

Министерство образования и науки Республики Казахстан



Институт геологии, горного и нефтегазового дела
Кафедра: Геофизика

Комплексировании методов поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых

для специальности 7М07105
«Нефтегазовая и рудная геофизика»

Истекова С.А., докт. геол.-минерал. наук

АЛМАТЫ 2022

Лекция 11

Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Рудная геофизика



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 околорудного 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 рудной 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 рудной геофизики

► Определяется

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

Так, решающую роль в геофизических работах на рудных месторождениях, в денежном выражении около 70% объемов всех геофизических работ, играет на стадии поисков методы потенциальных полей, однако при региональном изучении глубинного строения перспективных территорий, прямых поисках руд, а также при геофизических исследованиях в скважинах на разведочном этапе активно используются и другие геофизические методы.



Комплексирование методов рудной 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 рудной 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 аппаратурных измерений, достоверностью учета и исключения в процессе обработки влияния различного рода факторов негеологической природы, находящихся 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.

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.

Геологическая съемка как основа ведения поисковых работ

- Геологические наблюдения, их анализ и синтез, отраженные на геологических картах, представляют собой научную основу ведения поисков.
- При составлении **регионально-геологических карт** на первом этапе изучения недр съемка представляет собой главный целевой вид работ.
- Она проводится для выяснения геологического строения территории, всех важнейших вопросов стратиграфии, тектоники, магматизма, четвертичной геологии и геоморфологии.
- На стадии **детальных поисков** большое значение имеют специализированные геологические маршруты, обеспечивающие сбор дополнительных данных для уточнения регионально-геологических карт масштабов 1 : 50 000—1 : 25 000.
- На стадии **поисково-разведочных** работ или при проведении детальных поисков урановых месторождений в масштабе 1:10 000 обычно проводятся специализированные крупномасштабные геологические съемки с применением необходимого объема картировочных горно-буровых работ.
- При составлении специализированных **крупномасштабных карт** необходимо использовать материалы аэрофотосъемки, что способствует несравненно более глубокому пониманию структуры поискового участка и обеспечивает правильную увязку основных элементов геологического строения между точками и линиями наблюдений по естественным и искусственным обнажениям.



Методы региональных прогнозно-минерагенических исследований

- Большое разнообразие геологических обстановок и типов месторождений полезных ископаемых определяет широкий набор методов прогнозно-минерагенических исследований.
- При региональных прогнозных исследованиях широко используются следующие геолого-геофизические дистанционные и наземные методы: аэрокосмические, геофизические, геохимические, минералого-петрографические, регионального геологического картирования, комплексный минерагенический анализ материалов геологосъемочных работ.

Аэрокосмические методы

- Аэрокосмические методы используемые для прогнозирования, включают **аэрофотосъемку, космические радиолокационную, инфракрасную, спектральную многозональную, аэромагнитную, гравиметрическую, косморadiометрическую съемки.**
- При выявлении перспектив регионов на тот или иной комплекс полезных ископаемых предпочтение отдается определенному масштабу и виду дистанционных исследований.
- Последовательная детализация данных дистанционных методов дает максимальный результат при использовании различных материалов с четырехкратным различием в их масштабах.





Аэрофотосъемка
Ковыктинского месторождения



Космосъемка.
Вынгапуровское месторождение,
Россия
Пространственное разрешение: 2,5
метра



-  **Материалы дистанционных исследований используются для решения следующих прогнозно-минерагенических задач [Прогнозно-металлогенические исследования..., 1985].**
1. Выявление и анализ закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.
 2. Определение минерагенических факторов локализации оруденения.
 3. Минерагеническое (металлогеническое) районирование.
 4. Разработка критериев прогноза.
 5. Выделение и оценка рудоперспективных площадей и объектов.
6. Определение ландшафтно-геохимических особенностей и типов геолого-тектонических обстановок для выполнения прогнозирования.
 7. Выявление продолжений известных рудоконтролирующих и рудолокализирующих структур.
 8. Анализ минерагенического значения выявленных линейных, кольцевых, блоковых структур.
 9. Определение узлов пересечения известных рудоконтролирующих структур со вновь выявленными геологическими структурами по аэро- или космическим фотоснимкам.
 10. Изучение характера изображения на аэрокосмических снимках рудных узлов, рудных полей, месторождений и поиски их аналогов на соседних площадях, отвечающих условиям типизации
 11. Выявление и уточнение структурного положения на площади месторождений.

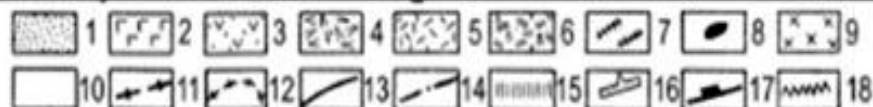
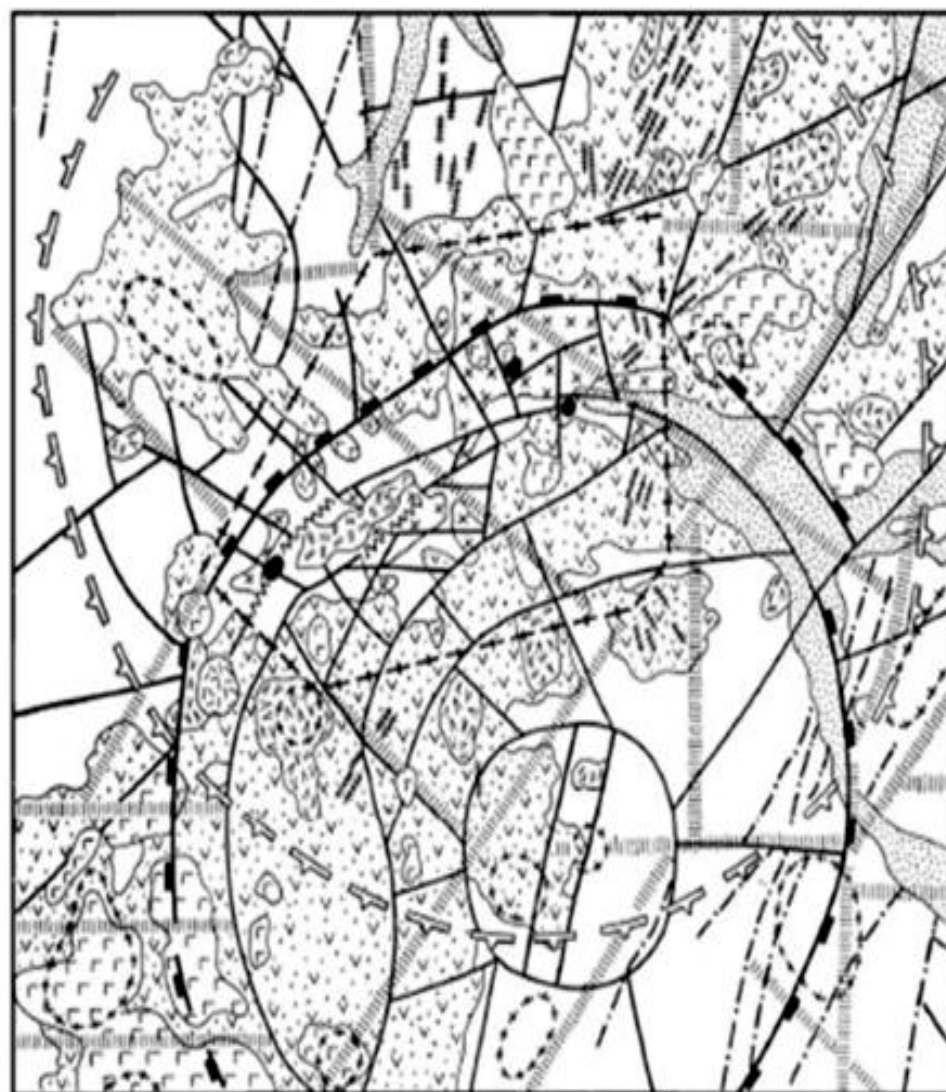
Аэрокосмические методы

- Использование космических снимков при минерагенических исследованиях направлено на **выявление следующих рудоконтролирующих структур:**



1. **сводово-глыбовых поднятий**, возникших в процессе активизации глубинного палеодиапиризма, магматизма, метасоматизма и определивших минерагеническую зональность концентрического типа;
2. **линейных сквозных зон**, секущих общий структурный план участков различного геологического строения, среди которых выявляется система рудоконтролирующих структур;
3. **очагово-купольных структур** магматического происхождения, обладающих радиально-концентрическим строением и контролирующих размещение отдельных рудных узлов и рудных полей

- При выявлении по аэрокосмическим материалам площадей, перспективных на нахождение полезных ископаемых, **существенное значение приобретают геометрические особенности геологического объекта.**
- В первую очередь к ним относятся **кольцевые структуры**, отражающие различные неоднородности верхней мантии и низов земной коры [Коробейников, 2007, 2008].
- Основными методическими приемами использования комплекса аэрокосмических материалов при прогнозно-минерагенических исследованиях являются:
 1. **последовательная детализация аэрокосмических материалов**, начиная с мелкомасштабных;
 2. использование **комплекта аэрокосмических материалов** разных видов, а также **дистанционных фотосъемок** одного вида, но различных по сезонным условиям съемки;
 3. **комплексная интерпретация аэрокосмических геофизических, геохимических** и других материалов дистанционных съемок.



Тектоническая схема Быстринской очаговой структуры (бассейн реки Быстрой, хр. Кузмоч, Восточная Камчатка).

Составил В. А. Селиверстов с использованием данных съемок ПГО «Камчатгеология».

1-9 – верхний структурный ярус: 1 – рыхлые четвертичные отложения, 2 – верхнечетвертичные ареальные андезитобазальтовые вулканы, 3 – плиоценовые андезиты и дациты тумрокской свиты, 4-6 – экструзии (4 – андезитов, 5 – дацитов, 6 – риолитов), 7 – крупнейшие скопления даек андезитов и порфировидных диоритов, 8 – тела эксплозивных брекчий, 9 – плиоценовые габбро, диориты и кварцевые диориты Быстринского массива, 10 – нижний структурный ярус – дислоцированные мел-палеогеновые вулканитические, вулканогенно-осадочные и терригенные отложения; границы интенсивных положительных магнитных аномалий, маркирующие: 11 – эндоконтакты Быстринского массива, 12 – нескрытые субвулканические тела; 13-15 – тектонические нарушения: 13 – сбросы и взбросы верхнего структурного яруса, 14 – сбросы и надвиги нижнего структурного яруса, 15 – важнейшие расколы фундамента; границы очаговых структур 16 – вулкано-плутонической Быстринской, 17 – тектоногенной Волопадной; 18 – некоторые минерализованные зоны

- Под **спектрозональной аэрофотосъемкой** понимается **аэрофотосъемка**, выполняемая на многослойных цветных фотоматериалах, обладающих разной чувствительностью к определенным зонам спектра и воспроизводящих изображение в условных цветах – в видимых и инфракрасных зонах спектра.
- Эти особенности **спектрозональной съемки** способствуют выявлению на снимке дополнительных компонентов ландшафта, являющихся косвенными или прямыми признаками рудных объектов.
- Иногда на фотоснимках удается определять даже ориентировку скрытых рудных зон и крупных рудных тел отмечают унаследованные рудоконтролирующие структуры.



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.

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 околорудного 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.



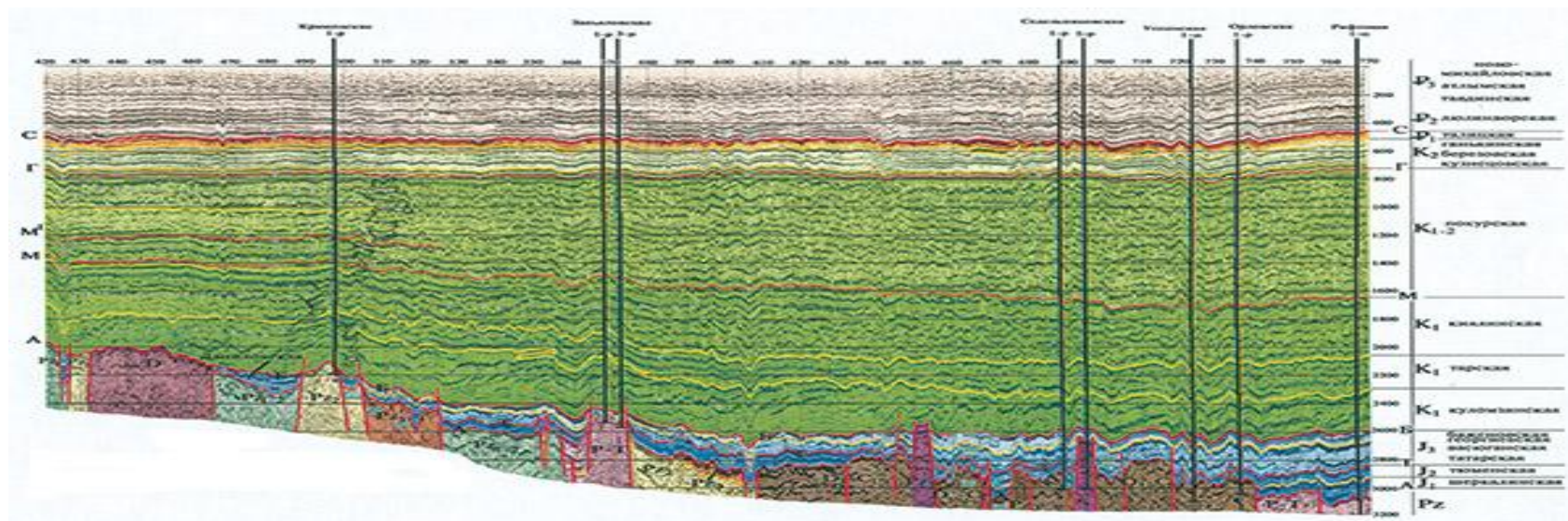
Сейсморазведка

- ▶ — 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.
-



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.



- **Сейсмические методы** (КМПВ, МОВ, МОГТ, МРНП, МПВ, ГСЗ, МОГ) успешно используются для изучения внутренней структуры сложнопостроенных метаморфизованных осадочно-эффузивных толщ, интрузивов, вмещающих и контролирующих распределение тех или иных месторождений полезных ископаемых.
- **Аэрогаммаспектрометрическая, спектрозональная съемки** дают возможность разделять интрузивы по составу, геохимической и металлогенической специализации (по U, Th, Ra, K), например, по калишпат-альбитовым автометасоматитам, грейzenам, березитам-лиственитам, аргиллизитам, пропилитам.



- **Гравиметрическая съемка** является одним из наиболее эффективных способов изучения глубинного геологического строения региона.
- С помощью **изотопных и палеомагнитных методов** определяется абсолютный и относительный возраст горных пород.
- Тем самым геофизические исследования можно использовать при **стратиграфической корреляции «немых» толщ**, несущих оруденение или определять возрастную последовательность магматической, метаморфической, метасоматической деятельности в регионе.

- **Высокочастотная гравиметровая съемка** с повторением наблюдений через определенное время, **сейсмогеологические методы изучения малых местных землетрясений** могут фиксировать проявления новейшей тектоники отдельных блоков земной коры.
- Кроме прямого определения времени активизации глубинных тектоно-сейсмических процессов, эти исследования позволяют судить о нахождении на площади рудоконтролирующих факторов.

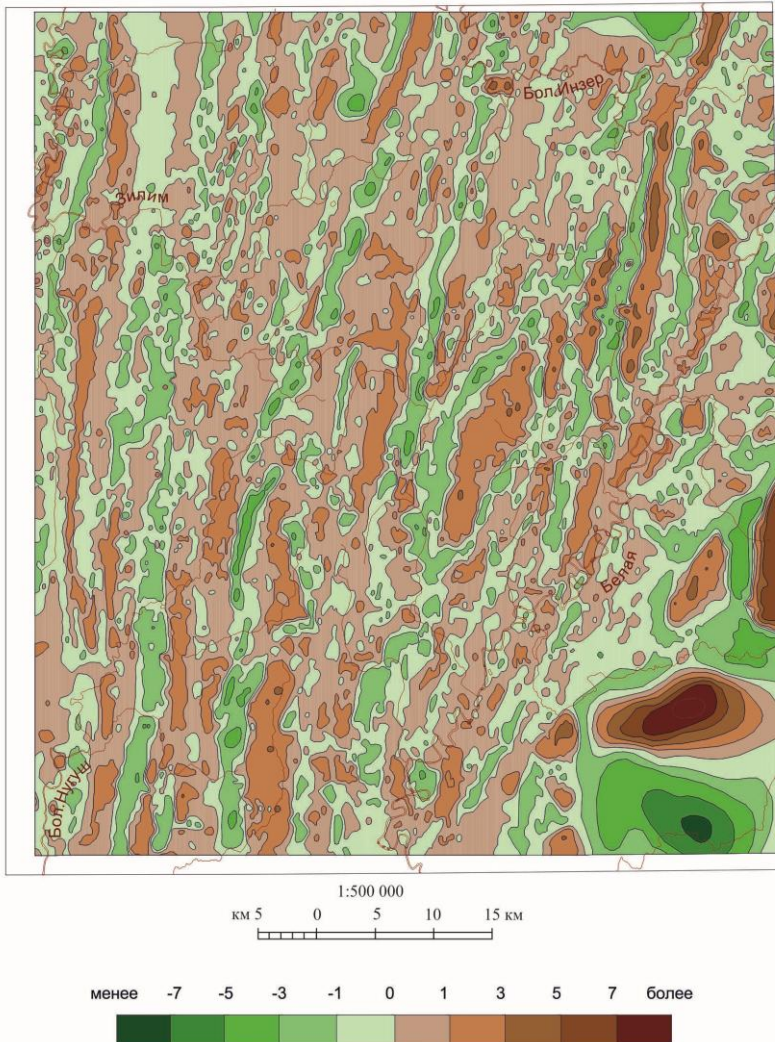


Гравиметрический метод

- ▶ **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.
- ▶ -



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.



- **Гамма-спектрометрия, фотонейтронный, нейтронно-активационный** и другие ядерно-физические методы, **магнитометрия, методы вызванной поляризации, естественного поля** отражают участки с содержаниями рудных элементов или минералов в горных породах.
- Такие сведения используются для прямого прогноза и оценки возможных количеств этих компонентов на исследованных территориях.



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

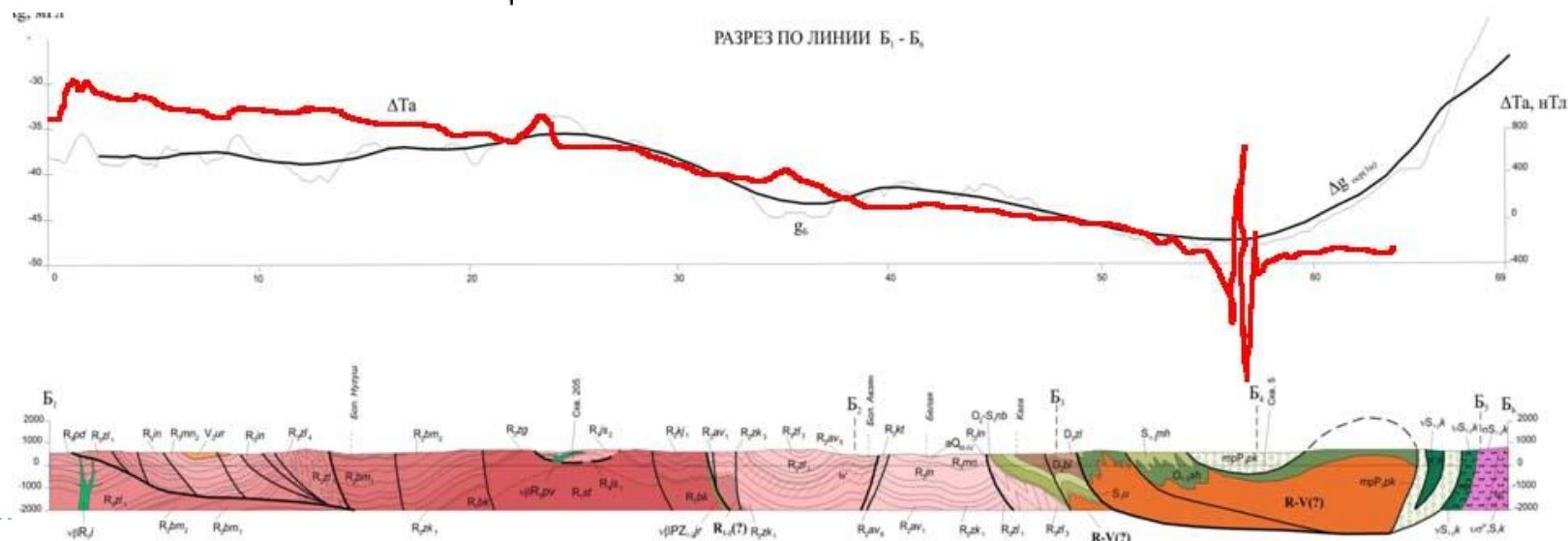
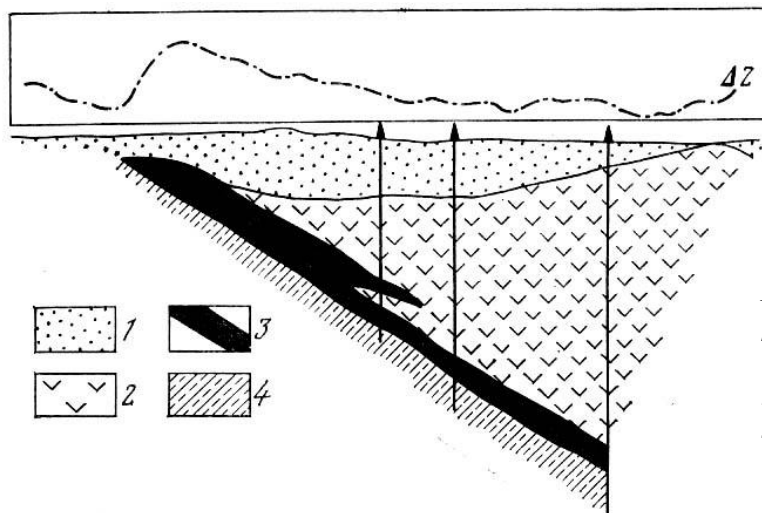
Примеры применения магнитометрического метода

- На рис. 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).

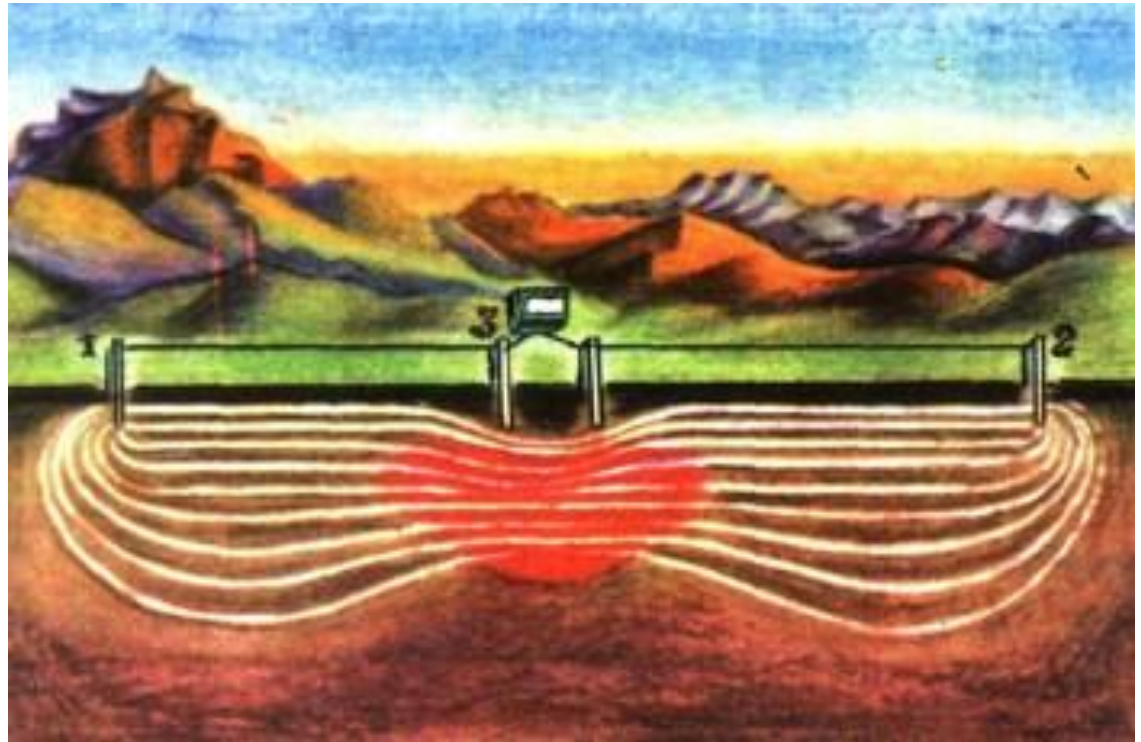
1 - ледниковые моренные отложения; 2 - нориты; 3 - рудное тело; 4 - подстилающие метаморфические породы



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

- Для изучения мощности рыхлого покрова в закрытых, полужакрытых территориях используются вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) иногда в комплексе с различными модификациями электропрофилирования.
- Зоны гидротермального метасоматоза с продуктивной сульфидной прожилково-вкрапленной минерализацией успешно выявляются методами вызванной поляризации (ВП) и естественного электрического поля (ЕП).
- При изучении рудоконтролирующих разрывов весьма эффективны аэроэлектроразведочные методы длинного кабеля (МЭДК) и вращающегося магнитного поля (ВМП).

«Электрометрические методы»

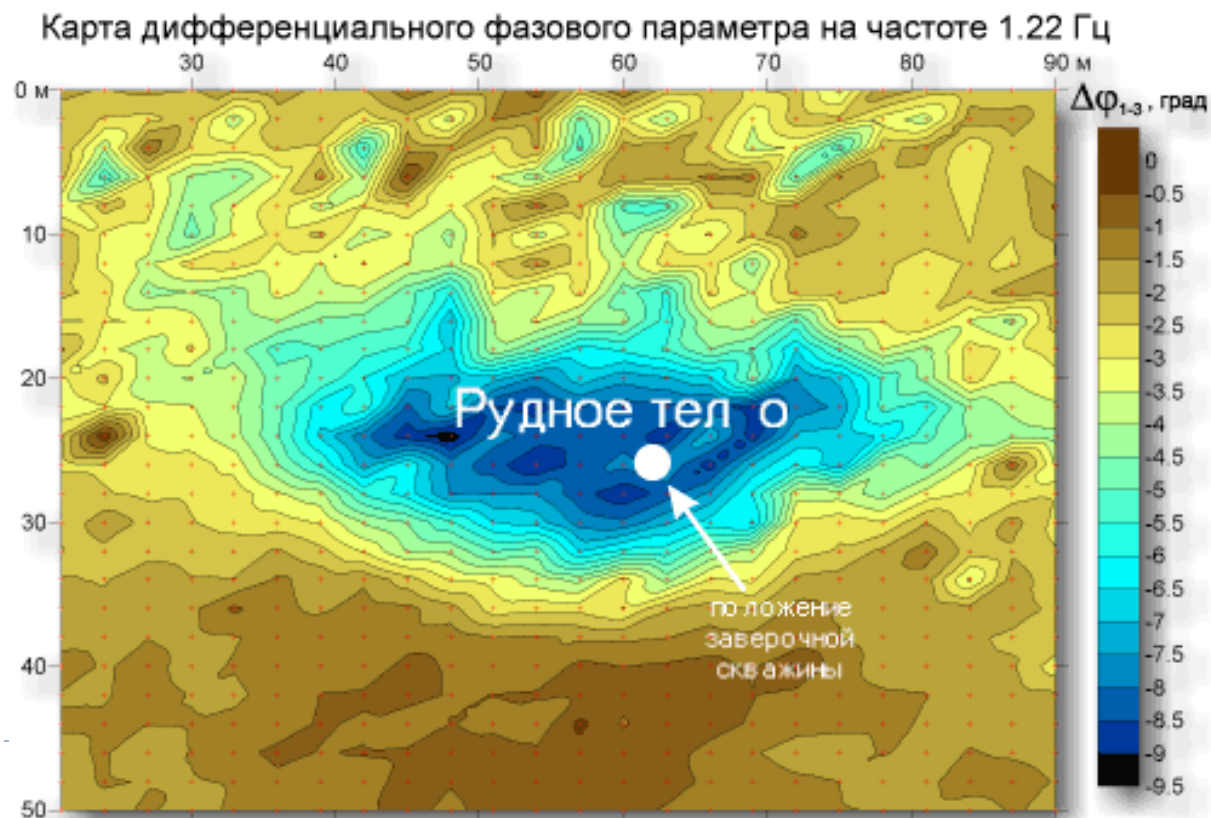
- ▶ При детальным работах в пределах рудных полей и месторождений широко применяются методы:
 - ▶ - *естественного поля,*
 - ▶ - *заряженного тела,*
 - ▶ - *вызванной поляризации,*
 - ▶ - *радиопросвечивания,*
 - ▶ - *ВЭЗ,*
 - ▶ - *электропрофилирования* и др.
- ▶ **Метод естественного поля** основан 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 поляризации (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.).
-



- ▶ **Рациональные комплексы методов геофизики и геохимии позволяют в короткие сроки локализовать поисковые площади и переходить непосредственно к крупномасштабным поисково-оценочным работам с рекомендациями для заверочного бурения**



Физико-геологическое моделирование

- ▶ *Формирование ФГМ* какого-либо геологического объекта, процесса или явления предусматривает несколько последовательных операций, к которым относятся:
- ▶ – постановка геологической задачи;
- ▶ – выбор объекта моделирования (земная кора, конкретный блок земной коры, рудная или нефтегазовая провинция, перспективные структуры на рудные, нерудные, нефтегазовые месторождения, отдельные рудные тела, нефтегазовые залежи и т.д.) с построением априорной геологической модели;
- ▶ – расчет аномальных петрофизических параметров моделируемого объекта и его вмещающей среды;
- ▶ – построение петрофизической модели и выделение на ее основе структурно-вещественных комплексов;
- ▶ – решение прямых задач геофизики для каждого метода, т.е. построение модели физических полей;
- ▶ – установление возможной неоднозначности решения обратных задач геофизики;
- ▶ – оценка адекватности сформированной ФГМ реальному объекту на эталонах, т.е. на объектах, аналогичных исследуемому, но с известным геологическим строением.

Типы моделей при геофизических исследованиях

- ▶ Проектирование геофизических работ начинается с постановки целевого задания и выбора объекта исследований.
- ▶ Целевое задание определяется стадией (этапом) геологоразведочного процесса. Выбор объекта и предварительная оценка его параметров основаны на априорной информации
- ▶ Априорная информация извлекается из анализа результатов работ, проведенных на предшествующих стадиях (этапах).
- ▶ При изучении возможностей отдельного геофизического метода и комплекса методов для решения поставленной задачи исследователь
- ▶ абстрагируется от конкретных свойств объекта, используя некоторую обобщенную модель объекта со статистически усредненными физическими свойствами, геометрией и формой.
- ▶ Моделирование, ввиду многообразия геологических условий, является единственным способом получения подобных обобщенных сведений об объекте, поскольку даже однотипные месторождения одного и того же рудного поля различаются по морфологии, вещественному составу, условиям залегания, степени изменения вмещающих пород и т.д.



► Понятие о физико-геологической модели.

- С целью обоснованного проектирования геофизических работ и выбора комплекса методов вводится понятие «*физико-геологическая модель*» объекта исследований, впервые предложенное и развитое для задачи поисков рудных месторождений Г.С. Вахромеевым.
- По его определению под физикогеологической моделью (ФГМ) понимается *возмущающее тело, обобщенные размеры, форма и контрастность физических свойств которого с той или иной степенью приближения аппроксимируют реальные объекты, подлежащие обнаружению.*
- ФГМ – это система абстрактных возмущающих тел и вызываемых ими аномальных эффектов, аппроксимирующих геологический объект и с необходимой для моделирования детальностью отражающих его структуру, размеры, форму, петрофизические свойства и соответствующее им объемное распределение физических полей.
- Основными составляющими ФГМ являются геологическая модель, петрофизическая модель и модели физических полей.



► **Геологическая модель –**

- **система** элементов геологического строения, обобщенно описывающая состав, структуру, форму изучаемого объекта и его вмещающей среды.
- В задачах геологического картирования основным результатом является *геологическая карта, представляющая модель геологического пространства*, на которой средствами картографии (с использованием комплекса геолого-геофизических методов) отражены состав, строение и история формирования. К этому типу модели тесно примыкают модели геологических и геолого-геофизических разрезов.
- В настоящее время построение геологических карт и разрезов осуществляется на основе геоинформационных систем, включающих программное обеспечение географических информационных систем Arc GIS, Arc Info, Map Info, Auto CAD, а также специализированные программы по обработке геолого-геофизических данных.



▶ **Петрофизическая модель (ПФМ)**

- ▶ – модель, характеризующая распределение физических свойств в плане, разрезе, пространстве.
- ▶ ПФМ – это совокупность взятых в природных границах разновидностей горных пород, которая состоит из равновесных парагенетических минералов, представлена двумя координатами (состав и время) и охарактеризована статистическими распределениями физических свойств.
- ▶ Выделяют
 - петромагнитные,
 - петроплотностные,
 - петроэлектрические,
 - тепловые,
 - сейсмические (скоростные и глубинные) модели.



► **Модель физических полей –**

- *модель, описывающая характер физического поля в верхнем и нижнем полупространстве, в которой отражены интенсивность поля, его морфология, аномальные эффекты и различные типы помех.*
- При формировании ФГМ целый ряд исследователей используют такие понятия, как структурно-вещественный комплекс и прогнозно-поисковая модель.
- *Структурно-вещественный комплекс (СВК) – это совокупность*
- *квазиоднородных на данном уровне исследований геологических образований (горных пород, рудных тел), которые в физическом поле выделяются как единый возмущающий объект, т.е. объединенные по одному и нескольким физическим свойствам геологические образования. СВК подразделяют на рудоконтролирующие, рудовмещающие и рудные.*

► .



-
- ▶ ***Рудоконтролирующие СВК*** применительно к выделению рудных полей соответствуют конкретным рудоконтролирующим элементам геологического строения.
 - ▶ Например, рудоконтролирующими СВК вулкано-плутонических структур является система некков, фиксирующаяся периферической кольцевой зоной геофизических аномалий, и отложения вершинной кальдеры палеовулкана, характеризующейся пониженными физическими полями в центре структуры
 - ▶ ***Рудовмещающие СВК*** включают метасоматические образования и
 - ▶ продуктивные горизонты, являющиеся основным объектом при выделении месторождений и рудных тел. Рудные СВК соответствуют непосредственно рудным скоплениям, рудным телам.
-



► **Прогнозно-поисковые модели (ППМ)**

- *представляют собой иерархически построенный ряд моделей объектов разного ранга: рудная провинция , рудный узел , рудное поле), месторождение , в которой каждая последующая модель является результатом вычленения и дифференциации наиболее существенной части модели более высокого ранга.*
- *Для задачи поисков ограничиваются построением моделей трех уровней генерализации геологической среды в масштабах 1:1 000 000; 1:200 000 и 1:50 000.*
- *ППМ представляют собой сочетание поисковых геофизических признаков и критериев, в которых находят отражение изучаемый объект.*
- *Эти признаки и критерии, как правило, изменяются при переходе от верхнего к нижнему уровню зондирования литосферы, т.е. они обычно различны для спутниковых, аэро- и наземных исследований.*
- *Комплексирование спутниковых, воздушных, наземных (морских) и скважинных геофизических исследований позволяет установить признаки и критерии, лежащие в основе ФГМ и ППМ при разноуровневых наблюдениях.*



Контрольные вопросы

- ▶ 1. Геологические задачи, решаемые с помощью геофизических методов. Классификация геофизических методов по видам изучаемых полей
 - ▶ 3. Классификация геофизических методов по технологии проведения полевой съемки. Основные преимущества и недостатки геофизических методов.
 - ▶ 5. Решение прямой задачи геофизики. Обратная задача геофизики.
 - ▶ 6. Масштабы геофизических исследований. Этапы проведения геофизических работ. Виды и стадийность геофизических работ.
 - ▶ 7. Факторы определяющие выбор комплекса геофизических методов на рудных месторождениях
 - ▶ 8. Понятие физико-геологической модели. *Геологическая модель*
 - ▶ 9. *Петрофизическая модель. Модель физических полей.*
 - ▶ 10 Факторы влияющие на экономическую эффективность геофизических исследований. Техничко-экономический эффект геофизических работ при поисках и разведке рудных полезных ископаемых
-

