



SATBAYEV
UNIVERSITY

**Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова
Кафедра Геофизики**

«Геолого-геофизические методы поисков и разведки рудных месторождений»

ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 7М07105 «НЕФТЕГАЗОВАЯ И РУДНАЯ ГЕОФИЗИКА»



Докт. геол.-минерал. наук Истекова С.А.



Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых

Рудная геофизика



Содержание курса

- ▶ Сущность геофизических методов и их роль при решении геологических задач (физические поля, классификация геофизических методов, организация геофизических работ, получение данных и введение поправок, , обработка данных)
 - ▶ Магниторазведка
 - ▶ Гравиразведка
 - ▶ Сейсморазведка
 - ▶ Электроразведка
 - ▶ Радиометрия
 - ▶ Геотермия
 - ▶ Комплексование геофизических методов при решении геологических задач
-



Лекция 9

Основные понятия



Введение

▶ Что такое геофизика?

Формально – приложение методов физики к задачам изучения строения Земли

Фактически – геологический разрез Земли сформирован в ходе физических, химических и биологических процессов

- разрывные и складчатые деформации – физические процессы,
- вулканические породы сформированы в ходе сложных химических процессов,
- углеводороды, карбонатные породы (ракушняк) – производные химических процессов.

Таким образом, геофизика оперирует с системой знаний из смежных научных дисциплин



Геофизика

- ▶ Геофизика, как одна из наук о Земле, сформировалась на принципах и достижениях физического подхода к исследованию окружающего мира и нацелена на выявление самой сущности или природы явлений и процессов, происходящих в Земле. Принято следующее определение.
- ▶ **Геофизика - это комплекс наук, исследующих физическими методами формирование, эволюцию, свойства, строение и вещественный состав Земли, а также происходящие в ней природные и техногенные процессы.**
- ▶ ***Объект исследования геофизики (то есть, что в конечном итоге изучает геофизика) - это:***
 - Земля в целом и ее геосферы (например, литосфера, гидросфера, атмосфера);
 - Геологические процессы (перемещение литосферных плит, землетрясения);
 - Геологические среды (массивы горных пород и т. п.);
 - Геологические объекты (например, месторождения полезных ископаемых).



Геофизика

- ▶ Физические методы исследований непосредственно связаны с измерением физических величин, характеризующих свойства изучаемого объекта или процесса.
- ▶ Как правило, изучаемый процесс растянут во времени, а объект обладает пространственной протяженностью.
- ▶ Поэтому для их детального изучения требуется измерить целые совокупности физических величин, называемые физическими полями.
- ▶ **Физическое поле - это множество распределенных в пространстве точек, которые характеризуются конкретными (постоянными или переменными) значениями физических величин.**



Масштабы геофизических исследований

Два уровня геофизики:

Общая геофизика – изучает фундаментальные проблемы физики Земли.

Наука изучающая происхождение, строение, интенсивность физических полей Земли, а также явления и процессы в самой Земле.

- ▶ **Прикладная геофизика**, к которой относится и полевая - это раздел геофизики, ориентированный на решение практических задач.
- ▶ **Разведочная геофизика** (или геофизические методы исследований) - методы исследования земной коры, поисков и разведки МПИ, инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, основанные на изучении различных физических полей, созданных искусственно или естественных.
- ▶ Наибольшие усилия специалистов в этой области сконцентрированы на разработке физических теорий и методов полевой и аэрогеофизической съемки и геофизической разведки, в том числе геофизического исследования скважин.
- ▶ **Объектом исследования** полевой геофизики, как и геофизики в целом, являются геологические процессы, геологические среды (массивы горных пород) и геологические объекты (месторождения полезных ископаемых) различного масштаба.
- ▶ **Цель геофизических исследований** состоит в получении максимально
- ▶ полной и достоверной информации об исследуемых геологических объектах и процессах, которая позволит решить поставленные практические задачи.



Геофизические методы исследования земной коры

- ▶ Геофизические методы исследования земной коры, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых основаны на изучении **естественных или искусственно создаваемых физических полей**, в которых отражаются различия горных пород и руд по физическим свойствам.
- ▶ К естественным физическим полям Земли относятся магнитное, гравитационное, электромагнитное, электрическое, тепловое, естественной радиоактивности, упругих колебаний, возникающих при землетрясениях.
- ▶ При геофизических работах широко используют и искусственно создаваемые поля:
 - электромагнитное,
 - упругих колебаний,
 - ядерных реакций, протекающих в результате воздействия на горные породы и руды радиоактивного излучения специальных источников.



Геофизические методы поисков месторождений полезных ископаемых

- ▶ Раньше поиски руд и полезных ископаемых производились, главным образом, путем поверхностного геологического обследования разведываемой площади и с помощью шурфовых или буровых работ.
- ▶ Но простые поверхностные обследования площадей при разведках, очевидно, могут применяться только там, где не имеется мощных наносов, прикрывающих месторождения полезных ископаемых, т. е. где рудные тела месторождений или признаки наличия их имеют непосредственные обнажения и залегают на самой поверхности земли.
- ▶ Однако такие случаи в природе встречаются редко и месторождения чаще всего бывают скрыты в земле. Поэтому для поисков таких скрытых месторождений приходилось применять горные работы, например, шурфовку или бурение.



Геофизические методы поисков месторождений полезных ископаемых

- ▶ Шурфовая разведка и бурение хотя и дают хорошие результаты, но для своего выполнения требуют больших затрат и много времени.
- ▶ Кроме того, часто для выбора местоположения шурфов или буровых скважин не имеется обоснованных данных и они намечаются почти совершенно произвольно, например, по заранее установленной сетке. Такие поиски часто становятся нерациональными и нередко приводят даже к неправильным заключениям.
- ▶ Поэтому для поисков месторождений полезных ископаемых теперь широко применяются новые - геофизические методы разведки.



История

- ▶ Геофизические методы являются новейшими методами разведки месторождений полезных ископаемых, использующими последние достижения науки и техники.
- ▶ Наиболее древним из них является магнитный метод разведки, начало промышленного применения которого для поисков магнитных руд в Швеции относится к 1860 — 1870 годам.
- ▶ Первые опыты по применению гравитационного вариометрического метода для геологической разведки, выполненные Р. Этвешем в Венгрии, и по электроразведке Шлюмберже во Франции, были произведены незадолго до начала первой мировой войны.
- ▶ Но систематическое развитие и применение их началось только с 1920—1925 годов.
- ▶ До революции в России из геофизических методов применялась только магниторазведка, работы по которой, с целью поисков железных руд на Урале и в Западной Сибири (в Горной Шории), не систематически стали проводиться в 1898 г



История

- ▶ Широкие же развитие геофизические работы в СССР получили только после Октябрьской социалистической революции и особенно в годы первых пятилеток.
- ▶ Одновременно с внедрением геофизических работ в СССР был создан ряд научно-исследовательских геофизических институтов и открыты геофизические специальности в вузах и техникумах.
- ▶ Благодаря этому геофизические методы разведки в нашей стране быстро развивались и вскоре получили широкое применение.
- ▶ Большой вклад в дело развития геофизических методов разведки внесли ученые СССР и СНГ . Многие теоретические и практические вопросы разведочной геофизики были впервые разработаны в нашей стране.
- ▶ В СССР впервые были предложены, разработаны и применены на практике газовая съемка, геохимические методы, аэромагнитная разведка и некоторые другие методы.
- ▶ Имена многих наших ученых, например, В.И. Баумана, А.А. Петровского, И.М. Бахурина, Г.А. Гамбурцева, А.А. Логачева и многих других тесно связаны с развитием и с внедрением разведочной геофизики в нашей стране.



Роль и значение геофизических методов исследования

- ▶ Роль и значение геофизических методов исследования в геологоразведочном деле огромны.
- ▶ В настоящее время они получила весьма широкое применение, и являются необходимой составной частью различных геологических изысканий.
- ▶ Они с успехом применяются для непосредственных поисков и разведки многих рудных месторождений и для решения различных структурно-теологических вопросов.
- ▶ Но при использовании геофизических методов разведки всегда следует критически оценивать целесообразность их применения и ожидаемые от них результаты.
- ▶ Не следует уменьшать или увеличивать их значение для решения тех или иных практических задач.
- ▶ Отмеченные крайности, т. е. чрезмерное доверие или пренебрежение к геофизическим исследованиям часто наблюдаются у работников геологоразведочного дела, мало знаковых с основами геофизических разведок.



Задачи рудной геофизики

- ▶ Разведочная геофизика применяется при поисках и разведке твердых (в основном рудных) полезных ископаемых для решения следующих четырех основных задач:
 - 1) Исследование глубинного строения земной коры на всю ее мощность; геотектоническое районирование территории на этой основе, выяснение закономерностей размещения и прогноз полезных ископаемых;
 - 2) Глубинное геологическое картирование; изучение состава и структуры кристаллического фундамента; создание модели рудоносных структур, изучение рудоконтролирующих структурных элементов; определение наиболее перспективных направлений поисковых работ;
 - 3) Поиски всех видов полезных ископаемых, для которых применение геофизических методов экономически обосновано благодаря значительному сокращению общих затрат на геологоразведочные работы (черные, цветные и редкие металлы, золото и другие благородные металлы, неметаллические полезные ископаемые, в том числе алмазы, фосфориты, ка-лийные соли);
 - 4) Предварительная и детальная разведка месторождений полезных ископаемых и прогнозная оценка их запасов; выделение рудных тел в окрестностях скважин и горных выработок, рудных интервалов в разрезе скважин; изучение геометрических параметров рудных тел; определение содержания полезных компонентов в породах и рудах. в естественном залегании



Поиски рудных месторождений полезных ископаемых

редко ставят своей целью непосредственное обнаружение рудных залежей, в том числе скрытых и глубокозалегающих («прямые» поиски);

чаще всего ведутся «косвенные» поиски, основанные на выделении и исследовании

- рудоносных структур,
- -рудоконтролирующих структурных элементов,
- -зон гидротермальной переработки,
- - контактового метаморфизма и окolorудного изменения пород,
- рудовмещающих комплексов пород и отдельных горизонтов.



Геологическая эффективность геофизических исследований

- ▶ На первом этапе познания недр основные задачи разведочной геофизики состоят в изучении глубинного строения земной коры, поскольку оно определяет закономерности размещения месторождений полезных ископаемых.
 - ▶ На всех дальнейших этапах поисков и разведки этих месторождений разведочная геофизика занимается специфическими задачами, главный метод решения которых состоит в изучении физических полей, создаваемых исследуемыми геологическими объектами, и в построении возможно более точной модели таких объектов, необходимой для принятия решений о дальнейшем направлении, характере и объемах геолого-разведочных работ.
 - ▶ В основе разведочной геофизики наших дней лежит исследование гравитационных, магнитных, электрических, сейсмических, термических и ядерно-физических полей геологических объектов.
 - ▶ Интерпретация данных, полученных с помощью каждого из этих методов, позволяет создать модель объекта — гравитационную, сейсмическую и т. п.
 - ▶ Но, естественно, такая модель лишь частично, односторонне адекватна геологической реальности, что обычно создает большие трудности в области геолого-геофизической методологии, а порой и упорное взаимное непонимание между специалистами.
 - ▶ Главная трудность состоит в том, что нередко при решении обратной задачи геофизики встречается ситуация, при которой совокупность данных может быть получена, если исходить из принципиально различных моделей геологического объекта, что приводит к неоднозначности решения.
 - ▶ Еще чаще приходится иметь дело с так называемыми эквивалентными решениями, т. е. с моделями искомых тел, характеризующимися параметрами, варьирующими в широких пределах, в то время как теоретические (вычисленные) поля этих моделей совпадают в пределах ошибок наблюдений.
 - ▶ Неоднозначность и эквивалентность решений, полученных с помощью одного из геофизических методов, могут быть ослаблены использованием дополнительной информации, добытой другими геофизическими методами. Поэтому комплексирование методов, как правило, приводит к значительному повышению полноты и надежности модели изучаемого геологического объекта, делает характеристику этой модели разносторонней и более-близкой к его истинному облику.
-



Комплексирование методов разведочной геофизики

- ▶ — основной принцип рациональной организации геофизических работ.
 - ▶ Не менее важное условие успешности этих работ — тщательное изучение всех геологических сведений о районе исследований и природе расположенных здесь геологических тел.
 - ▶ Знание геологической обстановки не только добавляет априорные сведения об изучаемых объектах, но и дает дополнительную информацию, важную для построения их геофизических моделей.
 - ▶ Очень существенно, что при комплексном использовании различных геофизических методов, а также геофизических и геологических данных полезная информация обычно больше, чем простая сумма информации, полученной при раздельном применении тех же методов.
 - ▶ Объясняется это тем, что дополнительные априорные данные и информация, исходящая от другого геофизического метода, создают возможность перевода части результатов, остающихся неиспользуемыми при применении только одного метода, в разряд активной информации, помогающей решению поставленной задачи.
 - ▶ Таким образом, важнейшее значение имеет не только уровень каждого из методов разведочной геофизики, но также их правильное научно обоснованное комплексирование, повышающее надежность и достоверность получаемых результатов.
-



Рациональный комплекс методов разведочной геофизики

► Определяется

- характером поставленной перед ними геологической задачи,
- особенностями физических полей изучаемых объектов,
— возможностями этих методов.

Так, решающую роль в геофизических работах на нефть и газ, в денежном выражении около 70% объемов всех геофизических работ, играет на стадии поисков сейсмический метод, однако при региональном изучении глубинного строения нефтегазоперспективных территорий, прямых поисках залежей нефти и газа, а также при геофизических исследованиях в скважинах на разведочном этапе активно используются и другие геофизические методы.



Комплексирование методов разведочной геофизики

- ▶ Комплексирование используемых методов подчиняется определенным общим закономерностям.
 - ▶ Эти закономерности связаны прежде всего с распространенностью в земной коре искомых элементов и их удельным содержанием в промышленных рудах.
 - ▶ Для железных, сульфидных медно-никелевых и полиметаллических руд можно ставить и решать геофизическими методами задачи обнаружения рудных тел на больших глубинах, выяснения приближенных параметров залегания этих тел, оценки прогнозных запасов месторождения, определения содержания полезных компонентов в естественном залегании руд.
 - ▶ Здесь возможно применение комплексов, насыщенных различными модификациями практически всех методов разведочной геофизики, за исключением, может быть, лишь геотермического, находящегося пока еще в экспериментальной стадии.
-



Комплексирование методов разведочной геофизики

- ▶ При сравнительно широкой распространенности элементов, входящих в состав полезных компонентов руды, применение комплексов геофизических методов в большинстве случаев дает крупный экономический эффект.
- ▶ Несколько сложнее обстоит дело с использованием этих методов для поисков и разведки рудных месторождений, в которых содержание полезных элементов настолько мало, что не в состоянии создать заметную разницу между физическими свойствами, а следовательно, и физическими полями рудных тел и вмещающих их пород.
- ▶ С этим приходится сталкиваться, например, при поисках и разведке месторождений золота и других благо-родных металлов, алмазов, ртути, редких элементов и т. п.
- ▶ Область применения геофизических методов здесь заметно сужается, однако они и тут остаются эффективным средством решения ряда важных геологоразведочных задач.
- ▶ При поисках и разведке рудных месторождений с малым содержанием полезных элементов геофизика не в состоянии обнаруживать рудные тела на глубине или давать прогнозные оценки запасов месторождений, как это делается для крупных, массивных рудных тел с богатым содержанием полезных элементов.
- ▶ Зато геофизика может выяснить, например, структурные условия залегания залежей россыпного и рудного золота, отыскать алмазоносные кимберлитовые трубки и выяснить приближенные параметры их залегания, обеспечить выделение ядерно-физическими методами рудных интервалов в разрезе бурящихся скважин и массовое определение содержания полезного компонента в руде, т. е. получить сведения, необходимые для промышленной оценки месторождения.



Технико-экономический эффект геофизических работ при поисках и разведке рудных полезных ископаемых

- ▶ достигается благодаря следующим факторам:
 - повышение глубинности поисковых и разведочных работ, особенно в экономически освоенных промышленных районах страны;
 - определение наиболее перспективных направлений поисковых работ;
 - улучшение достоверности поисков и разведки месторождений, что позволяет сделать более редкой сеть разведочных скважин и уменьшить объемы горных работ за счет их более точного нацеливания на объекты;
 - сокращение отбора керна из разведочных скважин, или даже отказ от него в части скважин, путем проведения геофизических исследований в скважинах (так называемое «бескерновое бурение»);
 - полная или частичная замена дорогостоящего химического опробования пород и руд экспрессным ядерно-физическим опробованием



Технико-экономический эффект геофизических работ при поисках и разведке рудных полезных ископаемых

- ▶ Наиболее широкое применение в рудных районах нашли методы электроразведки, магнитометрии и гравиметрии.
- ▶ В стадии освоения и выборочного внедрения находятся методы сейсморазведки.
- ▶ Если весь объем рудных геофизических работ принять за 100%, то доля
 - электроразведки со-ставит в них около 28%,
 - гравиметрии —19%,
 - магнитометрии — 16%,
 - аэрогеофизических работ—10%,
 - сейсморазведки — 6%,
 - геофизических ис-следований в скважинах — 18%,
 - прочих видов геофизических работ — 3%.

Удельный вес геофизики в общем объеме геологических работ при поисках и разведке руд, составляющего приблизительно 13%, то он пока еще ниже оптимального уровня, который мог быть обеспечен современным состоянием разведочной геофизики в нашей стране.



Экономическая эффективность геофизических исследований для поисков и разведки месторождений п.и.

- ▶ Чтобы оценить возможность использования любого геофизического метода для решения конкретной задачи, скажем поисков тех или иных руд, надо иметь сведения
 - о вероятных глубине залегания и размерах искомых объектов,
 - знать физические свойства и
 - структурно-текстурные особенности не только руд, но и вмещающих пород.
 - ▶ Надо обязательно принимать во внимание
 - стоимость тех или иных геофизических работ,
 - реально достижимую глубинность исследования,
 - точность установления границ объекта каждым из методов в реальной геологической обстановке,
 - характер рельефа, состав и свойства четвертичных отложений.
-



Экономическая эффективность геофизических исследований для поисков и разведки месторождений п.и.

- ▶ Успех решения любой геологической задачи во многом зависит от обоснованного выбора масштаба геофизических работ и сети измерений.
- ▶ Масштаб большинства геофизических съемок определяется средним расстоянием между линиями наблюдений, которое должно составлять приблизительно 1 см в масштабе исследования.
- ▶ Так, при съемках масштаба 1 : 50 000 расстояние между профилями наземной или маршрутами воздушных съемок будет 500 м.
- ▶ Однако гравиметрические наблюдения часто выполняют не по системе параллельных профилей, а лишь приблизительно равномерно распределяя их по площади.
- ▶ В этом случае масштаб съемки определяется в зависимости от числа пунктов измерения, приходящихся на 1 км².
- ▶ Надежность выявления аномалий определяется как густотой сети, так и точностью аппаратных измерений, достоверностью учета и исключения в процессе обработки влияния различного рода факторов негеологической природы, находящих отражение в измеряемых полях. К ним, в частности, относятся нестабильность нуля некоторых приборов, влияние рельефа местности, наличие промышленных электромагнитных полей и т. п.
- ▶ Влияние ряда помех можно снизить, выбирая рациональную методику полевых работ, осуществляя систематический контроль за работой аппаратуры, учитывая изменения условий измерений, выполняя, если это нужно, измерения высоты пунктов наблюдений.

Прямая и обратная задача геофизики

- ▶ Обработка и интерпретация геофизических данных проводится на так называемом камеральном этапе геофизических работ.
 - ▶ Она начинается с преобразования аномальных параметров поля ($Па$) в параметры, непосредственно связанные с аномалосоздающими объектами ($По$).
 - ▶ К параметрам объектов относятся их геометрические (структурные) характеристики ($ГФХ$) и физические (геофизические) свойства ($ФС$), т.е. $По$ ($ГФХ$, $ФС$).
 - ▶ Определение геометрических характеристик и физических свойств объектов ($По$) по аномальным параметрам физических полей ($Па$) называется решением **обратной задачи (ОЗ) геофизики ($Па \rightarrow По$)**.
 - ▶ Определение аномальных параметров физических полей по известным геометрическим характеристикам и физическим свойствам объектов составляет суть **прямой задачи (ПЗ) геофизики ($По \rightarrow Па$)**.
-



Прямые и обратные задачи

В каждом методе решаются с помощью известных в теории поля интегральных и дифференциальных уравнений.

Такое решение называется математическим моделированием.

- ▶ При этом реальные аномалосоздающие объекты аппроксимируются физико-геологическими моделями (ФГМ), т. е. набором тел сравнительно простой геометрической формы с заданными размерами и физическими свойствами или контрастностями свойств, для которых можно вести математический расчет аномальных параметров поля.
- ▶ В прямых задачах геофизики для простых ФГМ (одномерные среды, когда физические свойства меняются в одном направлении, например, горизонтально-слоистая среда;
- ▶ некоторые двумерные или трехмерные, например, длинный цилиндр или шар в однородной среде) имеются аналитические связи между P_a и P_o . Для более сложных ФГМ, близких к реальным, определение P_a по P_o
- ▶ производится приближенными численными методами с помощью компьютеров и ПО.



Прямые и обратные задачи

- ▶ Математическое решение прямых задач, т. е. определение параметров физического поля по известным физическим свойствам, размерам и форме геологических объектов, хотя и сложно, но однозначно.
- ▶ Математическое решение обратных задач геофизики, т. е. определение размеров геологических объектов и физических свойств слагающих их пород по наблюдаемому полю, не только значительно сложнее, но и, как правило, неоднозначно.
- ▶ Это объясняется некорректностью решения обратных задач математической физики, когда малым изменениям P_a могут соответствовать большие изменения P_o .



Геофизические методы поисков

- ▶ **Геофизические методы поисков** основаны на изучении физических свойств горных пород и полезных ископаемых.
- ▶ Эти методы имеют большое значение для поисков месторождений, перекрытых мощными рыхлыми отложениями и залегающих на больших глубинах.
- ▶ **Наибольшей эффективности геофизические методы достигли при поисках месторождений:**
 - ▶ - нефти и газа;
 - ▶ - радиоактивных руд;
 - ▶ - железных руд;
 - ▶ - угля;
 - ▶ - колчеданных руд;
 - ▶ - подземных вод.

Геофизические методы исследований широко используются при разведке месторождений для:

- изучения разрезов и опробования полезных ископаемых;
- выявления рудовмещающих структур и залежей ПИ;
- повышения качества геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических сведений

Методы исследований

- ▶ По месту и условиям проведения работ разделяется:
 - воздушные и космические,
 - наземные,
 - морские,
 - подземные (в горных выработках)

В составе последних выделяются геофизические методы исследования скважин, называемые «промысловой», «буровой геофизикой» или «каротажем скважин».



Геофизические методы поисков

- ▶ Среди различных видов геофизических исследований на первое по важности место можно поставить аэрогеофизические работы, которые позволяют ускоренно изучать труднодоступные территории и быстро локализовать перспективные для постановки поисковых работ участки.\
- ▶ В Казахстане аэрогеофизической съемкой покрыты огромные площади, тем не менее потребность в ней со временем все возрастает.
- ▶ Дальнейшее совершенствование аэрогеофизических методов расширяет возможности их применения с целью замены наземных работ.
- ▶ В этой связи очень серьезное значение приобретают две проблемы — подбор и использование носителей аппаратуры — самолетов и вертолетов, удовлетворяющих ряду технических и экономических условий, и применение усовершенствованных комбинированных (радио- и инерциальных) навигационных систем для определения координат носителя в полете с точностью до первых метров.
- ▶ Решение этих двух проблем позволит заменить геофизические наземные крупно-масштабные (1 : 10 000—1: 25 000) работы аэрогеофизической съемкой, что во много раз расширит область ее применения в рудных районах, снизит стоимость и ускорит геофизические исследования в труднодоступных местах.
- ▶ Эффективность аэрогеофизических работ должна быть поднята также за счет комплексирования различных геофизических методов.
- ▶ До недавнего времени аэрогеофизические работы выполнялись с применением одного (магнитного), реже двух (магнитного и радиометрического) методов.
- ▶ Создание комплексных аэрогеофизических станций (электрогаммамагнитных), использующих различные многометодные варианты, повысит информативность аэрогеофизики и существенно расширит круг решаемых с ее помощью задач.



Рудная геофизика

▶ **Естественные (пассивные) физические поля Земли:**

- гравитационное поле,
- магнитное поле,
- сейсмическое поле упругих колебаний, вызванных землетрясениями,
- электромагнитные поля,
- поле ядерных излучений,
- тепловое поле.

▶ **Активные (искусственные) поля, используемые в геофизике:**

- постоянные и переменные электрические и электромагнитные,
- упругих колебаний, создаваемых взрывами или вибраторами,
- тепловых или радиоактивных источников, помещенных в породу.

▶ **Шесть главных методов:**

- **гравиразведка и магниторазведка** – пассивные методы,
- **сейсморазведка** (в отличие от сейсмологии) – активный метод,
- **электроразведка, радиометрия, геотермия** – смешанные методы.

Магнитометрический метод

- **Магнитометрический метод** заключается в определении магнитного поля на поисковом участке. По способности к намагничиванию — магнитной восприимчивости все вещества делятся на:
 - - **диамагнитные** ($\chi < 0$);
 - - **парамагнитные** ($\chi > 0$).
- Вещества с высокой магнитной восприимчивостью называются **ферромагнитными**.
- **Диамагнитными** свойствами обладают кварц, кальцит, барит, флюорит, соль, гипс, ангидрит, мрамор.
- К **парамагнитным** относятся породы, содержащие в своем составе магнетит, титаномагнетит, гематит, пирротин.
- Для производства магнитных измерений разработана высококачественная отечественная аппаратура:
 - - **наземные магнитометры** — М-18, М-20, М-23, М-27;
 - - **аэромагнитометры** — АСГ-48, АММ-13, АЯМ-6 и др.



Магнитометр МФ-24ФМ

Аэромагнитная съемка.

- ▶ При глубинном геологическом картировании, поисках и изучении железорудных месторождений, сульфидных руд, цветных металлов, бокситов и др. незаменима аэромагнитная съемка.
 - ▶ С помощью высокоточной магнитометрии выделяются зоны гидротермального, контактового, а также окolorудного изменений, рудоконтролирующие тектонические нарушения.
 - ▶ С помощью высокоточной детальной аэромагнитной съемки в настоящее время ведутся поиски алмазоносных кимберлитов, бокситов, слабомагнитных руд черных и цветных металлов.
 - ▶ Необходимо шире использовать такую съемку для изучения рудных полей и поясов с целью их картирования, поисков новых рудных залежей и месторождений.
-



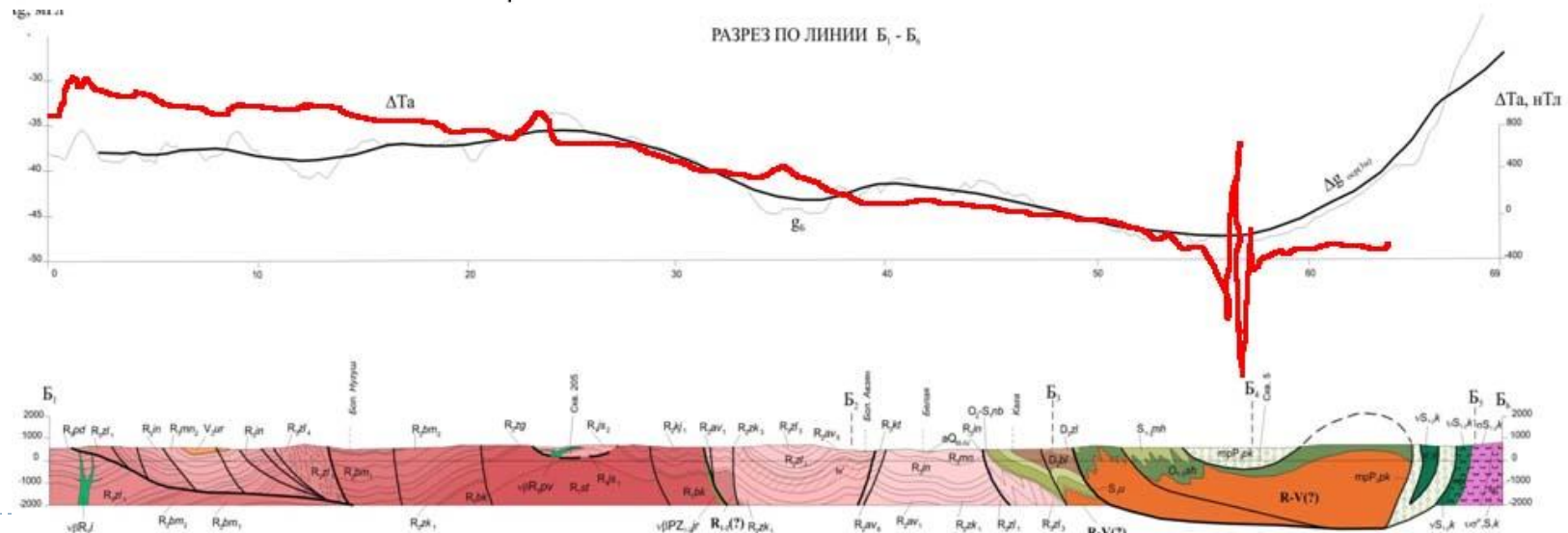
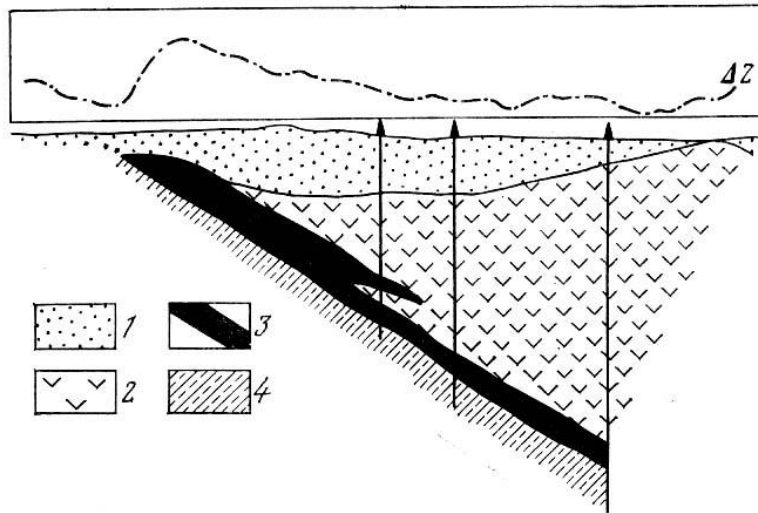
Примеры применения магнитометрического метода

- На рис. 21 приведен график, показывающий характер изменения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля ΔZ над сульфидными

- медно-никелевыми рудами. Повышенная магнитность рудного тела объясняется наличием в руде пирротина, обладающего ферромагнитными свойствами.

Рис. 21. График изменения ΔZ при поисках медно-никелевого рудного тела магнитным методом в Сёдбери (по Гельбрайту).

1 - ледниковые моренные отложения; 2 - нориты; 3 - рудное тело; 4 - подстилающие метаморфические породы



Радиометрический метод

- ▶ **Радиометрический метод** является ведущим для поисков радиоактивных руд и оказывает существенную помощь в решении общих вопросов геологического строения и поисков месторождений других полезных ископаемых. **Метод основан на определении радиоактивности природных образований.** Известно более 230 радиоактивных изотопов элементов. К ним относятся изотопы таких тяжёлых элементов, как **уран, радий, торий, актиний**, и ряда лёгких элементов — **калия, рубидия, рения, индия, олова, теллура.**
- Радиоактивность пород выражается в **альфа-, бета- и гамма-излучении.** Наиболее широкое распространение получили методы поисков, основанные на **измерении гамма- и бета-излучения.**



Аэро гамма-спектрометрический

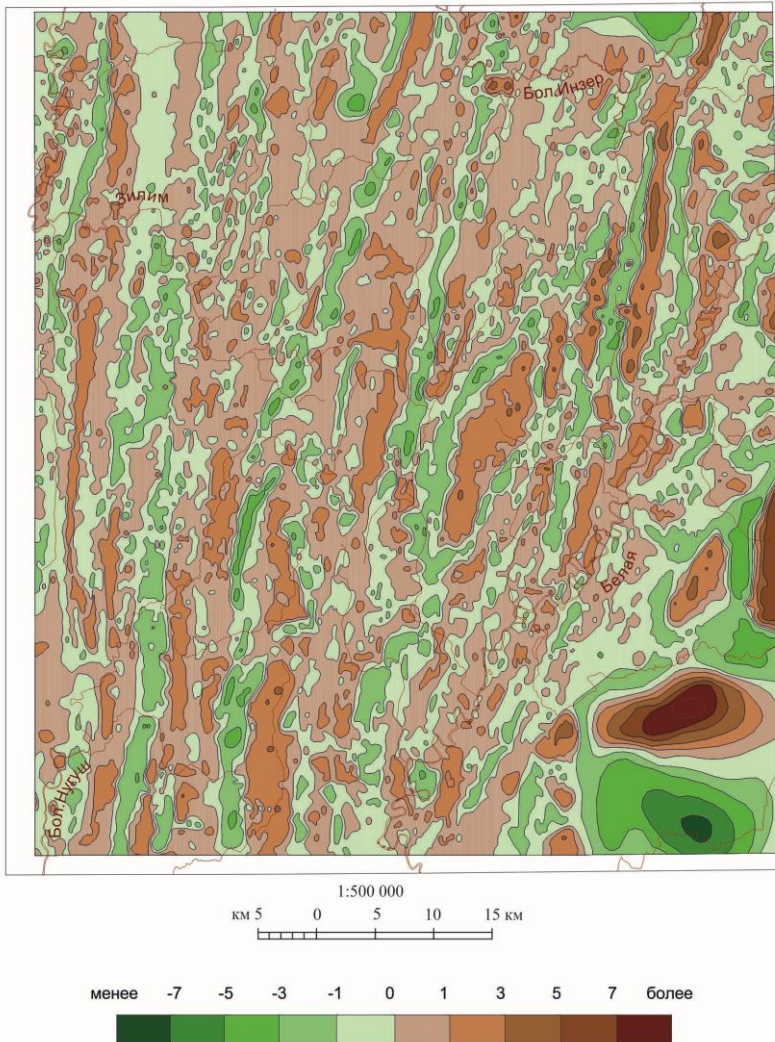
- ▶ метод, с помощью которого изучают естественное гамма-излучение земной поверхности в различных участках его спектра и который не так давно применялся только при поисках радиоактивного сырья, широко используется теперь для целей геокартирования
 - выделение интрузивных образований,
 - зон калиевого метасоматоза,
 - тектонических нарушений и т. п.,
 - а также для поисков различных рудоносных структур (интрузий, зон гидротермального и около-рудного изменений) и руд (фосфоритов, бокситов) с несколько повышенными «фоновыми» содержаниями радиоактивных элементов.
- ▶ Как метод косвенных поисков, аэрогаммаспектрометрия входит в комплекс работ при поисках золота, олова, а также ртути, вольфрама и редких металлов.



Гравиметрический метод

- ▶ **Гравиметрический метод** основан на изучении поля тяготения на поверхности земли, аномалии которого обусловлены различной плотностью горных пород, зависящий от их минерального состава и пористости. Плотность измеряется в граммах на кубический сантиметр и колеблется в значительных пределах.

Наименьшую плотность (менее 2 г/см^3) имеют песок, почвы, каменные угли. Большинство жильных минералов, слюда, бокситы имеют плотность от $2,5$ до 3 г/см^3 ; карбонаты железа и марганца, флюорит, лимонит имеют плотность от 3 до 4 г/см^3 ; богатые железные, пирротиновые, медноколчеданные и некоторые другие руды — выше 4 г/см^3 .



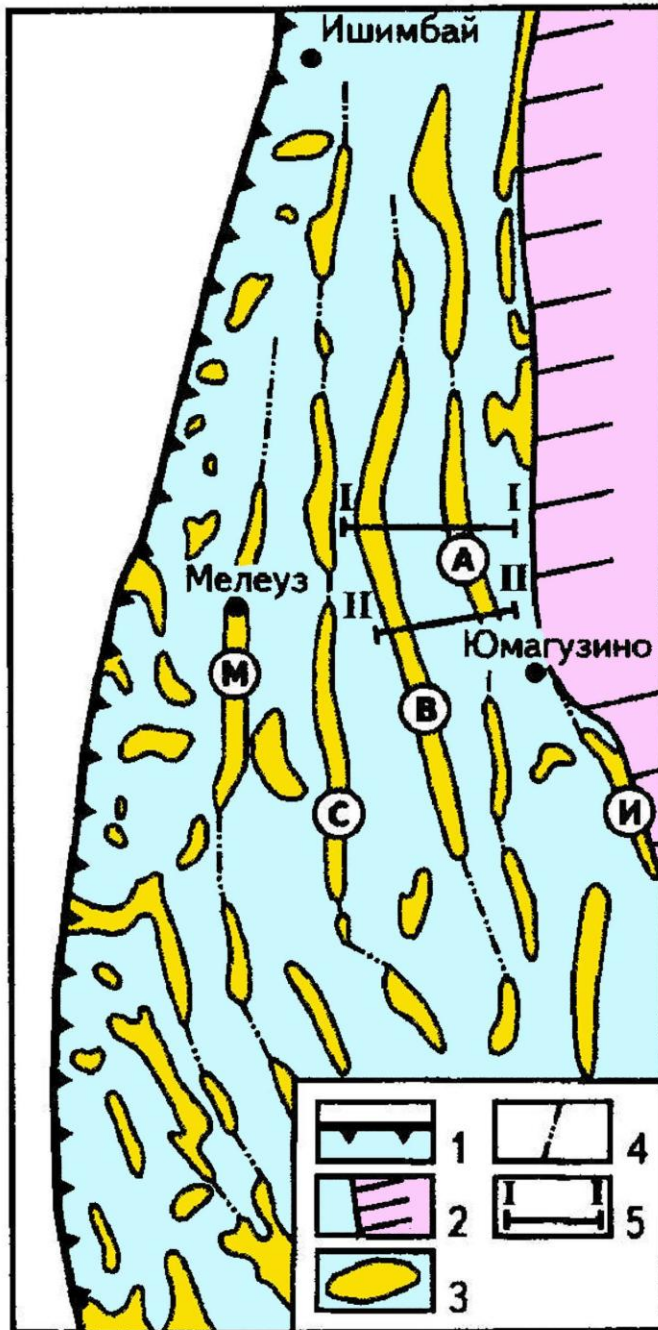
- **Метаморфические средние и кислые изверженные породы обладают плотностью от $2,5$ до 3 г/см^3 ; основные и ультраосновные породы, железистые кварциты относятся к породам повышенной плотности — от 3 до 4 г/см^3 .**

Гравиметрический метод,

- ▶ точность измерений с помощью которого повысилась до нескольких сотых долей миллигала, все чаще применяется в комплексе работ, связанных со структурным глубинным картированием и поисками рудных месторождений различных типов в разнообразных геологических условиях. Гравиметрическая съемка используется для выделения и изучения интрузивных массивов, зон разломов и нарушений, поисков рудных зон и крупных рудных тел, определения их залегания.
- ▶ Наиболее широкое распространение получили региональные и крупномасштабные (средней точности) исследования при структурном картировании и детальные высокоточные работы с целью поисков рудных месторождений.
- ▶ Гравиразведка весьма эффективна при поисках железных руд и хромитов, а также массивных сульфидных руд.
- ▶ -



Картирование соляных куполов в Предуральском прогибе гравиметрическим методом



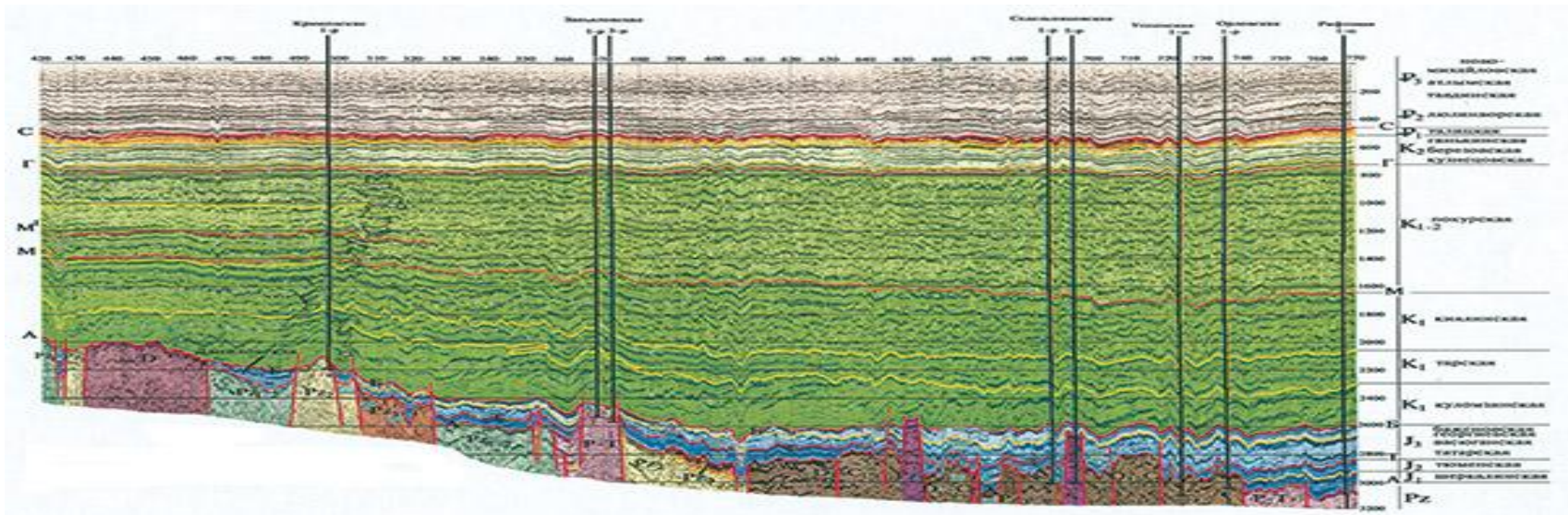
**Рис. 1. Схема размещения
галогеенных структур кунгура
Бельской впадины**

Предуральского прогиба:

*1 – западная граница впадины; 2 –
область отсутствия отложений
кунгура; 3 – соляные поднятия; 4 –
оси кунгурских валов; 5 – линии
геологических разрезов*

Сейсмометрический метод

- ▶ **Сейсмометрический метод** основан на изучении скорости распространения и времени пробега в земной коре продольных упругих волн, вызываемых взрывами в скважинах. Скорость распространения волн в горных породах зависит от физических свойств этих пород и глубины их залегания. **Наибольшая скорость распространения сейсмических волн характерна для изверженных пород**, несколько меньшая — для карбонатных и песчано-глинистых и **самая низкая — для рыхлых отложений**. Регистрация сейсмических колебаний производится сейсмическими станциями.
- ▶ **Наибольшее значение сейсмический метод имеет для поисков нефтяных и газовых месторождений**, позволяя обнаруживать нефтегазоносные структуры на большой глубине. Детальные исследования дают возможность определить размеры этих структур и помогают ориентировать расположение глубоких скважин.



Сейсморазведка

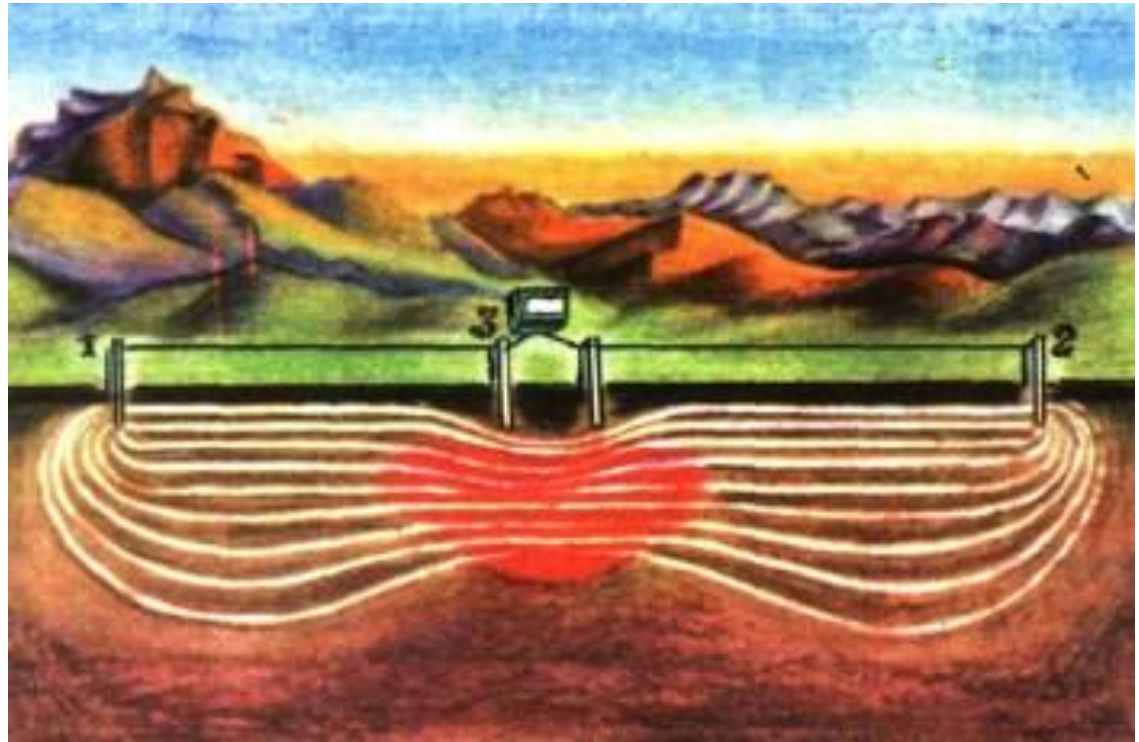
- ▶ — наиболее богатый возможностями и наиболее информативный геофизический метод — долгое время казался непозволительной роскошью при поисках и разведке рудных месторождений.
- ▶ Сейсмический метод начал применяться в последние годы для исследования структурно-тектонических особенностей строения складчатых районов, морфологии и условий залегания рудоносных интрузий, изучения структуры рудных полей и месторождений на необходимую для целей гео-логической разведки глубину.
- ▶ Он позволяет обнаруживать и прослеживать на глубину тектонические нарушения, зачастую играющие важную роль при образовании рудных месторождений.
- ▶ С помощью сейсморазведки могут быть уточнены контуры интрузии в рудоносных интрузиях, определено положение их апикальных частей, прослежены контактные боковые поверхности и нижние кромки.
- ▶ Это повышает эффективность поисков контактово-метасоматических, скарновых, штокверковых и других месторождений.



Электрометрические методы

- ▶ **Электрометрические методы** основаны на различной электропроводности горных пород и руд. В геофизической практике пользуются понятием удельного сопротивления, измеряемого в **ом-метрах**. Горные породы обычно имеют очень высокое сопротивление. В то же время **сульфиды** (пирит, галенит, халькопирит), некоторые **окислы металлов** (магнетит, касситерит, манганит), **угли и графит** хорошо проводят электрический ток.

- В связи с возможностью изучения естественных и искусственных электромагнитных полей, возникающих в горных породах под воздействием источников постоянного или переменного тока, имеется большое число модификаций электрометрических методов.



Принципиальная схема
электроразведки

«Электрометрические методы»

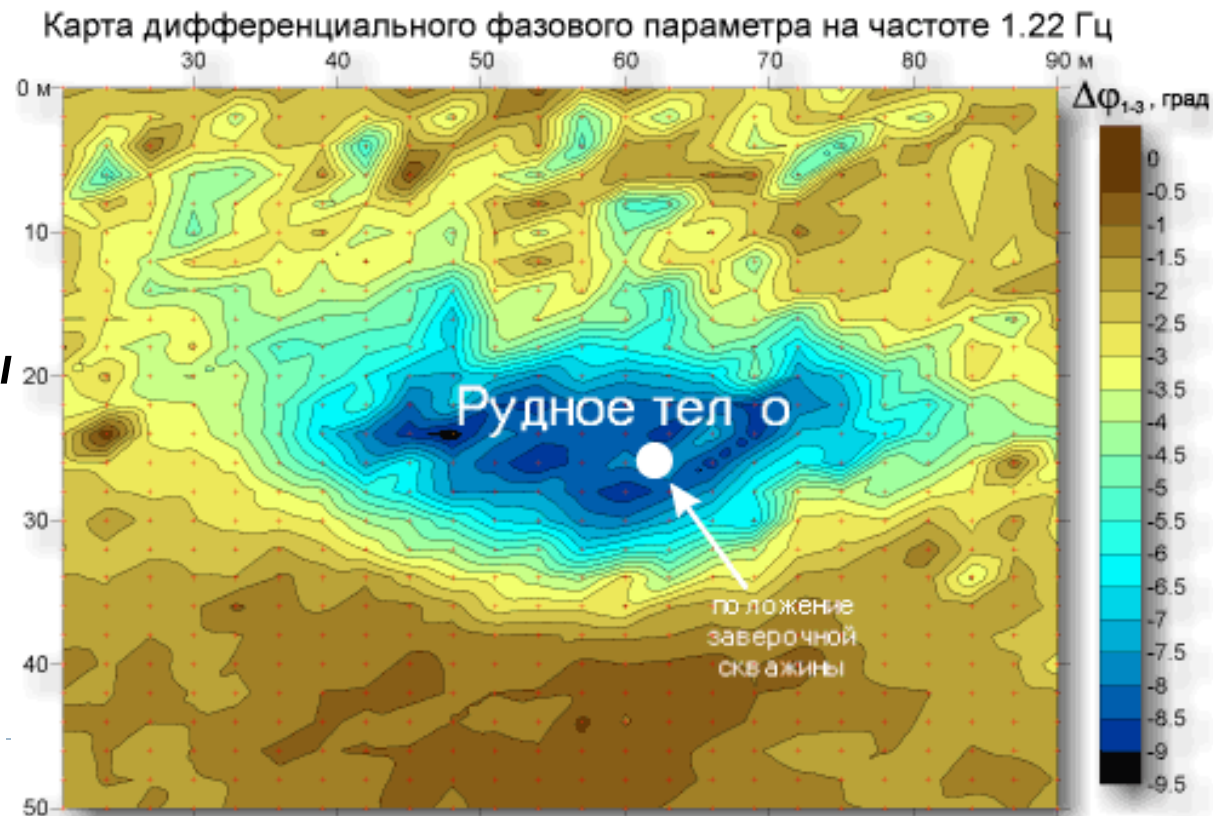
- ▶ При детальнх работах в пределах рудных полей и месторождений широко применяются методы:
 - ▶ - *естественного поля,*
 - ▶ - *заряженного тела,*
 - ▶ - *вызванной поляризации,*
 - ▶ - *радиопросвечивания,*
 - ▶ - *ВЭЗ,*
 - ▶ - *электропрофилирования* и др.
- ▶ **Метод естественного поля** основан на изучении электрических полей, возникающих вблизи контакта горных пород и залежей полезных ископаемых, водоносных пластов и т.д. Метод успешно применяется при поисках сульфидных месторождений, некоторых типов углей и графита.



«Электрометрические методы»

- ▶ **Метод вызванной поляризации (ВП)** основан на измерении разности потенциалов, возникающей в результате поляризации электронно-проводящих объектов под воздействием кратковременных импульсов внешних источников тока.
- ▶ Метод предназначен для поисков сплошных и вкрапленных рудных тел, сложенных минералами, хорошо проводящими электрический ток.

- **Метод заряженного тела** применяется для прослеживания рудных тел, вскрытых хотя бы в одной точке.



Методы электроразведки

- ▶ ведущие на рудных объектах.
- ▶ На первое место здесь можно поставить метод вызванной поля-ризации (МВП), оказавшийся очень эффективным при поисках вкрапленных сульфидных руд.
- ▶ В поисковом комплексе метод применяется в модификациях срединного градиента, комбинированного и симметричного профилирования.
- ▶ При поисках оруденения под мощным покровом рыхлых образований (до 250 м) этот метод наиболее результативен в модификации электрозондирования, т. е. с переменным расстоянием между питающими электродами.
- ▶ Детальные поиски осуществляются с помощью скважинного варианта, который позволяет выделять глубокозалегающие рудные тела в околоскважинном пространстве.



Геофизические методы в скважинах

- ▶ **Каротаж скважин** проводится для литологического расчленения разреза, уточнения мощностей и положения контактов, разновидностей пород, зон оруденения, тектонических нарушений и др.
- ▶ Методы скважинной геофизики применяются при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. Наиболее широко распространены методы каротажа:
 - ▶ - **электрические**: самопроизвольной поляризации (**ПС**), кажущихся сопротивлений (**КС**), вызванной поляризации (**ВП**);
 - ▶ - **ядерно-физические**: гамма-каротажа (**ГК**), плотностного гамма-каротажа (**ГГК -С**), нейтронного каротажа (**НК-Н, НК-Т, НТК-С**).
 - ▶ - **магнитные**: магнитного каротажа (**МК**).



«Геофизические методы в скважинах »

- ▶ Геофизические методы, предназначенные для контроля технического состояния скважин, включают в себя:
 - ▶ - **инклинометрию;**
 - ▶ - **кавернометрию.**
 - ▶ С помощью **инклинометрии** скважин **определяются:**
 - ▶ - **углы отклонения оси скважин от вертикали** (зенитное искривление);
 - ▶ - **углы отклонения оси скважин от плоскости геологического разреза** (азимутальное искривление). В скважинах, пробуренных в породах с повышенной магнитной восприимчивостью, измерения проводятся гироскопическими инклинометрами.
 - ▶ **Кавернометрия** проводится специальными кавернометрами **для определения фактических диаметров скважин**, изменение которых связано с обрушением их стенок на участках неустойчивых пород (пески, тектонические зоны и др.).
-



Контрольные вопросы

- ▶ 1. Геологические задачи, решаемые с помощью геофизических методов.
- ▶ 2. Классификация геофизических методов по видам изучаемых полей
- ▶ 3. Классификация геофизических методов по технологии проведения полевой съемки
- ▶ 4. Основные преимущества и недостатки геофизических методов.
- ▶ 5. Решение прямой задачи геофизики.
- ▶ 6. Обратная задача геофизики.
- ▶ 7. Этапы проведения геофизических работ.
- ▶ 8. Виды и стадийность геофизических работ.
- ▶ 9. Понятие физико-геологической модели
- ▶ 10. Факторы влияющие на экономическую эффективность геофизических исследований

