

**КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра геофизики и геоинформационных технологий

Ш.З.Ибрагимов

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО МЕТОДАМ ЯДЕРНОЙ
ГЕОФИЗИКИ**

Учебно-методическое пособие

Казань-2019

Ибрагимов Ш.З.

Ибрагимов Ш.З. Практические работы по методам ядерной геофизики: учебно-методическое пособие для дисциплины «Ядерная геофизика» (уровень бакалавриат) по направлению 05.03.01 Геология / Ш.З.Ибрагимов. – Казань: Казанский федеральный университет, 2019. – 39 с.

Научный редактор

доктор геол.-мин. наук, проф. КФУ А.С.Борисов

Рецензенты:

канд. геол.-мин.наук, доц. КФУ Д.И. Хасанов

канд. геол.-мин.наук, доц. КФУ Б.Г. Червиков

Представлены шесть практических работ по различным методам ядерной геофизики, которые проходят на IV курсе бакалавриата по курсу "Ядерная геофизика". Первая работа посвящена комплексной интерпретации результатов авиа-гамма-спектрометрии и магниторазведки. Остальные пять работ посвящены интерпретации методов ядерной геофизики: интерпретация данных рентген - радиометрического метода в скважинном и полевом вариантах; гамма-гамма методы селективного и плотностного модификаций; интерпретация результатов нейтрон – активационного анализа. В каждой работе дается физическое обоснование методов, приведены контрольные вопросы.

Варианты работ определяются различными интервалами интерпретации данных по скважине (или различными участками площади исследований). В конце каждой работы имеются вопросы, на которые студенту необходимо ответить перед выполнением задания.

©Казанский федеральный университет, 2019

©Ибрагимов Ш.З., 2019

Содержание

Работа 1.	Геологическая интерпретация результатов аэро-гамма-спектрометрии и наземной магниторазведки	4
Работа 2.	Применение методов ядерной геофизики и рудного каротажа при поисках олова	8
Работа 3.	Применение метода РРК на медно-никелевом сульфидном месторождении	15
Работа 4.	Комплексная интерпретация результатов ядерно-геофизических методов при исследовании угольных месторождений	21
Работа 5.	Использование рентгенрадиометрического метода (РРМ) при проведении поисковых работ на полиметаллическом месторождении	30
Работа 6.	Применение ядерно-физических методов каротажа при поисках калийных солей	33

Работа 1.

Геологическая интерпретация результатов аэрогамма-спектрометрии и наземной магниторазведки.

Цель работы: овладеть первичными навыкам комплексной геолого-геофизической интерпретации. Геофизическими данными являются карты аномалий магниторазведки и аэрогадиометрии.

В одном из районов Горного Алтая была проведена геологическая съемка масштаба 1:50000. В результате шлихового опробования и проведения металлогенической съемки были намечены перспективные территории на поиски полиметаллов и рудного золота.

На перспективных территориях была проведена аэромагнитная и аэрогаммаспектрометрическая съемки масштаба 1:25000. Выделенные аэромагнитной съемкой перспективные участки были заверены наземной магниторазведкой масштаба 1:10000.

На рисунке 1 показана геологическая схема одного из перспективных участков «Красноярское». На рис.2 показана карта магнитных аномалий, полученная в результате интерпретации данных наземной магниторазведки. На рис.3 и 4 показаны карты аномалий содержания в горных породах урана и тория.

На геологической схеме видно, что южнее участка «Красноярское» протекает река Красноярка. В долина р.Красноярки развиты осадочные образования (на схеме показаны светлой окраской). Сам участок «Красноярский» расположен на возвышенности, которая является водоразделом двух рек, о чем свидетельствуют многочисленные ручьи. Участок «Красноярский» простирается с северо-запада на юго-восток вдоль р.Красноярка. Возраст пород, слагающих участок «Красноярский», относится к нижнему - среднему девону, живетский – эмсский яруса.

Участок сложен магматическими интрузивными породами 1 и 3 фаз внедрения. Границы участка обрамлены интрузивными породами 1 фазы внедрения. Породы 3 фазы внедрения перекрывают породы 1 фазы внедрения. В последний этап магматической активности образовались многочисленные тектонические разрывы, пересекающие породы 1 и 3 фаз внедрения, иногда со смещением пород по тектоническому нарушению.

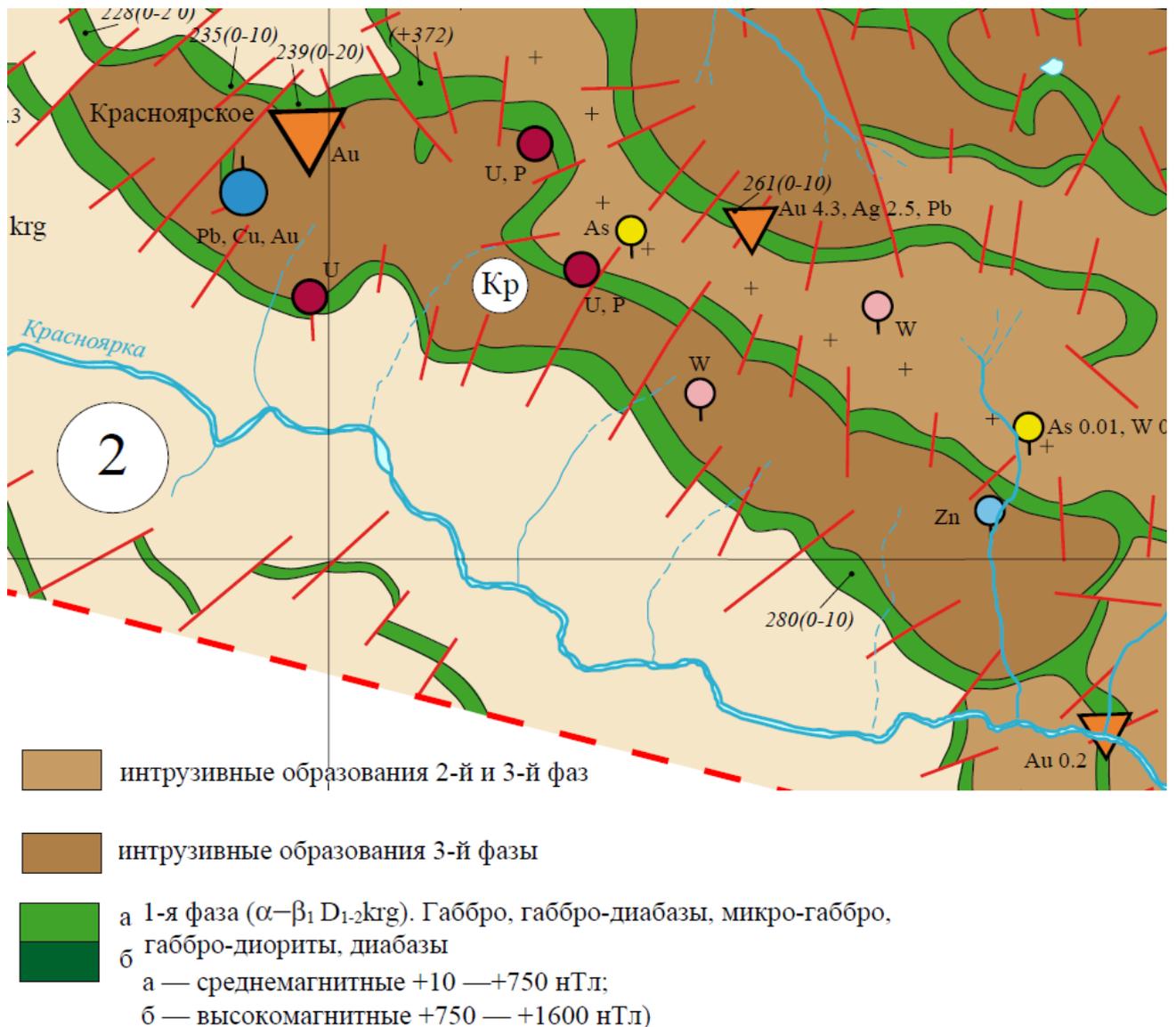


Рис.1. Геологическая схема участка «Красноярский». Пояснения в тесте.

Вероятно, что все проявления полезных ископаемых обусловлены постмагматическими тектоническими нарушениями – все проявления приурочены к сочленениям или окончаниям тектонических разрывов.

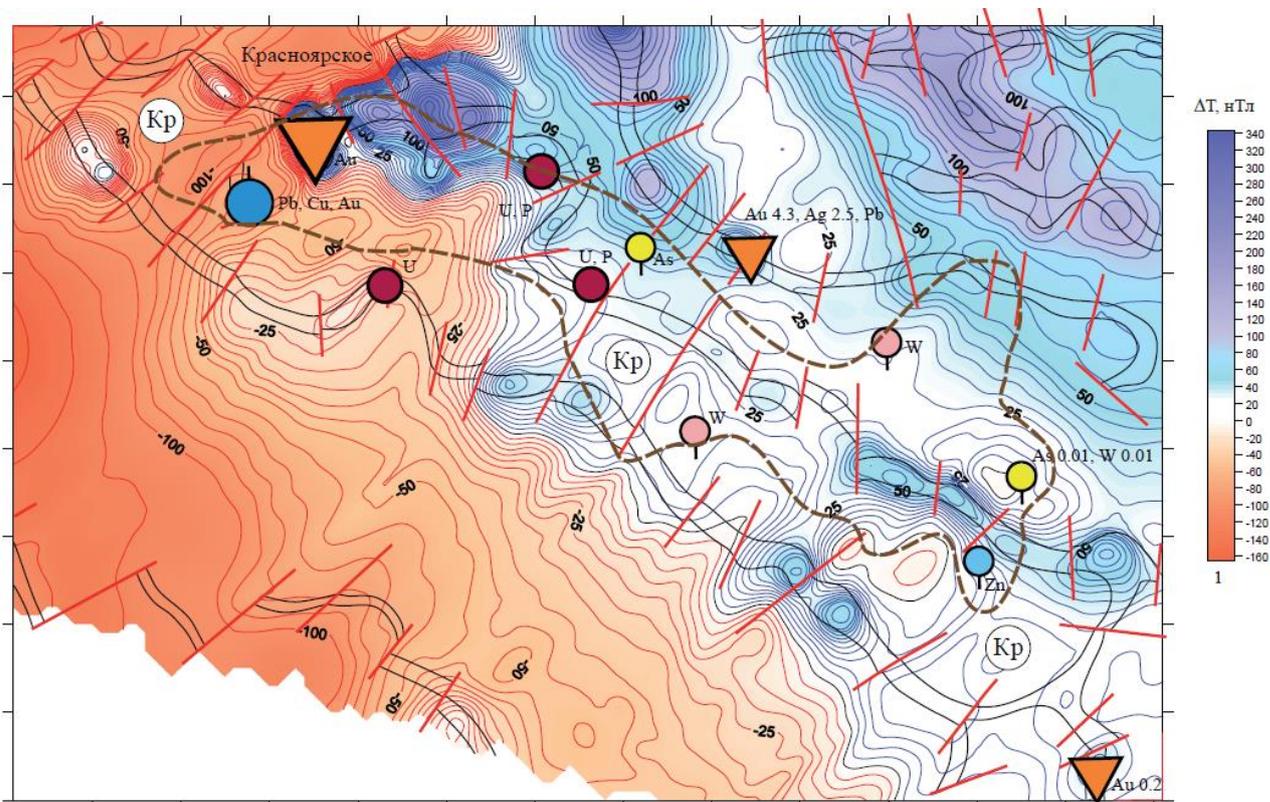


Рис.2. Карта магнитных аномалий участка «Красноярский».

Задание по работе 1:

1. Записать закономерность распределения магнитных свойств в магматических горных породах.
2. Записать закономерность распределения содержания естественных радиоактивных элементов в магматических горных породах.
3. Распечатать карту магнитных аномалий и вынести на эту карту контуры участков с повышенным содержанием урана и тория.
4. Провести совместную геологическую интерпретацию данных магниторазведки и данных гамма-спектрометрии. Дать заключение о природе магнитных и радиометрических аномалий, как они связаны с полезными ископаемыми.

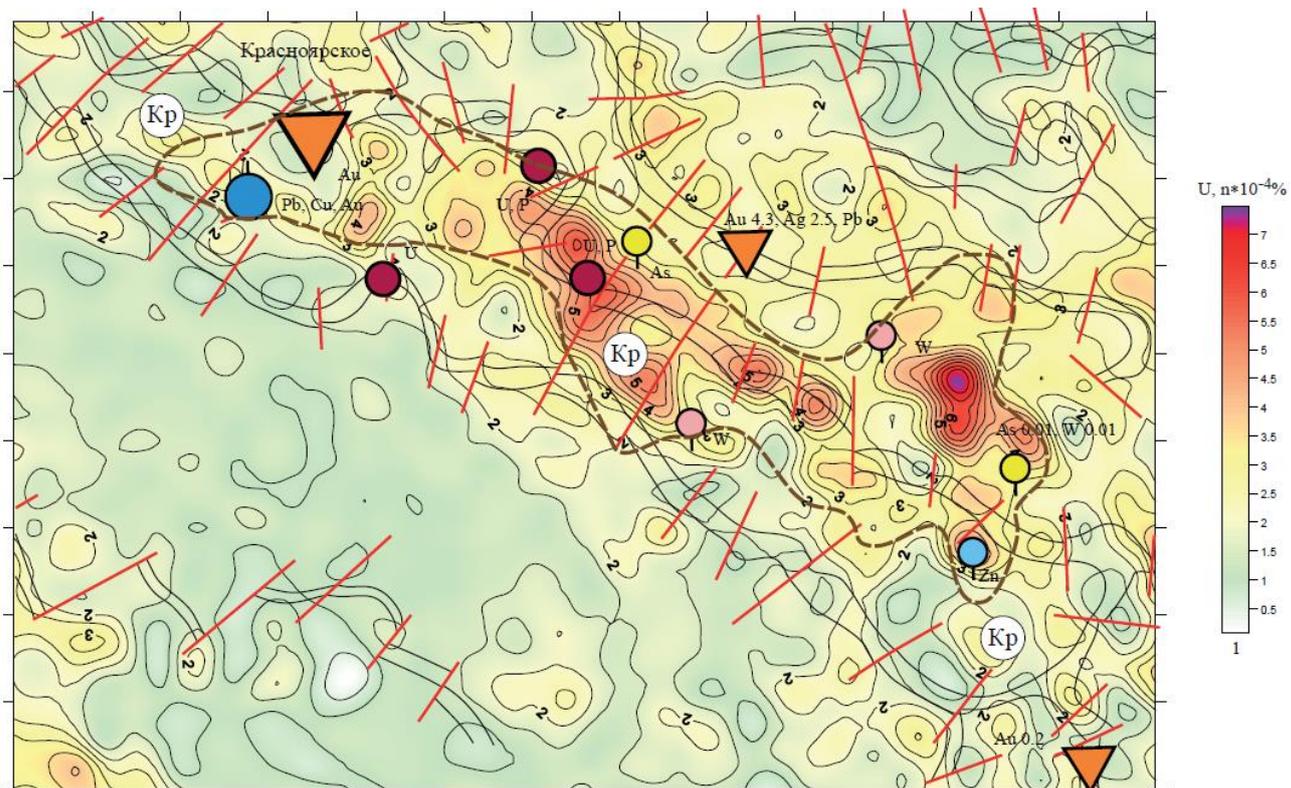


Рис.3. Карта распределения содержания урана на участке «Красноярский»

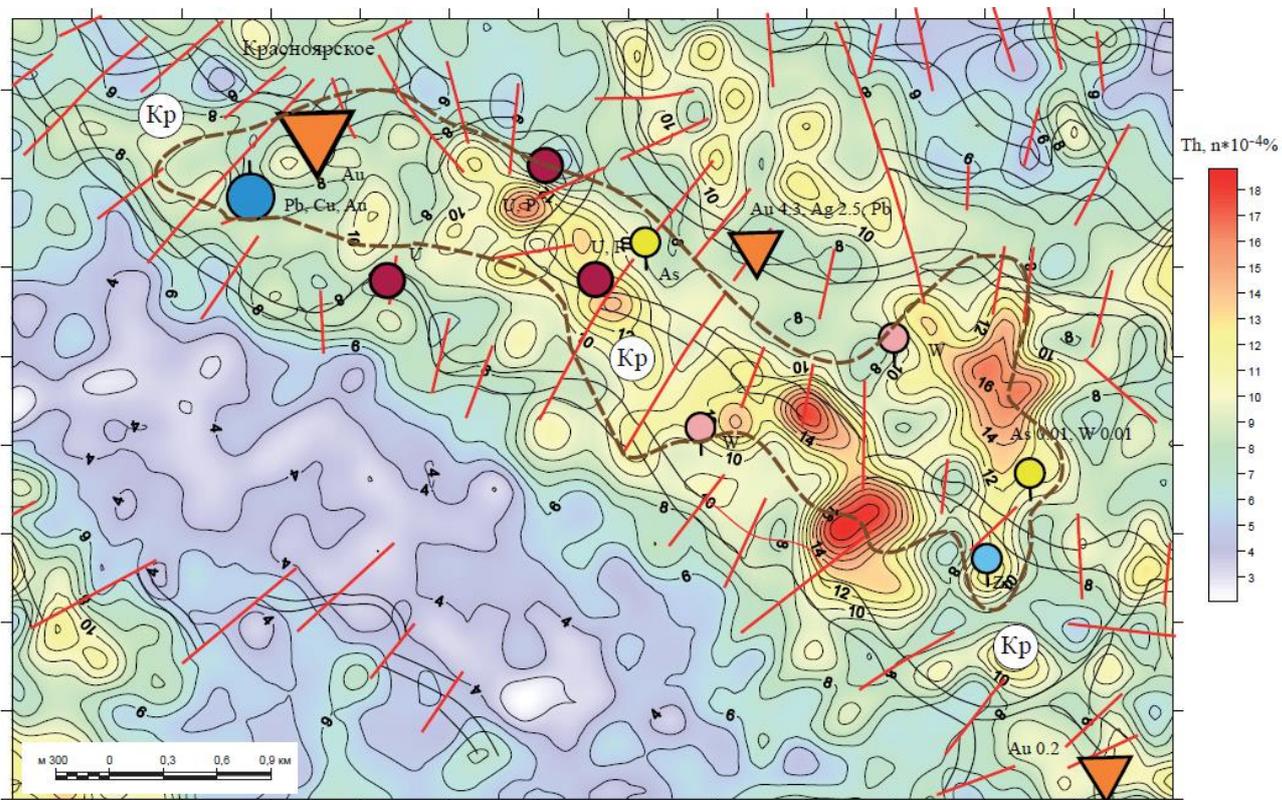


Рис.3. Карта распределения содержания тория на участке «Красноярский».

Вопросы:

1. Какова закономерность распределения магнитных свойств в магматических горных породах.
2. Какова закономерность распределения содержания естественных радиоактивных элементов в магматических горных породах.
3. Какие существуют этапы интерпретации геофизических данных
4. На каком этапе интерпретации получены карты аномальных полей магниторазведки и распределения содержаний радиоактивных элементов.
5. Классификация магматических пород
6. На каких принципах основано комплексирование геофизических данных

Работа 2

Применение методов ядерной геофизики и рудного каротажа при поисках олова

Цель работы: приобретение навыков первичной обработки данных ренгенрадиометрического каротажа на рудных месторождениях.

Большинство промышленных месторождений олова обусловлены кассетерит-сульфидным и кассетирит-кварцевым орудинениями. Эти месторождения связаны с кислыми интрузивными породами (гранитами), концентрируются в узлах пересечения глубинных разломов и размещены в апикальных частях интрузивных массивов, особенно в их куполах. Минеральный состав руд – кассетирит (SnO_2), реже станнин (CuFeSnS_4) и другие оловосодержащие минералы; сульфиды представлены галенитом (PbS), сфалеритом (ZnS), халькопиритом (CuFeS_2), пирротинном ($\text{FeS}_{1,2}$),

пиритом (FeS_2). Формы рудных тел – минерализованные трещины и жилы, штокверки. Гидротермальные изменения рудовмещающих пород выражены пропилитизацией, окварцеванием, турмалинизацией. Метасоматоз проявлен на отдельных месторождениях в виде оловоносных скарнов с минералами железа.

Оловоносные граниты и песчаники имеют низкую магнитную восприимчивость ($\chi < 35 \cdot 10^{-5}$ ед.СИ), остаточную намагниченность ($Q < 0.2$) и пониженную плотность ($2.56 - 2.59$ г/см³). У руд кассетирит-кварцевой формации плотность составляет всего $2.65 - 2.7$ г/см³. Электропроводность руд зависит от соотношения содержаний основных рудных и жильных минералов: при незначительном количестве сульфидов и магнетита удельное электрическое сопротивление (УЭС) пород колеблется в пределах $10^3 - 10^6$ Ом*м, при большом содержании сульфидов УЭС понижается до $10 - 100$ Ом*м.

На кварц-кассетиритовых месторождениях олова благодаря присутствию в рудах пьезоэлектриков (кварца, турмалина) эффективно применение пьезоэлектрического метода для обнаружения и оконтуривания пьезоактивных объектов в околосокважинном пространстве (поисково-оценочные работы), определения пространственного положения и размеров пьезоактивных рудно-кварцевых тел в межскважинном пространстве. Используется модификация «скважина – поверхность», потому что невозможно возбуждение интенсивных упругих колебаний в скважине.

Из методов каротажа в комплексах представлены КС, ПС, МЭП, МСК, ГК, модификации ГГК (плотностной и селективный методы), РРК, кавернометрия и инклинометрия. С помощью методов КС, ГК, МСК ведется расчленение разреза по литологическому составу с выделением зон кварц-кассетиритной минерализации (рис.1). Не всегда рудные

подсечения четко фиксируются ГГКП вследствие малого различия плотностных свойств минерализованных пород и оруденения. Данная задача более просто решается только для богатых руд, избыточная плотность которых достигает $0.5 - 1.0 \text{ г/см}^3$. Поэтому в комплекс обязательно включается рентгенрадиометрический каротаж (рис.2), где по энергии характеристических фотонов определяются элементы, а по количеству характеристических фотонов определяется содержание в процентах. Это позволяет с помощью РРК не только выделять рудные интервалы, но и определять промышленные содержания олова, превышающие 0.1% с относительной погрешностью измерения 15%. Мешающими факторами при определении содержания олова методом РРК являются переменные содержания Ва, Sm, Pb, W и кавернозность стенок скважины. Методика проведения РРК – способ спектральных отношений по К-серии олова (25 кэВ) и участку рассеянного излучения с энергией 37 кэВ. По точности анализ РРМ не уступает химическому анализу III класса, т.е. данные РРК о содержании олова пригодны для подсчета запасов. Недостаток метода РРК – небольшая глубинность исследований (несколько миллиметров).

Задание

1. На основании данных каротажа (рис.1) провести литологическое расчленение разреза. Сопоставить с геологической колонкой, полученной в результате описания керна. Легенда для геологической колонки дана на рис.2.
2. На рис.2 приведены: I – метраж скважины; II – геологическая колонка (по описанию керна); III – выход керна по данным бурения; IV – результаты поинтервального опробования керна (химанализ) на содержание олова; V – данные проведения РРК.
Необходимо:

- по данным РРК выделить интервалы рудной минерализации и сопоставить с данными геологического опробования;
- по диаграмме РРК на безрудных интервалах (рис.4) определить минимальное содержание олова, которое можно выделить по данным РРК (порог обнаружения);
- определить среднее значение параметра η по каждому выделенному рудному интервалу. Используя эталонировочный график (рис.3), пересчитать значения η каждого выделенного интервала на содержание олова;
- определить относительную погрешность определения содержания олова по данным РРК и опробования керна с учетом и без учета коррекции интервалов опробования керна;
- сделать выводы о причинах несовпадения определения содержания олова по данным опробования керна и РРК.

Вопросы:

1. Принцип выделения аномального поля и порога определения концентрации рудного элемента
2. Методика спектральных отношений
3. Требования, предъявляемые к эталонам для построения эталонировочной кривой
4. Что такое колонковое бурение и керн скважин
5. Причины не совпадения границ рудных интервалов, выделенных по керну скважин, и выделенных по каротажным кривым
6. Оценить информативность выделения рудных зон методами стандартного каротажа и по данным метода РРК

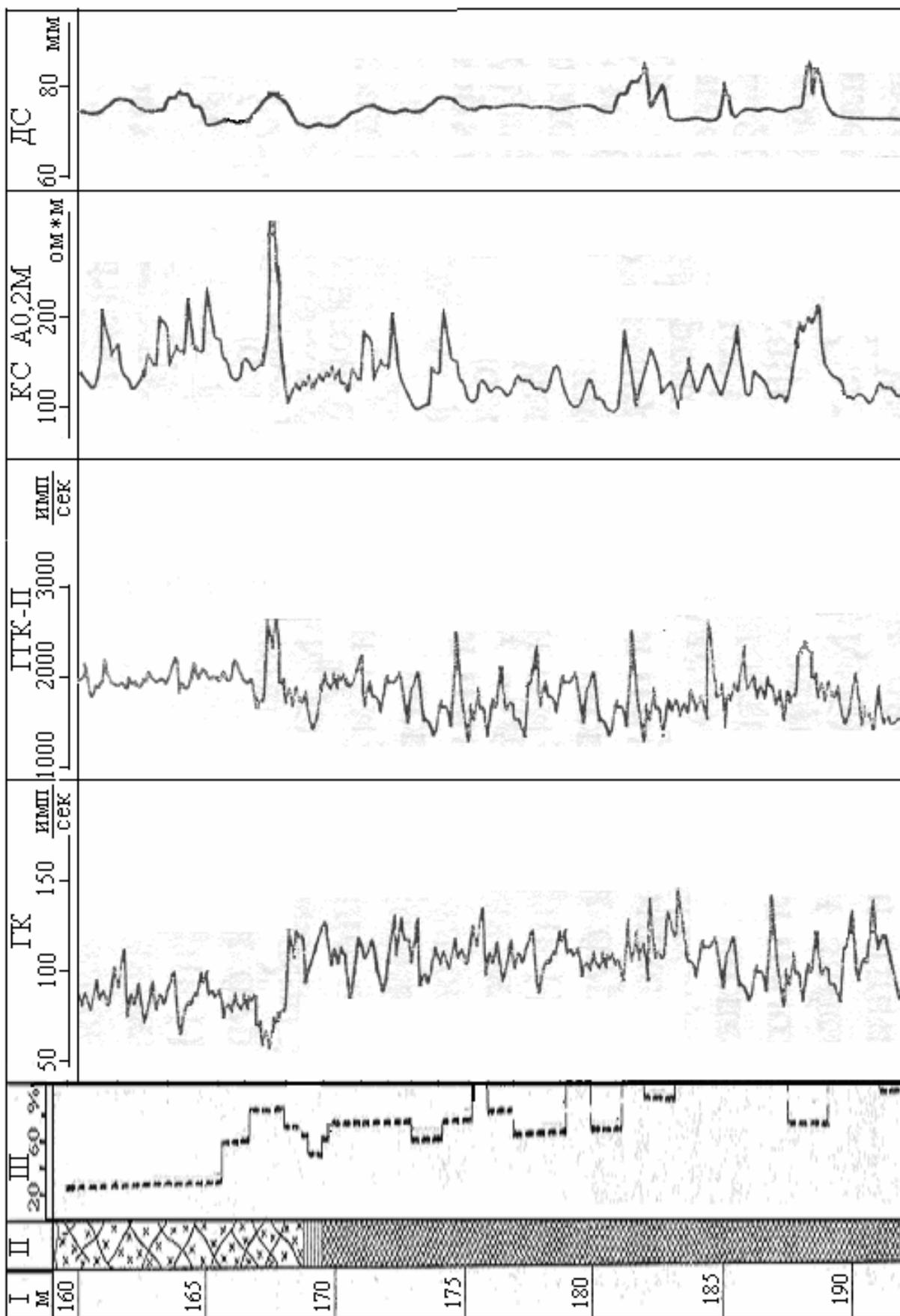
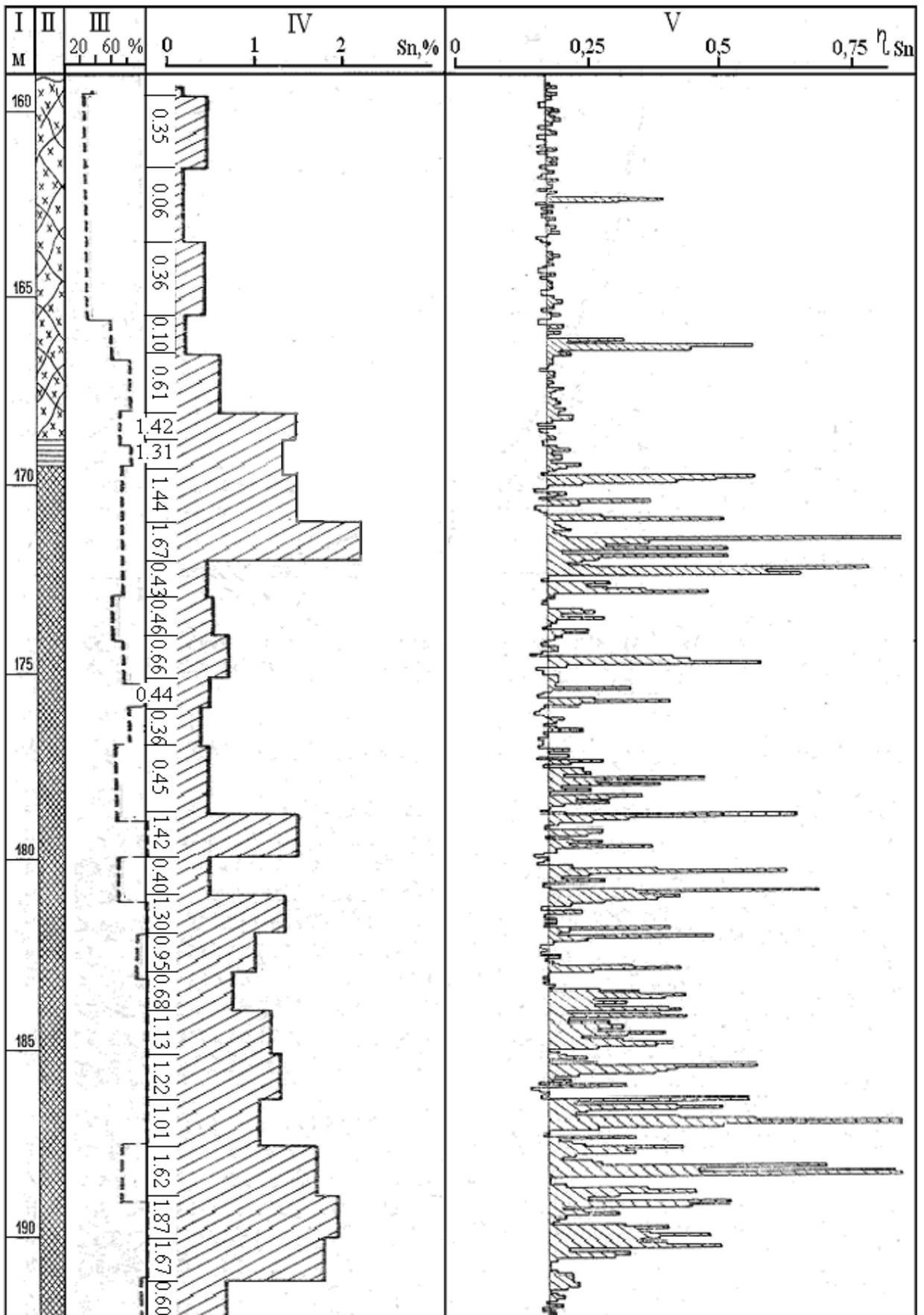


Рис.1 Методы стандартного каротажа по скважине с кварц-касситириным оруденением.



 песчаник
  кварц-турмалиновая жила
  роговик

Рис.2. Данные опробования керна и диаграмма РПК.

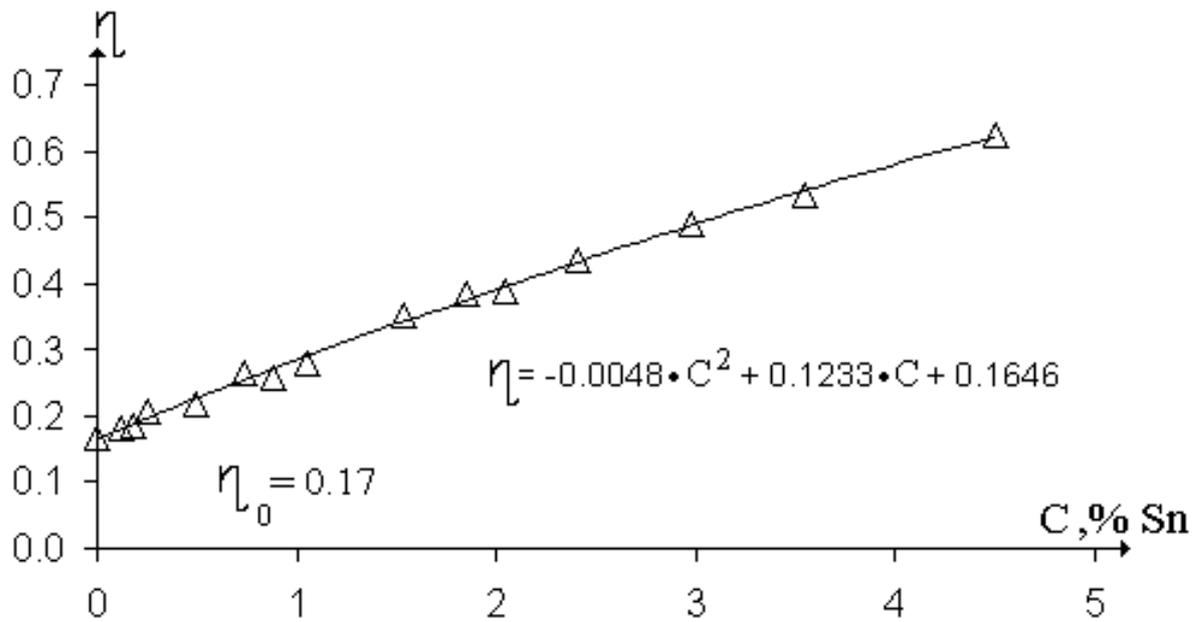


Рис.3. Эталонировочная кривая для перевода значения η в содержание олова.

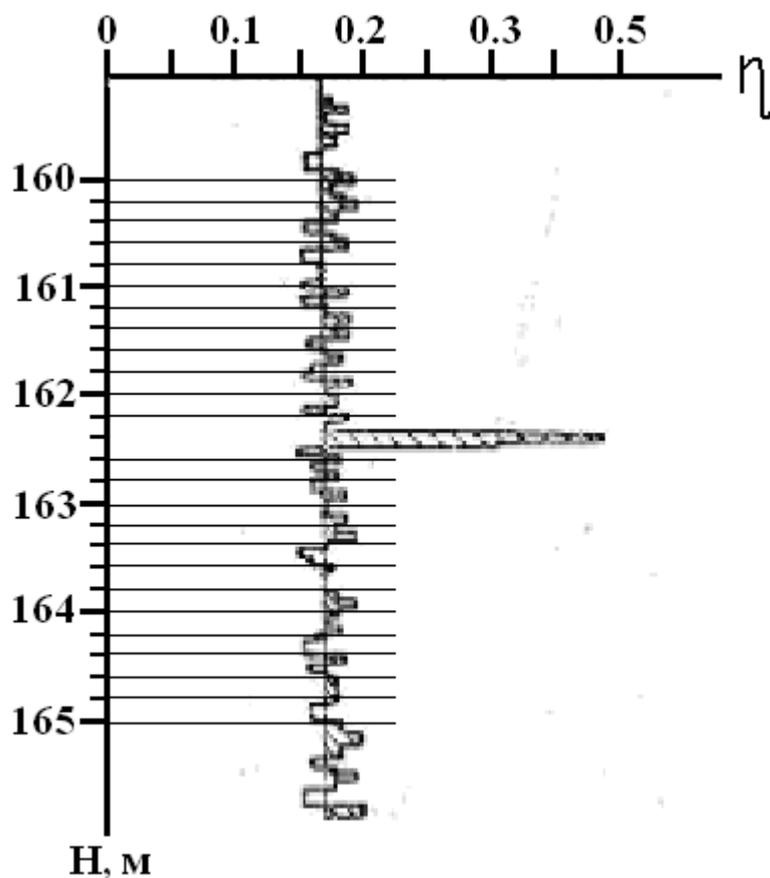


Рис.4. Нерудный интервал (нормальное поле) на диаграмме РРК для вычисления порога определения.

Работа 3

Применение комплекса методов каротажа совместно с методом РРК на медно-никелевом сульфидном месторождении

Цель работы: опыт получения конечных результатов интерпретации данных ренгенрадиометрического каротажа для технологической обработки руды на обогатительной фабрике.

Месторождения медно-никелевых сульфидных руд пространственно и генетически связаны с интрузивными массивами основного и ультраосновного состава (Карело-Кольский регион) и с дифференцированными интрузиями от кислого до ультраосновного состава (Норильский рудный район). Сингенетические месторождения с вкрапленными рудами располагаются обычно в приподошвенной части сильно дифференцированных интрузивов и представлены залежами относительно правильной формы. Эпигенетические месторождения с массивными сплошными сульфидами, богатой сульфидной брекчией или густой мелкозернистой вкрапленностью залегают в виде: краевых мощных залежей в лежащем боку материнских интрузивов, пологопадающих, плитообразных или линзовидных залежей, приуроченных к тектоническим швам, а также жил разной формы и падения.

В состав руд входят: пирротин ($\text{FeS}_{1,12}$), пентландит $[(\text{Ni},\text{Fe})_9\text{S}_8]$, халькопирит (CuFeS_2), присутствуют также магнетит (Fe_3O_4), пирит (FeS_2), титаномагнетит $[(\text{Fe},\text{Ti})_3\text{O}_4]$, ильменит $[(\text{Fe},\text{Ti})_2\text{O}_3]$, палладий (Pd), и платина (Pt). Соотношение содержания в рудах Ni/Cu от 2 до 0.5; содержание никеля варьирует в пределах от 0.5 до 5 %, меди – от 1 до 20%.

Вмещающие породы и руды относительно хорошо дифференцированы по физическим свойствам:

- Массивные, брекчированные руды имеют электронную проводимость и низкие значения удельного электрического сопротивления (УЭС) – от 0.1 до 10 Ом*м, у вкрапленных руд оно может доходить до нескольких сотен Ом*м. Поляризуемость сульфидных руд может достигать $n*10\%$. Интрузивные образования ультраосновного и основного состава обладают большими значениями УЭС: ультраосновные от 1000 до 5000 Ом*м, основные – до нескольких десятков тысяч Ом*м. Сопротивление пород, вмещающих интрузивы: филиты и туффиты – $n*10 \div n*100$ Ом*м, гнейсы – $(1\div 15)*10^3$ Ом*м, эффузивы – $(5\div 20)*10^2$, осадочные – $(2\div 6)*10^2$ Ом*м.
- Плотность массивных руд колеблется в пределах $4.0 \div 4.45$ г/см³, основных изверженных пород и амфиболов 2.78 \div 3.07 г/см³, ультраосновных пород $3.05 \div 3.20$ г/см³, гнейсов и гранитов $2.60 \div 2.86$ г/см³, осадочно-эффузивных образований $2.70 \div 2.93$ г/см³.
- Магнитная восприимчивость сульфидных руд колеблется в широких пределах – $(1250 \div 12500)*10^{-5}$ ед.СИ, она обусловлена присутствием в рудах таких ферромагнитных минералов как магнетит, пирротин, титаномагнетит, ильменит. У интрузивных ультраосновных пород χ варьирует в пределах $(500 \div 25000)*10^{-5}$ ед.СИ, у основных пород $(125 \div 2500)*10^{-5}$ ед.СИ. граниты, гнейсы, филлиты, туфы, осадочные породы обладают невысокой магнитной восприимчивостью $(50 \div 750)*10^{-5}$ ед.СИ или практически немагнитны. У магматических пород нередко проявляется значительная остаточная намагниченность.
- Породы сульфидных месторождений четко различаются по скорости распространения упругих колебаний. В гранитах и гнейсах скорость $5500 \div 6000$ м/сек, амфиболов и ультраосновных

пород $6200 \div 7000$ м/сек, вмещающих породах осадочного комплекса и филлитов $5400 \div 6000$ м/сек .

Методы каротажа на медно-никелевых месторождениях зависят от стадии поисково-разведочных работ. При поисковых работах ограничиваются использованием сочетания КС, ПС, ГК и КМВ для расчленения разреза скважины и обнаружения магнетит-пирротиновой и сульфидной минерализации. При поисково-оценочных работах этот комплекс дополняется МЭП, МСК и ГГК для выявления, главным образом, рудных интервалов, определения глубины их залегания и мощности, выделения сплошных массивных руд среди минерализованных пород. В комплексе разведочных работ ведущую роль играют ядерно-физические методы (СНГК и РРК), в комплексе остаются КС (или ТК), МЭП, ГК и КМВ. Дополнительно в комплекс может быть включен ЭМК, который позволяет получать дополнительную информацию по проводимости, благодаря чему удается выделить вкрапленные руды в толще проводящих филлитов.

Задание:

1. Провести расчленение разреза по данным ГИС. Уточнить геологическое описание керна, при необходимости дополнить его, уточнить литологические границы, выделенные по описанию керна.
2. Используя данные комплекса ГИС, охарактеризовать минералогический состав рудной зоны, знание которого необходимо для выбора технологии обогащения руды.

Дополнение

Показан пример расчета содержания кальция (Ca) в известняке (CaCO_3). Атомный вес кальция $A_{\text{Ca}} = 20$, $A_{\text{C}} = 12$, $A_{\text{O}} = 16$. Суммарный $A_{\text{CaCO}_3} = 20 + 12 + 3 \cdot 16 = 80$, отсюда в 100% известняке $\text{Ca} = 20/80 = 0,2$ (20%). Если

известно, что в породе содержится 10% Са и весь Са находится в известняке, то составляется пропорция: $100\% - 20\% (\text{Са})$
 $x \quad - 10\%$

Получаем, что порода состоит на 50% из известняка.

Вопросы:

1. С какой целью в стандартный комплекс методов включен каротаж магнитной восприимчивости
2. Почему из перечисленных минералов, входящих в состав руд, не учитываются пирротин, окислы железа и соединения палладия и платины
3. Методика расчета содержания пентландита и халькопирита в рудах (см. дополнение)
4. Методика расчета содержания пирита в рудах
5. Зачем нужно знать содержания халькопирита, пентландита и пирита в рудах

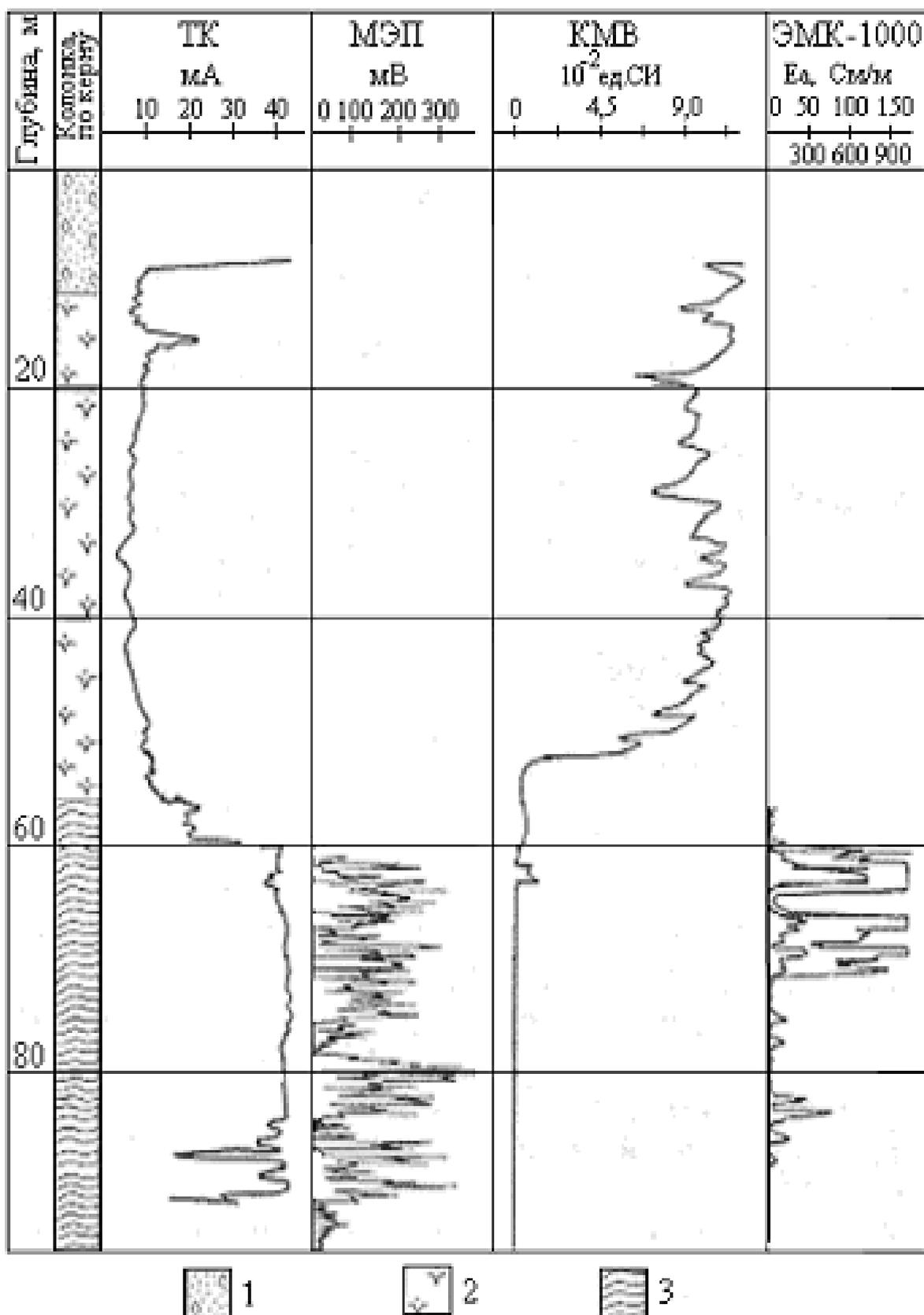


Рис.1. Каротажные кривые скважины на сульфидном медно-никелевом месторождении. Литологическая колонка дана по описанию керна: 1-четвертичные отложения, перидотиты серпентинизированные, 3-филлиты.

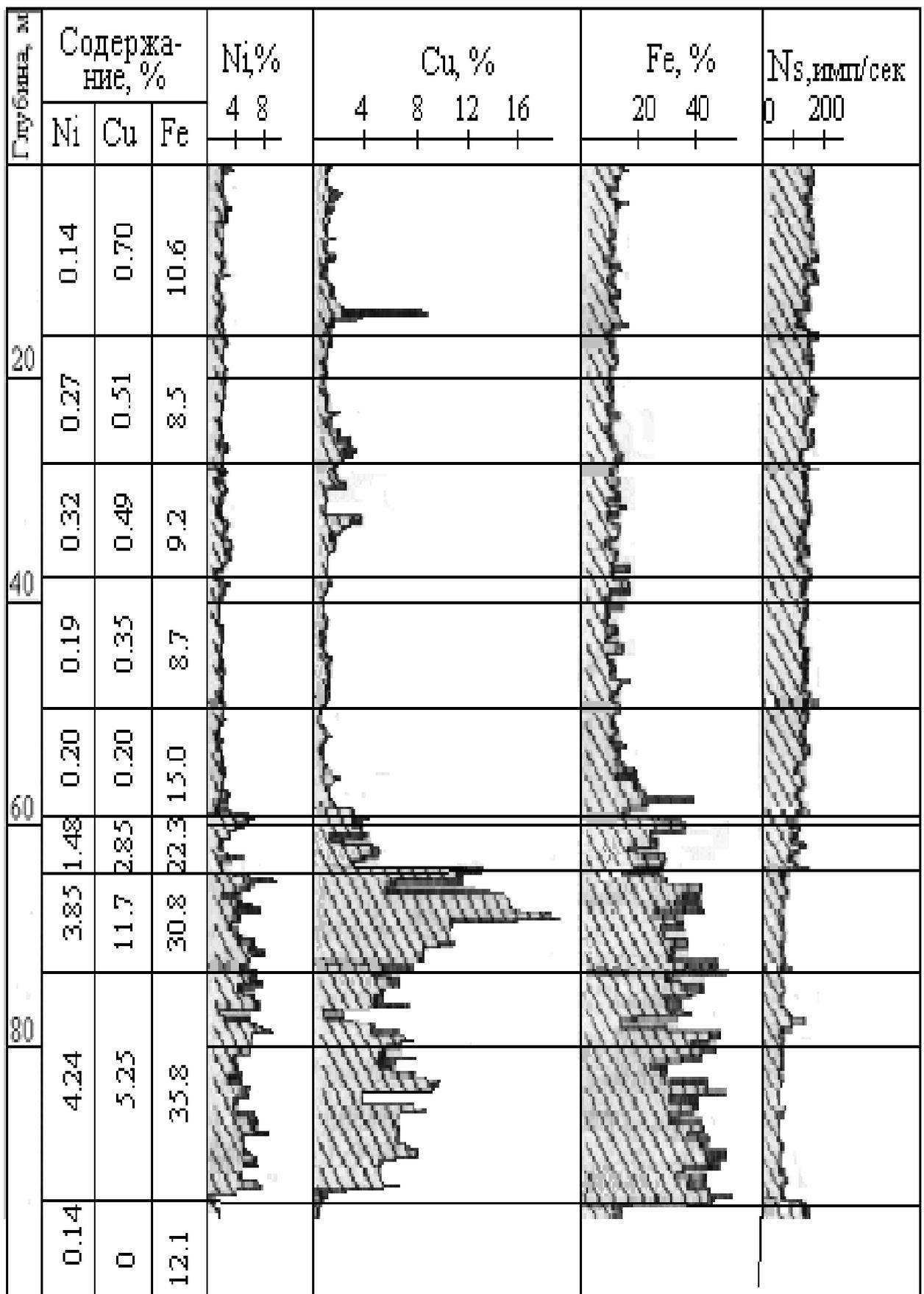


Рис.2. Диаграммы рентгенрадиометрического каротажа (РРК) и результаты опробования РРК разведочной скважины.

Работа 4

Комплексная интерпретация результатов ядерно-геофизических методов при исследовании угольных месторождений

Цель работы: изучение методики проведения опытно-методических работ на рудных и нерудных скважинах, построение графиков (номограмм) зависимости геофизических параметров от качества руд (углей).

Физические свойства углей и вмещающих пород зависят от степени их метаморфизма. По степени метаморфизма различают бурые, каменные угли и антрациты. Бурые угли (наименее метаморфизированные) характеризуются сравнительно небольшим (60—70%) содержанием углерода и значительным (до 40%) количеством влаги. Каменные угли содержат 80—95% углерода и до 5% влаги. Антрациты, имеющие наибольшую степень метаморфизма, включают более 95% углерода, а влаги практически не содержат.

Угли подразделяются на группы (марки), которые имеют различное промышленное назначение. Бурые угли имеют марки Б1, Б2, Б3. Каменные угли подразделяются на длиннопламенные (Д), газовые (Г), газовые жирные (ГЖ), жирные (Ж), коксовые жирные (КЖ), коксовые (К, Кг), тощие (Т). Антрациты подразделяются на собственно антрациты (А) и полуантрациты (ПА).

Существенно влияет на физические свойства углей их зольность. Зольность углей — отношение (в %) массы неорганического остатка (зола), получаемой в установленных условиях после полного сжигания угля, к единице массы угля. Зольные примеси состоят из окислов породообразующих элементов: кремния, алюминия, железа, кальция, натрия, калия, магния. По относительной атомной массе их подразделяют

на две группы: легкую, представленную окислами кремния, алюминия, натрия и магния; тяжелую – окислы железа, кальция и калия. Угли с зольными примесями из одной легкой фракции рассматриваются как двухкомпонентные (угли + примеси), а с зольными примесями из легкой и тяжелой фракций – как трехкомпонентные. Угли с минимальным значением $Z_{эфф}$ – двухкомпонентные, а с высоким значением $Z_{эфф}$ – трехкомпонентные.

Наиболее широко угли всех марок используются в качестве энергетического топлива. Каменные угли марок КЖ, Г, КЖ, ГЖ применяются для получения специального металлургического топлива — кокса. Кроме того, угли используются для получения жидкого топлива, смазочных масел, пластмасс.

Физические свойства углей и вмещающих пород.

Удельное сопротивление $\rho_{п}$ песчаников, алевролитов (песчанистых сланцев), аргиллитов (глинистых сланцев) возрастает с увеличением степени метаморфизма. Удельное сопротивление углей возрастает от $10 \div 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (слабометаморфизированные бурые угли) до $100 \div 15000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Существенно влияет на удельное сопротивление углей одной и той же марки их зольность. Величина $\rho_{п}$ углей марки Т составляет $10 \div 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Резко уменьшается удельное сопротивление углей (от 10 до $0,01 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) при переходе от марки Т к полуантрацитам и антрацитам. С ростом зольности величина $\rho_{п}$ антрацитов возрастает, а $\rho_{п}$ каменных и бурых углей уменьшается.

Угли, как и вмещающие породы, способны создавать естественные электрические поля в скважинах. Наибольшими потенциалами СП характеризуются антрациты, которые на диаграммах СП отмечаются положительными аномалиями до $400 \div 600 \text{ мВ}$. Полуантрациты и тощие угли также выделяются положительными аномалиями СП, но меньшей

амплитуды, не превышающей $80 \div 100$ мВ. Образование потенциалов собственной поляризации в антрацитах, полуантрацитах и некоторых тощих углях связано с окислительно-восстановительными процессами. Каменные и бурые угли на диаграммах ПС отмечаются как положительными, так и отрицательными аномалиями с амплитудой до 50 мВ. В образовании аномалии СП против бурых и каменных углей наряду с окислительно-восстановительными процессами значительную роль играет диффузия солей.

Естественная радиоактивность углей всех марок несколько ниже радиоактивности вмещающих пород, поэтому на диаграммах ГМ угольные пласты обычно отмечаются минимумами. Исключение составляют угольные пласты, обогащенные в кровле или в почве радиоактивными элементами.

Плотность углей на $0,4 \div 1,0$ г/см³ ниже плотности вмещающих пород. Различие в плотности углей и вмещающих пород обусловило использование метода ГГМ-П в разрезах угольных скважин пластов угля любой марки.

Пласты угля обладают сравнительно малым эффективным атомным номером $Z_{эф}$ (для углерода $Z = 6$), в то время как для вмещающих пород (глинистые сланцы, песчаники, известняки и др.) $Z_{эф} = 13 - 15$. Это позволяет широко использовать метод ГГМ-С для выделения и изучения пластов угля. Ниже приведены пределы изменения удельного сопротивления, естественной радиоактивности, плотности углей и вмещающих пород.

Порода	ρ_p , Ом*м	I_γ (усл.ед.)	Зольность A^C , (%)	δ , г/см ³	$Z_{эф}$ (γ -кванты)
Глина	8 - 20	29 - 180	---	1,9 - 2,2	11,4 – 14,7
Сланец, аргиллит	9 - 400	36 - 220	---	2 - 2,7	12,3 – 14,8

Песок	12 - 20	7 - 110	---	1,8 - 2,2	10,6 – 11,3
Песчаник	20 - 1000	7 - 110	---	2,0 - 2,5	11,6 – 13,1
Известняк	20 - 800	4 - 87	---	2,3 - 2,5	14,8 – 15,5
Уголь бурый	10 - 200	22 - 72	30 – 40	1,2 - 1,6	9,7 – 12,1
Уголь каменный	100- 5000	29 - 110	3 – 30	1,4 - 1,7	6,7 – 9,7
Антрацит	0,1 - 10	43 - 150	2 – 3	1,6 - 1,8	6,6 – 7,4

Задачами ГИС при исследовании угольных скважин являются:

1. Литологическое расчленение разрезов, выделение пластов угля, определение их мощности и строения.
2. Оценка качества выделенных угольных пластов, в основном зольность углей.

Геофизические исследования угольных скважин обычно выполняют в два этапа. Вначале регистрируют по всему стволу скважины диаграммы в масштабе глубин 1:200 с целью литологического расчленения разреза, выделения пластов угля, зон ослабленных (нарушенных) пород.

Мощность, строение и зольность угольных пластов определяют по диаграммам, зарегистрированным в детальном масштабе глубин. Для исследования пластов мощностью 0,30—1,30 м применяют масштаб глубин 1:20, так как их мощность необходимо найти с точностью не менее $\pm 0,05$ м. Пласты мощностью 1,30— 3,5 м исследуют в масштабе глубин 1:50, мощные пласты простого строения — в масштабе 1:200.

Для выделения в разрезах скважин угольных пластов всех групп применяется комплекс исследований, включающий методы КС, ПС, ГМ, ГГМ-П, ГГМ-С и кавернометрию.

Размер зонда при исследованиях методом ГГМ-П для всех типов углей постоянен и равен, в случае применения в качестве источника гамма-излучения ^{60}Co ($E_{\gamma 0} = 1.2$ МэВ), 0,35 - 0,40 м. Размер зонда ГГК-С аналогичен размеру зонда ГГК-П, но источниками в ГГК-С используют

либо изотоп селена Se^{75} ($E\gamma_0 = 75$ КэВ), либо изотоп тулия Tm^{170} ($E\gamma_0 = 84$ КэВ).

Бурые угли имеют геофизическую характеристику, близкую к характеристике вмещающих пород, поэтому на диаграммах методы КС, СП, ГМ часто не выделяются, т.е. не отличаются от вмещающих пород. На диаграммах ГГМ-П и ГГМ-С бурые угли отмечаются четкими максимумами. Однако в связи с тем, что аналогичными аномалиями характеризуются также каверны в глинистых пластах, для выделения пластов бурого угля необходимо проводить комплексную интерпретацию диаграмм всех методов.

Для определения зольности пластов угля, в основном, используются методы ГГМ-П и ГГК-С.

Перед проведением рядовых ГИС с целью определения зольности, проводятся опытно-методические работы. Для этого на одной из скважин проводятся опытные исследования. Выбор скважины обусловлен тем, что в скважине должны быть представлены все типы углей, которые встречаются на данном месторождении. Опытную скважину бурят с максимальным выходом керна (до 80%). Затем, по выделенным по керну и по ГИС интервалам угленосных пластов, отбирают керн и исследуют на зольность. После этого в опытной скважине проводят каротаж методами ГГК-П и ГГК-С. Полученные данные ГИС (ГГК-П и ГГК-С) сопоставляют с лабораторными исследованиями керна, и получают зависимости зольности от показаний ГИС. Эти зависимости в дальнейшем используются на данном месторождении для определения зольности углей без изучения керна.

Задание:

1. По данным ГИС (рис.1) уточнить литологический разрез скважины, выделить угольные пласты, на основании анализа кривых ГИС дать качественную характеристику выделенных угольных пластов.
2. По сопоставлению данных ГГК-П (рис.2) и определения зольности по керну провести эталонирование данных плотностного в зависимости от зольности углей.
 - а. Чтобы избавиться от индивидуальных характеристик скважинного снаряда ГГК-П, необходимо показания прибора в имп/мин перевести в значения плотности. По определениям плотности керна вмещающих пород известно, что среднее значение плотности алевролита равна $2,60 \text{ г/см}^3$, а аргиллитов – $2,53 \text{ г/см}^3$. При использовании заинверсных зондов ГГК-П зависимость показания (имп/мин) практически обратно пропорциональна плотности пород. Влиянием изменения $Z_{\text{эфф}}$ пород на показания плотностного каротажа, при энергии источника зонда ГГК-П более 1 Мэв, крайне незначительно и им можно пренебречь. Пересчитать показания ГГК-П (имп/мин) в плотность пород.
 - б. Используя лабораторные определения зольности построить зависимость плотность – зольность углей, сравнить полученные данные с данными, приведенными в таблице.
3. Провести аналогичную работу с данными ГГК-С. Для этого необходимо рассчитать $Z_{\text{эфф}}$ угленосных пластов на основании определения зольности по керну. Считая, что сгорает углерод ($Z = 6$), а несгораемый остаток – это вмещающая порода состава SiO_2 , определить $Z_{\text{эфф}}$ вмещающих пород. Расчет содержания Si и O₂ во вмещающей породе описан в дополнении в работе 3. По соотношению

содержаний компонент рассчитывается $Z_{эфф}$. $Z_{эфф} = \sum_{i=1}^n p_i \times Z_i$ где: n – количество компонент, в нашем случае $n = 2$ (углерод и порода); p_i – весовой коэффициент данной компоненты (содержание не в %, p от 0 до 1); Z_i – атомный номер (в случае углерода) или эффективный атомный номер породы. В результате построить зависимость эффективный атомный номер – показания прибора в каждом угольном интервале, где по данным лабораторных исследований определена зольность углей. Затем построить график зольность углей от эффективного атомного номера. Сравнить полученные данные с данными, приведенными в таблице.

Вопросы:

1. Что такое опытная скважина и с какой целью ее проходят
2. Рассчитать параметр $Z_{эфф}$ для аргиллитов и алевролитов.
3. Что характеризует зольность углей, для чего он применяется
4. Почему в каротажных зондах методов ГГК-П и ГГК-С используются заинверсные зонды
5. Каким образом можно исключить влияние плотности на показания ГГК-С
6. Каким способом избавляются от индивидуальных характеристик каротажных зондов в методах ГГК-П и ГГК-С

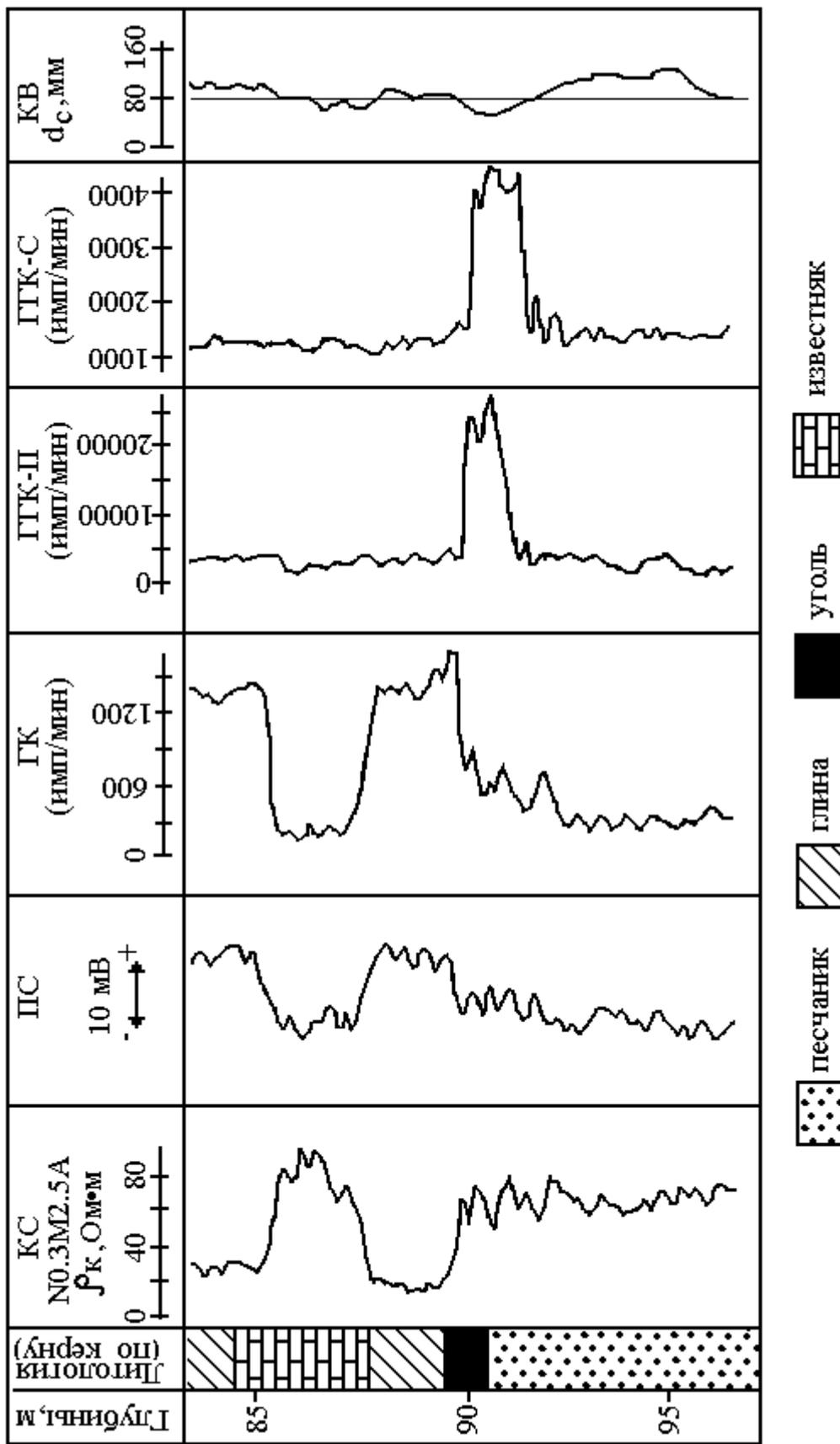


Рис.1. Данные ГИС по скважине 245

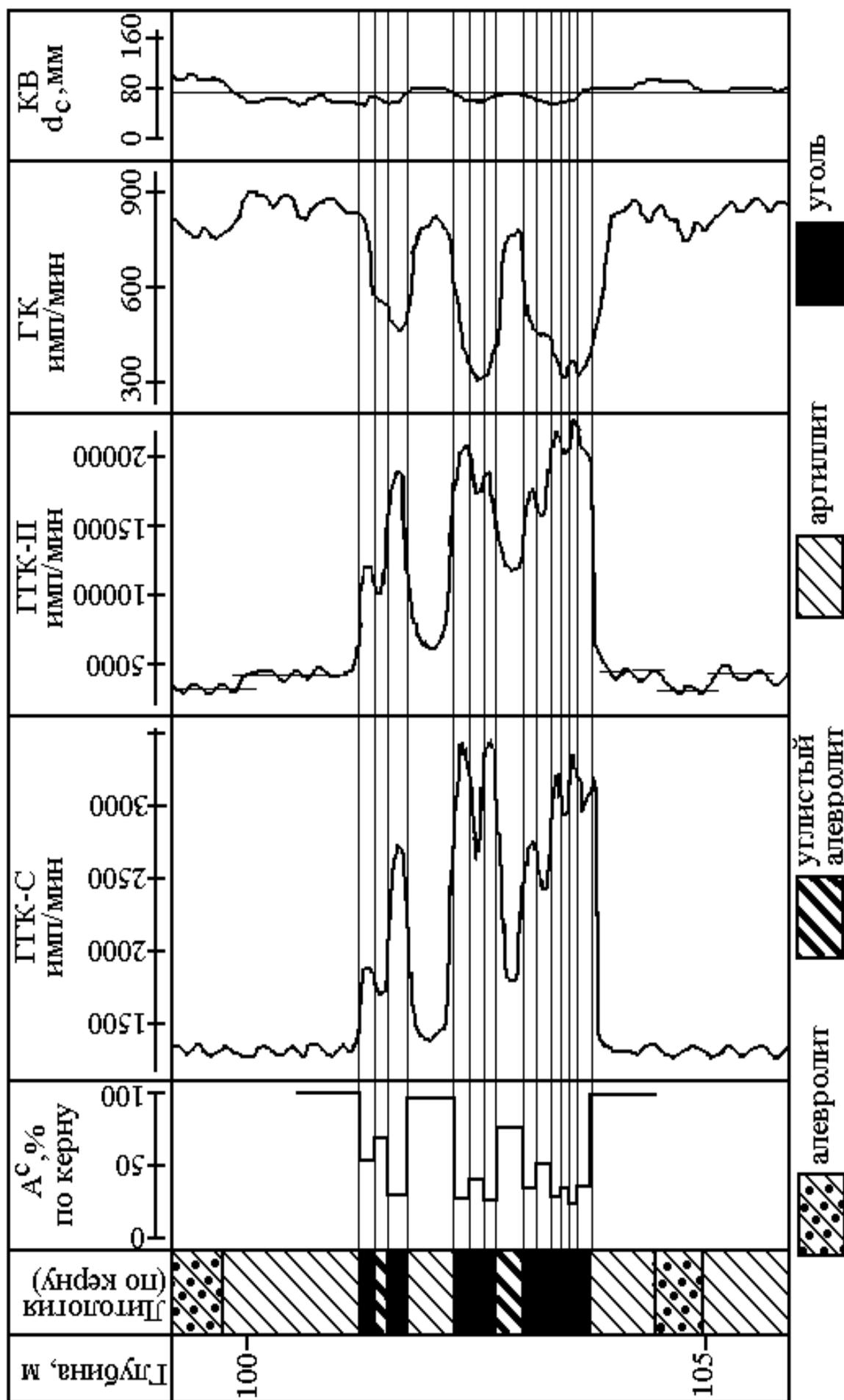


Рис.2. Данные ГИС и опробования керна по скв.16

Работа 5

Использование рентгенрадиометрического метода (РРМ) при проведении поисковых работ на полиметаллическом месторождении

Цель работы: приобретение навыков обработки полевых измерений методом рентгенрадиометрического опробования поверхностных горных выработок

На полиметаллическом месторождении пройдено три канавы по 45 метров каждая, все канавы расположены параллельно друг другу, простирание канав – запад-восток, расстояние между канавами 25 метров.

Таблица 1

NN пи- кетов	Параметр η			NN пи- кетов	Параметр η		
	Кана -	Кана - ва 2	Кана - ва 3		Кана - ва 1	Кана - ва 2	Кана - ва 3
1	2,19	1,72	1,01	24	1,42	1,61	2,01
2	2,24	1,63	1,03	25	1,61	1,72	2,11
3	1,96	1,55	1,03	26	1,58	1,76	2,14
4	2,09	1,47	1,05	27	1,74	1,88	2,18
5	1,86	1,33	1,03	28	1,79	2,12	2,01
6	1,80	1,27	1,07	29	1,77	2,18	2,18
7	1,82	1,19	1,06	30	1,83	2,03	2,24
8	1,69	1,23	1,06	31	1,98	2,19	2,38
9	1,64	1,14	1,09	32	2,06	2,23	2,64
10	1,62	1,17	1,11	33	2,12	2,39	2,81
11	1,52	1,10	1,10	34	2,22	2,51	2,83
12	1,44	1,04	1,15	35	2,34	2,68	2,57
13	1,30	1,02	1,27	36	2,36	2,61	2,24
14	1,22	1,06	1,25	37	2,20	2,54	2,35
15	1,20	1,08	1,19	38	2,01	2,29	2,31
16	1,32	1,07	1,32	39	1,84	2,09	2,20
17	1,21	1,02	1,40	40	1,92	2,14	2,17
18	1,18	1,09	1,51	41	1,83	2,02	2,09
19	1,16	1,18	1,58	42	1,75	1,93	2,01

20	1,07	1,31	1,61	43	1,80	1,70	1,94
21	1,19	1,28	1,68	44	1,71	1,79	1,82
22	1,23	1,57	1,72	45	1,62	1,61	1,46
23	1,36	1,49	1,83				

Канавами вскрыты рудные тела. С целью определения содержания свинца проведены опробование полотна канав РРМ (методом спектральных отношений), замеры проводились с равномерным шагом 1 метр, начало точки опробования совпадает с началом канавы. В таблице 1 представлены первичные результаты измерения.

Предварительно были построены два эталонировочных графика, для малых содержаний Pb (менее 2 %) и для больших содержаний (более 2%), для увеличения точности определения малых содержаний. Если значения параметра η в точке определения менее 1,20, то определение содержания свинца проводится по эталонировочному графику для малых содержаний. Значения двух эталонировочных графиков приведены в таблице 2.

Таблица 2

Эталонировочный график 1		Эталонировочный график 2	
Pb, %	Параметр η	Pb, %	Параметр η
0.47	1.150	0.31	1.100
1.77	1.210	0.47	1.114
4.9	1.390	0.7	1.126
6.8	1.520	1.16	1.150
9.3	1.690	1.51	1.164
13.5	1.980	1.77	1.180
16.8	2.295	1.96	1.190
21.5	2.750		
26.4	3.350		

Задание

1. Построить эталонировочные графики.
2. По эталонировочным графикам определить содержание свинца в каждой точке наблюдения, построить гистограммы распределения содержания свинца в каждой канаве.
3. Составить план участка в масштабе 1:200, выделить рудные зоны с содержанием свинца: I – (0 – 2)%, II – (2 – 5)%, III – (5 – 15)%, IV – свыше 15%.

Вопросы:

1. Зачем необходимо разбиение участка на рудные зоны с различным содержанием рудного компонента
2. Причины увеличения относительной погрешности измерения при малых содержаниях
3. Чем определяется достоверность определения рудного компонента при малых содержаниях
4. Почему эталонировочный график на больших содержаниях начинает насыщаться (выполживается)
5. От чего зависит глубинность исследования рентгенрадиометрическим методом

Работа 6

Применение ядерно-физических методов каротажа при поисках калийных солей

Цель работы: приобретение навыков интерпретации комплекса данных ядерно-физических методов при разведке нерудных полезных ископаемых

Среднее содержание калия в земной коре 2.5%. Калий входит в состав многих породообразующих минералов, как изверженных, так и осадочных. Природный калий состоит из двух стабильных изотопов ^{39}K (93,1%), ^{41}K (6,8%) и радиоактивного ^{40}K (0.01%). Радиоактивность ^{40}K на три порядка ниже, чем у урана и тория, но за счет высокой распространенности ^{40}K является одной из трех составляющих, обеспечивающих естественную радиоактивность пород. При увеличении содержания калия возрастает радиоактивность пород (за счет увеличения содержания изотопа ^{40}K). Этим объясняется повышенная радиоактивность калийных солей.

Основные компоненты хлоридных калийных солей: сильвин, карналлит, кизерит, галит, нерастворимый остаток (н.о.).

Калийные соли могут переслаиваться пластами каменной соли и карбонатно-глинистыми образованиями. В калийных солях содержится нерастворимый остаток, представленный глинистым веществом (калий-магниевого слюды) и в меньшей мере карбонатами (кальцитом, известняком и доломитом). Содержание н.о. в калийных солях может достигать 15 – 18% и более. Таким образом, при проведении количественных определений хлористого калия по ГК необходимо учитывать искажающее влияние н.о.

В ритмичной пачке солей сильвиниты отбиваются по повышенным значениям ГК, а галитовые пачки и маломощные слои базальной соляной

глины – по пониженным. Калийные соли могут иметь радиоактивность от 4 до 50 мкР/час, радиоактивность пластов каменной соли обычно 2 мкР/час. Однако в связи с тем, что бурение скважин производят на глинистом растворе, а иногда с добавками сильвинита (для повышения выхода керна этих солей), радиоактивность каменных солей может увеличиться до 5 мкР/час. Карбонатно-глинистым пачкам соответствуют показания от 10 до 16 мкР/час. На долю калия при этом приходится 50% излучения, тория – 40-50% и урана-радия – 5-10%.

Пачки калийных солей с содержанием 18-20% KCl по радиоактивности эквивалентны карбонатно-глинистым породам. Сильвинитовые соли с содержанием 35-40% KCl в два – четыре раза превышают радиоактивность карбонатно-глинистых отложений. По низким значениям ГК обычно отбивается низкосортное вкрапленное калиевое минеральное сырье с содержанием приблизительно 20% KCl. По радиоактивности оно соответствует глинисто-мергелистым горизонтам. В этом случае калийные соли могут быть выделены по совокупности данных ГК, НГК, ННК, ГК-П, кавернометрии и электрокаротажа.

При исследовании скважин диаметром 160 – 180 мм увеличение содержания водорода в породах при замерах на доинверсных зондах (менее 25 см) ведет к увеличению показаний НГК, при замерах на инверсионных (25 см) и больших зондах – к уменьшению. Увеличение содержания хлора в породах ведет к уменьшению показаний НГК при измерениях на зондах больше 35 см. Каверны в сухих скважинах на диаграммах НГК, при замерах на доинверсных зондах, отмечаются глубокими минимумами.

Характер кривых ННК-т аналогичен кривым НГК. Показания ННК-т зависят только от изменения содержания водорода в породах и не зависят от изменения в них содержания хлора.

Сочетания ГК, НГК, ННК и ГГК-П позволяет оценить минеральный состав солей. Наличие в карналлите и кизерите кристаллизационной воды приводит к более интенсивному замедлению в них быстрых нейтронов по сравнению с сильвином и галитом, поэтому на кривых ННК и НГК этим минералам будут соответствовать различные показания.

Для определения содержания сильвина, карналлита и н.о. в минеральных солях применяют методы ГК и ННК в комплексе с акустическим каротажем (АК). Результаты применения этого комплекса показаны на рис.1. Для решения системы из трех уравнений (ГК, ННК, АК) строились номограммы, учитывающие изменения диаметра скважины и плотность бурового раствора. Из рис.1. видно, что результаты каротажа удовлетворительно согласуются с данными химического анализа.

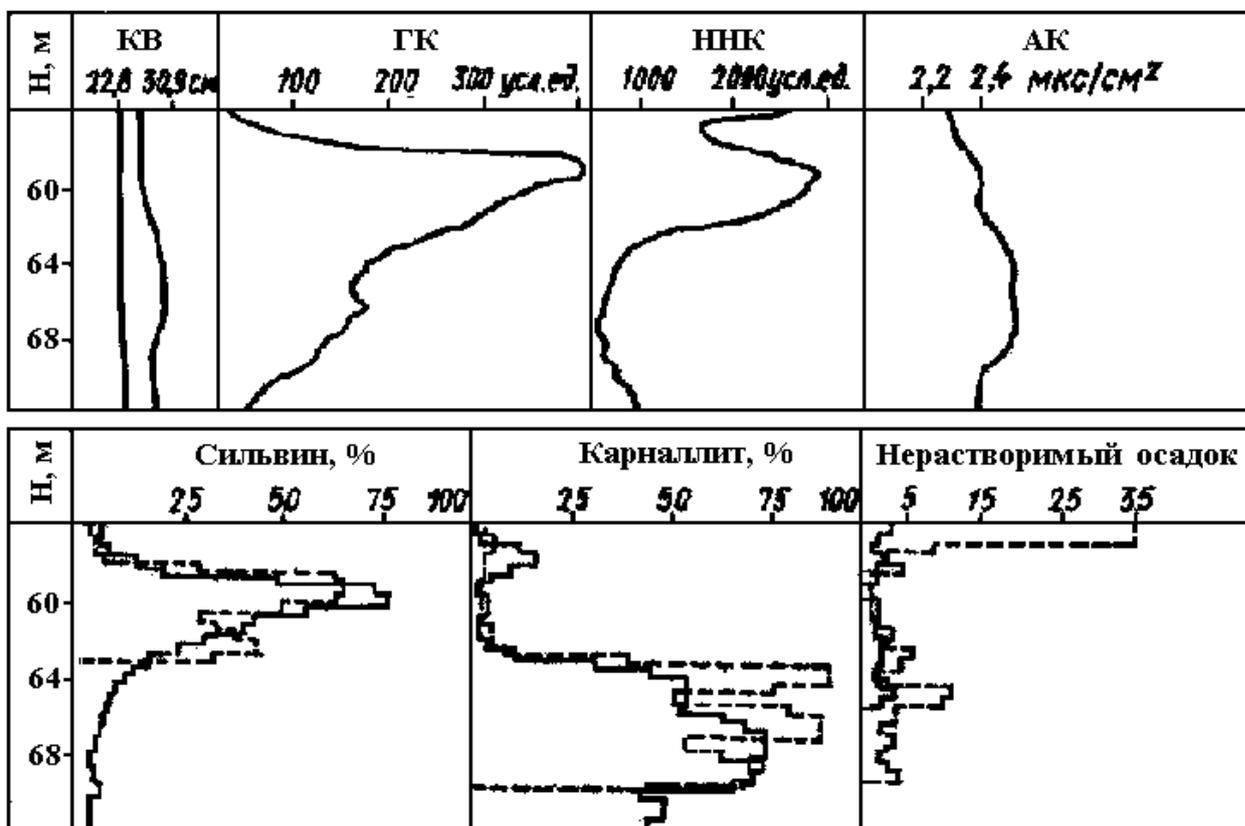


Рис.1. Сопоставление данных ГК, ННК, АК и химического анализа (штриховые линии) сильвина, карналлита и нерастворимого остатка.

Комплекс ГИС, состоящий из ГК, НГК, БМКТ, КС и ДС, позволяет:

1. Осуществлять детальное литологическое расчленение разреза продуктивной толщи с выделением и корреляцией горизонтов, пластов, и слоев калийно-магниевых солей и карбонатно-глинистых пород;
2. Разделять в разрезе калийных горизонтов слои сильвинита, карналлита, смешанных калийных солей, каменной соли и карбонатно-глинистые прослои; определять минералогический тип калийных солей, оценивать содержание калия.

В скважинах, бурящихся на калийные соли, обычно достаточно выполнять ГК, БКЗ (или БМКТ), АК и ДС масштаба 1:500 по всей соленосной толще, что обеспечивает ее расчленение и выделение калийных горизонтов. Выделенные калийные горизонты должны подвергаться детальным исследованиям масштаба 1:50 путем проведения ННК-Т, БМКТ и ГК. Кавернометрия масштаба 1:50 обязательна при скорости перемещения каверномера не более 350—400 м/с. Вышеназванный комплекс ГИС позволяет надежно оценить содержание основных ингредиентов хлоридных калийных солей: сильвина, карналлита, галита и н.о.

Задание:

1. По диаграммам комплекса ГИС (рис.2.) провести литологическое расчленение разреза скважины, используя геологическое описание керна. Объяснить, на основании каких признаков произведено данное расчленение.
2. По анализу диаграмм ядерно-физического каротажа провести предварительную оценку качества выделяемых калийных солей. Для этого использовать петрофизические параметры «эталонных»

вмещающих пород (гипс, ангидрит, известняк), и сопоставить данные ГИС по этим вмещающим породам и продуктивным слоям.

Вопросы:

1. Причина повышенной естественной радиоактивности калийных солей
2. Для чего применяется метод ГГК-П
3. Причина расхождения показаний каротажа по тепловым и надтепловым нейтронам в одном и том же интервале скважины
4. Какую информацию несет нейтрон-гамма каротаж

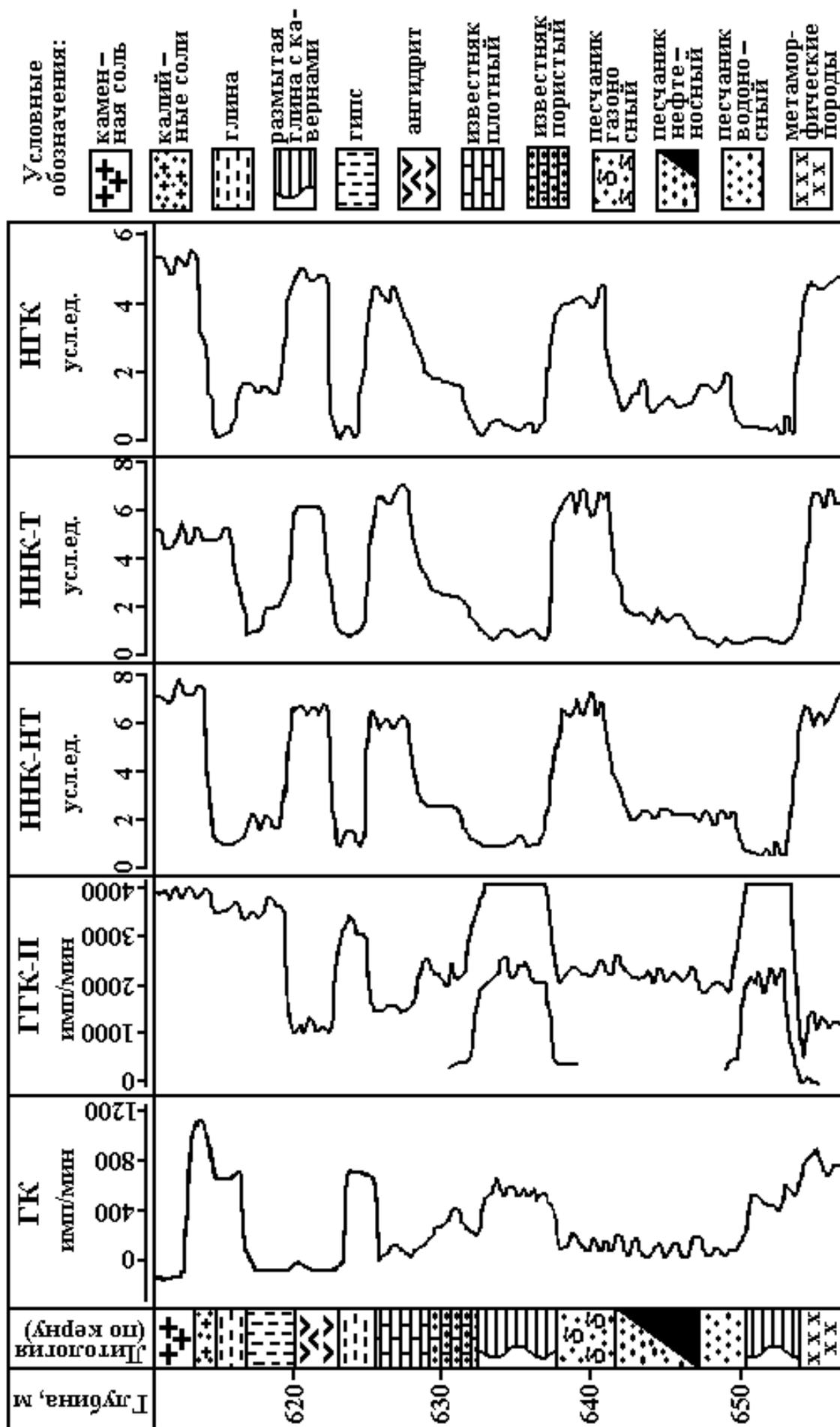


Рис.2. Данные ГИС по скважине Верхнекамского месторождения калийных солей.

