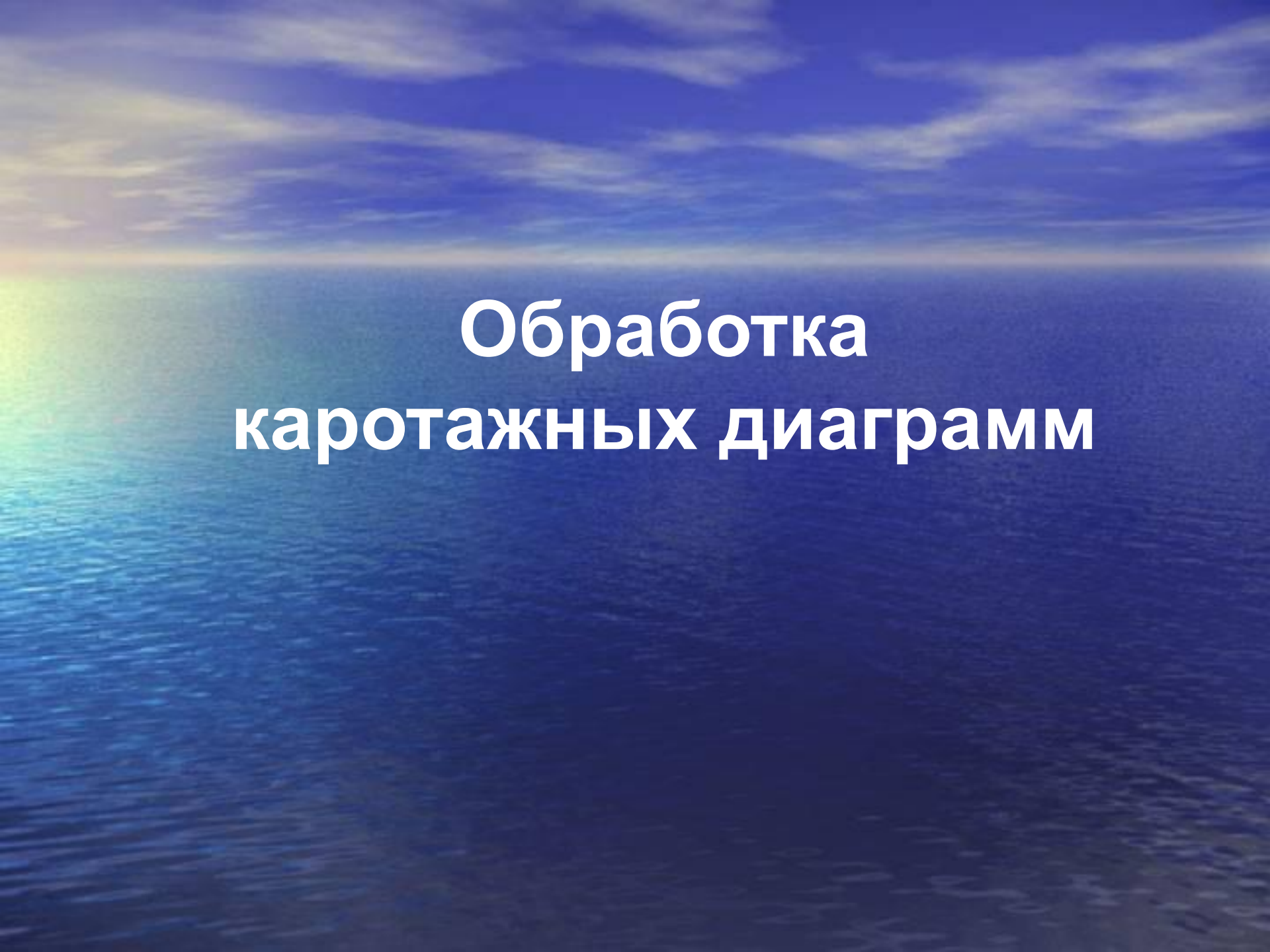
Прибор СГП-73





Перфорация скважин

Для извлечения нефти, газа, подземных вод из пластов, обсаженных трубами, надо пробить отверстие в трубах, чтобы обеспечить доступ жидкого или газообразного ископаемого в скважину, а затем подачу его на поверхность. *Прострелочные работы в скважинах* выполняются с помощью специальных устройств – перфораторов с использованием оборудования обычных каротажных станций. Операция по прострелу колонны обсадных труб производится различными стреляющими устройствами: пулевыми, беспулевыми, кумулятивными, торпедными перфораторами.



Обработка каротажных диаграмм

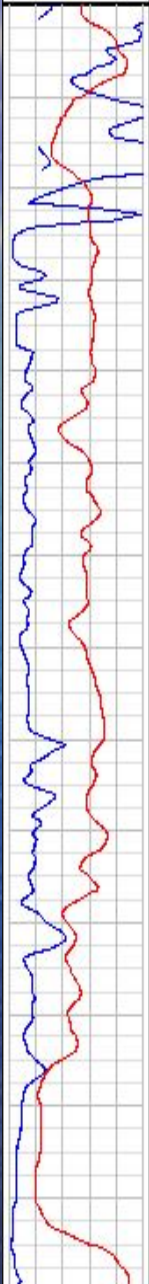
Принципы обработки диаграмм любого метода одинаковы и сводятся к выделению аномалий: максимумов, минимумов, изрезанных интервалов на нормальном фоне. По ним можно определить местоположение пластов, их мощности.

Качественная интерпретация диаграмм ГИС включает как подобную обработку каждой диаграммы, так и их межметодную и межскважинную корреляцию. Количественная геолого-геофизическая интерпретация в каждом методе своя, но наиболее достоверная информация получается при комплексировании нескольких методов.

Наличие одной АКС с большинством зондов создает возможность проводить комплексирование быстро и дешево. Этим ГИС резко отличается от полевых методов геофизики.

M2 0A0 5B

— M2.0A0.5B, O/cm
— IK, мВ



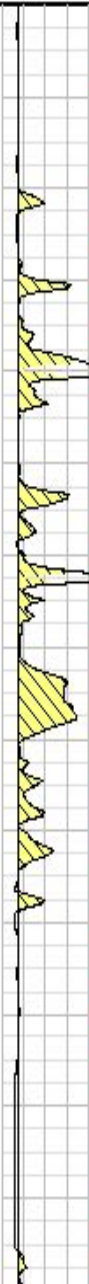
Радиоактивный каротаж

— НК, усл.ед.
— IK, мВ1%



МЭЗ

— МЭЗ, м
— МЭЗ, м



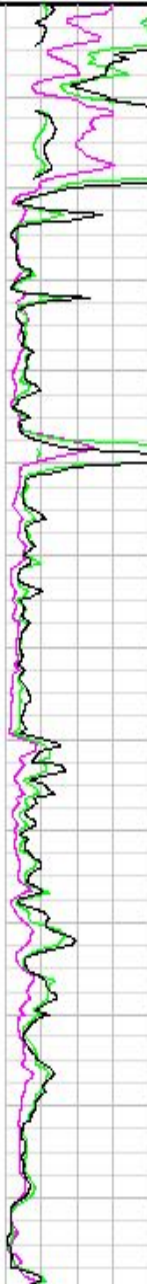
ME3

— M1.0, O/cm
— M1.0, O/cm



ME3 (малый тонус)

— M1.0A0.1B, O/cm
— M1.0A0.1B, O/cm



ME3 (большой тонус)

— M7.0A0.75B, O/cm
— M7.0A0.75B, O/cm



Спасибо за
внимание!



