

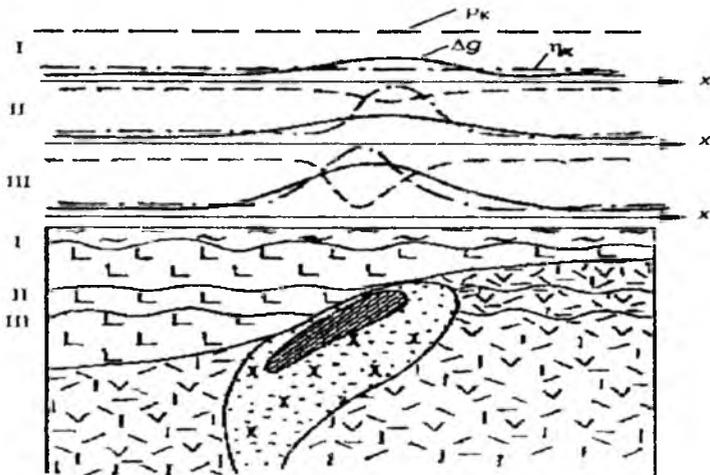
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

# КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И КАРОТАЖНЫЕ РАБОТЫ

Часть 2

Конспект лекций



Ташкент – 2015

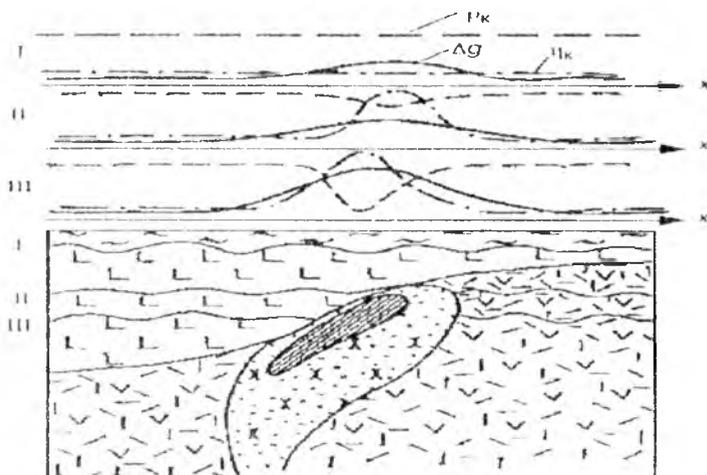
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

# КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И КАРТАЖНЫЕ РАБОТЫ

Часть 2

Конспект лекций



Ташкент – 2015

Комплексирование геофизических методов и каротажные работы.  
Ангонов А.Г. – Ташкент: ТашГТУ, 2015. – 160с.

Конспект лекций составлен на основании учебного плана и соответствующей рабочей программы для студентов - бакалавров. Лекции по направлению 5311700 «Геология, поиск и разведка месторождений полезных ископаемых (твердые полезные ископаемые)» бакалавриата высшего образования предназначены для студентов горно-геологических направлений высших технических учебных заведений. Конспект лекций также может представлять интерес и для студентов магистратуры различных специальностей геолого-геофизического профиля.

*Печатается по решению научно-методического совета ТашГТУ*

*Рецензенты:*

Зам. начальника ПГО  
(ОАО «Узбекгеофизика»)  
Начальник ОМП (ПЗ)  
(ОАО «Узбекгеофизика»)

Н.А.Голубев  
М.Р. Тиллябаев

Зав лабораторией гидрогеофизики  
института «ГИДРОИНГЕО»

Р.А.Турсунметов

к.г.-м.н., доц. ТашГТУ

Р.Ю.Юсупов

## Лекция 1.

### ВВЕДЕНИЕ, ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НАУКИ

Геофизические методы изучения, познания и исследования земной коры (ГМИПИЗК), **называемые по-разному: разведочная и скважинная; прикладная и промысловая; региональная, разведочная и геофизические исследования скважин (или каротажа),** - это научно-прикладной раздел общей геофизики, **предназначен для изучения земной коры и решения широкого круга геологических, технических и прочих задач.**

**Глобальная геофизика, как обобщающая наука, изучая Землю и околоземное пространство с помощью естественных и искусственных физических полей, занимает среди точных и естественных наук (астрономии, физики, математики, географии, геологии, химии) уникальное стыковое положение.** Она использует достижения этих фундаментальных наук или родственных им научно-прикладных дисциплин (например, космонавтики, геодинамики, информатики, электроники, автоматике и др.), ставя перед ними немало проблем теоретического и прикладного плана.

**Глобальная геофизика как обобщающая фундаментальная наука включает не только Физику Земли, но и геофизику космоса и атмосферы, гидросферы, а также науки, изучающие конкретные физические поля Земли: гравиметрию, магнитометрию, геоэлектрику, сейсмологию, сейсмометрию, термометрию, ядерную геофизику.**

**Из этих фундаментальных геофизических наук выделяются научно-прикладные разделы. Так, геофизика воздушной оболочки включает физику космоса и атмосферы, метеорологию, климатологию и др.**

**Геофизика водной оболочки (гидросферы) состоит из гидрофизики, океанологии, физики моря, лимнологии (изучение озер), гидрологии (изучение рек), подземной гидросферы, гляциологии (изучение ледников) и др.**

**Из геофизики литосферы выделились разведочная (правильнее сказать «поисково-разведочная») (или прикладная геофизика) с методами, имеющими большое практическое значение при поисках и разведке полезных ископаемых и называемыми гравиразведкой, магниторазведкой, электроразведкой, сейморазведкой, терморазведкой, ядерно-геофизической и геофизические методы исследования скважин (ГИС).**

Кроме названных выше выделяют и другие оболочки (сферы) Земли: биосферу (сферу жизни), гуманитарную сферу, ноосферу (сферу разума) и др.

Земля и все ее сферы являются открытыми, *активно живущими, динамическими, нелинейными системами, тесно связанными между собой.* Они окружены космическим пространством (физическим вакуумом), насыщенным высокоэнергетическими физическими полями импульсно-ритмичной формы. Эволюция Вселенной, Галактики, Солнца, Земли, биосферы сопровождается циклическим обменом вещества (от корпускулярного излучения космоса до извержения вулканов), энергии (от слабых полей в молекулах до гравитационных полей сверхзвезд), а может быть и обменом информации между биосферой и космосом (например, через многочисленные ритмы Вселенной).

**Предметом исследований (объектом изучения) геофизических методов (прикладной геофизики) являются:**

- 1) глубинные структуры земной коры на суше и океанах (платформенные, геосинклинальные, рифтовые области, океанические впадины и др.);
- 2) кристаллический фундамент;
- 3) осадочный чехол;
- 4) полезные ископаемые в них;
- 5) верхняя часть земной коры, называемая геологической (геофизической) средой или верхней частью разреза.

**Целью прикладной геофизики является восстановление строения, состава, истории развития этих объектов земной коры на основе косвенной информации о физических полях.**

**Основными задачами геофизических исследований земной коры являются следующие их виды:**

- изучение состава;
- строения;
- состояния пород, слагающих земную кору;
- их динамику;
- выявление полезных ископаемых;
- изучение геологической среды как основы для промышленного, сельскохозяйственного, гражданского и военного освоения и сохранения ее экологических функций, как источника жизни на Земле путем косвенного изучения физических полей.

Формально они сводятся к обнаружению геологических объектов, оценки их геометрии, а по физическим свойствам, к определению их геологической природы.

**В соответствии с решаемыми задачами основными прикладными направлениями и методами геофизических исследований земной коры являются: глубинная, региональная, разведочная (нефтегазовая, рудная, нерудная, усолевая), инженерная (инженерно-геологическая, гидрогеологическая, почвенно-мелиоративная, мерзлотно-гляциологическая) и экологическая геофизика.**

Каждое физическое поле численно характеризуется своими параметрами. Так, гравитационное поле определяется ускорением свободного падения или силы тяжести ( $g$ ) и его градиентами ( $g_x, g_y, g_z$ ) и др.; геомагнитное поле - полным вектором напряженности  $T$  и различными его элементами (вертикальным  $Z$ , горизонтальным  $H$ , др.); электромагнитное - векторами магнитной ( $H$ ) и электрической ( $E$ ) составляющими; упругое - скоростями ( $V$ ) распространения различных упругих волн; термическое - температурами ( $T$  в  $^{\circ}C$ ); ядерно-физическое - интенсивностями естественного ( $J_n$ ) и искусственно вызванных ( $J_{\gamma}, J_{n0}$ ) гамма- и нейтронных излучений.

Принципиальная возможность проведения геологической разведки на основе различных физических полей Земли определяется тем, что распределение параметров полей в воздушной оболочке, на поверхности акваторий или Земли, в горных выработках, скважинах зависит не только от происхождения естественных или способа создания искусственных полей, но и от литолого-петрографических и геометрических неоднородностей земной коры, создающих аномальные поля.

**Аномалией** в геофизике считается отклонение измеренного параметра поля от нормального, за которое чаще всего принимается поле над однородным полупространством.

При этом **возникновение аномалий** связано с тем, что объект поисков, называемый **источником аномалий, или возмущений, или аномалие-создающим объектом**, либо сам создаст поле в силу естественных при-

чин, например, возбуждается естественное постоянное электрическое поле, либо искажает поле, вследствие различий физических свойств, например, отражение сейсмических или электромагнитных волн от контактов разных толщ.

**Интенсивность аномалий определяется контрастностью физических свойств, относительной глубиной объекта, а также уровнем помех.**

Если геологические и геохимические методы являются прямыми методами *близкого действия*, основанными на непосредственном изучении минерального, петрографического или геохимического состава вскрытых выработками горных пород, то **геофизические методы являются косвенными, дальнего действия**. Они обеспечивают равномерность, объемный, интегральный характер получаемой объективной информации с теоретически неограниченной глубиной. При этом *производительность экспериментальных геофизических работ значительно выше, а стоимость в несколько раз меньше по сравнению с разведкой с помощью неглубоких (до 100 м) и в сотни раз меньше глубоких (свыше 1 км) скважин*. Повышая геологическую и экономическую эффективность изучения недр, геофизические методы исследования являются важнейшим направлением ускорения научно-технического прогресса в геологии и горном деле.

**К достоинствам геофизических методов, обеспечивающих широкое внедрение в практику геологоразведочных работ, относятся следующее:**

- 1) получение информации о подлежащих к выделению и последующей оценке и залегающих на глубине ЦЦО (целевых геологических объектов) перекрытых наносами любого происхождения и какой угодно мощности;
- 2) объемный и объективный характер, доставляемый ими информации о ЦЦО;
- 3) относительно низкая стоимость и высокая производительность.

Выявление геофизических аномалий - *сложная техническая и математическая проблема*, поскольку оно проводится на фоне не всегда однородного и спокойного нормального поля среди разнообразных помех геологического, природного, техногенного характера (неоднородности верхней части геологической среды, неровности рельефа, космические, атмосферные, климатические, промышленные и другие помехи).

т.е. всегда наблюдается интерференция полей разной природы. При этом бывает как *простое наложение (суперпозиция) параметров полей*, так и *их сложные, нелинейные взаимодействия*.

**Измеряя те или иные физические параметры по системам (обычно параллельных профилей или маршрутов) и выявив аномалии, можно судить как о свойствах пород, так и получить сведения о геологическом строении исследуемого массива.**

Аномалии определяются, прежде всего, изменением физических свойств горных пород по площади и по глубине. Так, гравитационное поле зависит от изменения плотности пород ( $\sigma$ ); магнитное поле - от магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) и остаточной намагниченности ( $J_r$ ); электрическое и электромагнитное поля - от удельного электрического сопротивления пород ( $\rho$ ), диэлектрической ( $\epsilon$ ) и магнитной ( $\mu$ ) проницаемостей, электрохимической активности ( $\alpha$ ) и поляризуемости ( $\eta$ ); упругое поле - от скорости распространения ( $v$ ) и затухания ( $\beta$ ) различных типов волн, а последние, в свою очередь, - от плотности упругих констант (модуль Юнга ( $E$ ) и коэффициент Пуассона ( $\delta$ ) и др.; термическое поле - от тепловых свойств: теплопроводности ( $\lambda$ ), теплоемкости ( $C$ ) и др.; ядерные - от естественной радиоактивности, гамма-лучевых и нейтронных свойств. Физические свойства горных пород меняются иногда в небольших пределах (например, плотность меняется от  $1$  до  $6 \text{ г/см}^3$ ), а иногда в очень широких пределах (например, удельное электрическое сопротивление изменяется от  $0,001$  до  $10^{15} \text{ Ом*м}$ ).

**В зависимости от целого ряда физико-геологических факторов одна и та же порода может характеризоваться разными свойствами, и наоборот - разные породы могут не отличаться по некоторым свойствам.**

*Изучение физических свойств горных пород и связи их с минеральным и петрографическим составом, а также водо-, газо-, нефтенасыщенностью является предметом исследований петрофизики.*

По способу проведения работ геофизические исследования подразделяются на следующие технологические комплексы:

- аэрокосмические (дистанционные);
- полевые (наземные);
- акваториальные (или аквальные, океанические, морские, речные),
- подземные (шахтно-рудничные);
- геофизические исследования скважин (ГИС).

*Иногда дистанционные методы изучения Земли с помощью самолетов, вертолетов, искусственных спутников, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций, не считают геофизическими, поскольку при этих работах преобладают съемки в видимом диапазоне спектра электромагнитных волн (фото- и телевизионные съемки).*

Однако, кроме таких визуальных наблюдений все чаще используются дистанционные методы невидимого диапазона электромагнитных волн: инфракрасные, радиолокационные (радарная и радиотепловая), радиоволновые, ядерные, магнитные и другие съемки, которые являются сугубо геофизическими.

Особое место в геофизике занимают геофизические исследования скважин (ГИС), отличающиеся от прочих геофизических методов специальной аппаратурой и техникой наблюдений и имеющие большое прикладное значение при документации разрезов скважин. **Эти методы называют также буровой, промысловой геофизикой или каротажем.**

Необходимо заметить, что верхние оболочки Земли являются предметом исследования не только геофизических методов, но и других наук: геологии со всеми разделами, геохимии, географии и др. Геофизические методы исследования, базируясь на этих науках, являются, прежде всего, геологическими. Вместе с тем, давая другим наукам о Земле всевозможную информацию, они изменяют сам характер геологоразведочных работ. О большой роли геофизики говорит, например, такой факт: треть ассигнований и четверть специалистов в геологоразведочных организациях связаны с геофизикой.

**Теория геофизических методов исследований - физико-математическая**, а сама эта прикладная отрасль геофизики и геологии относится скорее к точным наукам в отличие от описательной, какой все еще является геология. Математическое моделирование, т.е. решение геофизических задач с помощью математики, настолько сложно, что здесь используются передовые ее достижения и самый высокий уровень компьютеризации. На геофизических задачах в немалой степени совершенствуется математический аппарат. Математическое решение прямых задач, т.е. определение параметров физического поля по известным физическим свойствам, размерам и форме геологических объектов, хотя

иногда очень *сложно, но однозначно*. Вместе с тем, одно и то же распределение параметров физического поля может соответствовать различным соотношениям физических свойств и размеров геологических объектов. Иными словами, математическое решение обратной задачи геофизики (как и вообще математической физики), т.е. определение размеров геологических объектов и свойств слагающих их пород по наблюдаемому полю, *не только значительно сложнее, но и, как правило, неоднозначно*.

**Аппаратура геофизических методов** исследования основана на использовании механики, электроники, автоматики, вычислительной техники, т.е. способы измерений - физико-технические. При этом инструментальный уровень очень высокий, а сама аппаратура через каждые 5 - 10 лет полностью обновляется.

**Методика** (*способ проведения работ*), сводится к *профильным*, а чаще *площадным геофизическим съемкам*. Густота сети наблюдений зависит от поставленных задач, масштабов съемки, размеров и глубины залегания разведываемых объектов.

**В результате геофизических съемок** получаются **графики и карты** наблюдаемых параметров поля. Их обработка состоит из всевозможных трансформаций наблюдаемых полей, качественного (визуально) выделения аномалий, их физико-математической интерпретации, выполняемой, как правило, с помощью ЭВМ и геологического истолкования результатов. Физико-математическая интерпретация выполняется на основе физико-геологических моделей (ФГМ), приближенно соответствующих реальным геологическим объектам. Сущность моделирования сводится к аппроксимации разведываемых объектов априорными (до опыта) ФГМ, т.е. телами простой геометрической формы (шар, столб, цилиндр, пласт и др.) или сложной формы с разными контрастностями их физических свойств по сравнению с окружающей средой. Для выбранных ФГМ решаются прямые задачи, и теоретические материалы сравниваются с наблюдаемыми. *Меняя параметры ФГМ*, в ходе математического моделирования добиваются минимальных расхождений расчетных и наблюдаемых полей. Полученные апостериорные (после опыта) ФГМ и являются наиболее вероятным результатом интерпретации. *Чтобы добиться более однозначной интерпретации, нужна дополнительная информация: сведения о физических свойствах пород, например, по ГИС.*

*данные других геолого-геофизических методов.* Процессы обработки экспериментальных данных и физико-математической интерпретации разрабатываются в вычислительной геофизике.

**Геологическое истолкование геофизических данных** основывается на полнейшем использовании всей качественной и особенно количественной параметрической геологической информации. С ее помощью устанавливаются теоретические, логические или статистические связи между геолого-геофизическими характеристиками среды, полученные на эталонных и опорных точках, которые переносятся на все рядовые точки наблюдения.

**Эффективность разведочной геофизики** в решении той или иной задачи определяется правильным выбором метода (или комплекса методов), рациональной и высококачественной методикой и техникой проведения работ, качеством как геофизической интерпретации, так и геологического истолкования результатов.

**Сложность геофизической интерпретации** объясняется как неоднозначностью решения обратной задачи, так иногда и приближенностью самого решения.

Поэтому из нескольких возможных вариантов интерпретации необходимо выбрать наиболее достоверные, что можно сделать, если использовать все сведения о физических свойствах пород района исследований, об их литологии, тектоническом строении, гидрогеологических условиях. Иными словами, лишь при хорошем знании геологии района можно дать наиболее достоверное истолкование результатов геофизических методов исследований, что требует совместной работы геофизиков и геологов при интерпретации. Последнее, очевидно, нельзя выполнить, если геофизики не имеют прочных знаний по геологическим дисциплинам и слабо знакомы с изучаемым районом, а геологи не разбираются, в сущности, и в возможностях тех или иных методов геофизической разведки.

**Важнейшим методологическим принципом,** понимая под которым теорию рациональной деятельности, для геофизической разведки является комплексирование: **межметодное** геофизическое (применение хотя бы 2 - 3-х из перечисленных методов геофизики). **разноуровневое** (апро-

космические, аквально-полевые, подземно-скважинные наблюдения), **междисциплинарное** (использование геологической, гидрогеологической, биологической, медицинской и другой информации).

Методика комплексных исследований характеризуется стадийностью (т.е. переходом от легких методов к тяжелым, от мелких масштабов к более крупным), к выборам типовых комплексов для определенных условий работы и решаемых задач, и переходом к рациональным экономически обоснованным методам решения конкретных задач.

Теория комплексной интерпретации на базе компьютерных технологий разрабатывается вычислительной геофизикой или геофизической информатикой. Цель комплексной интерпретации сводится к достигнуто однозначности геологических выводов путем выбора, анализа, оптимизации ФГМ.

**Возрастание роли геофизики** (в связи с увеличением глубин и сложности разведки месторождений) ведет не к замене геологических методов геофизическими, а к рациональному их сочетанию, широкому использованию всеми геологами данных геофизики.

**Единство и взаимодействие геологической и геофизической информации** - руководящий методологический принцип комплексирования наук о Земле.

Объясняется это тем, что возможности каждого частного метода геологоразведки (геологическая съемка, бурение, проходка выработок, геофизика, геохимическая разведка и др.) ограничены. Однако в любых условиях геофизика облегчает разведку глубокозалегающих полезных ископаемых, особенно в труднодоступных районах.

**Сближение и совместное использование и геологической, и геофизической информации** - единственный разумный и экономически целесообразный путь изучения недр.

Следует заметить, что исследования земной коры (прикладная геофизика) - это многогранная научно-прикладная дисциплина со сложной структурой и разными подходами к классификациям по:

- **используемым полям** (гравит-, магнито-, электро-, сейсмо-, терморазведка и ядерная геофизика);
- **технологиям и месту проведения работ** (аэрокосмические, полевые, акваториальные, подземные методы и геофизические исследования скважин);
- **прикладным направлениям и решаемым задачам** (глубинная, региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика);
- **видам деятельности** (теоретическая, инструментальная, экспериментальная, вычислительная и интерпретационная геофизика).

Геофизические методы исследования недр **начали развиваться с 20-х годов XX века**, Ранее других методов возникла магниторазведка. Первые сведения о применении компаса для разведки магнитных руд в Швеции относятся к 1640 году. Теория гравитационного поля Земли берет свое начало с 1687 года, когда Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения. В 1753 году М.В.Ломоносов высказал мысль о связи значений силы тяжести на земной поверхности с внутренним строением Земли и разработал идею газового гравиметра. Его же работы в области сейсмологии, атмосферного электричества можно считать первыми, относящимися к геофизическим исследованиям Земли.

Первыми систематическими разведочными работами в России и в мире были съемки Курской магнитной аномалии (КМА), начатые профессором МГУ Э.Е.Лейстом в 1894 г., а также проведенные магнитные съемки на Урале Д.И.Менделеевым и в районе Кривого Рога И.Т.Пассальским в конце прошлого века. В 1919 г. были начаты магнитные съемки на КМА ( И.М.Губкин, П.П.Лазарев и др.).

**Именно эти работы можно считать началом развития отечественной разведочной геофизики.**

Дальнейшее развитие методов геофизики связано с внедрением в практику новых методов и методик исследований:

- *внедрение в практику понятия ФГМ и её использование (физико-геологическая модель) Г.С.Вахрамеев (60-е гг. XX-в),*

- *вероятно-статистического подхода при обработке геолого-геофизической информации (60-70-е гг) (А.Г.Тархов, Ф.М.Гольцман, А.А.Никитин);*
- *появление геоинформатики, как нового научного направления в геофизике (О.Л.Кузнецов, А.А.Никитин) (90-е гг XXв);*
- *новая классификация СФЕРЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «Разведочная геофизика» (В.В.Бродовой и др.)*
- *автоматизированная обработка геолого-геофизической информации и ее интерпретация (П.П.Сохранов, С.В.Гольдин, М.М.Элланский);*
- *комплексное использование геофизической и геохимической информации при решении поисковых задач прикладной геофизики (Н.И.Сифронов, А.П.Соловов и др.);*
- *трансформации геофизических полей в нижнее и верхнее полупространства (К.В.Гладкий, и др.);*
- *принципы комплексирования геофизических методов при решении геологических задач (А.Г.Тархов, А.А.Никитин, В.В.Бродовой, В.М.Бондаренко, Г.В.Демура)*

## ЛЕКЦИЯ 2.

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ В ПРАКТИКЕ

#### «Комплексирования геофизических, геохимических и геологических методов»

Содержание дисциплины «Комплексирование геофизических методов исследований» связано с вопросами использования результатов различных направлений и методов прикладной (поисково-разведочной геофизики) для решения широкого круга задач геологоразведочной службы и других сфер человеческой деятельности, ориентированных на использование геологической информации.

Так цель обработки геофизических данных - в извлечении «полезной информации» из результатов измерений (производственных и научных наблюдений), как отдельных геофизических методов, так и их комплексов.

Предмет изучения - дополнительная обработка, анализ, и особенно истолкование объекта исследования **расшифровка измерительной геофизической информации** (так называемых геоданных), получае-

мой с четырех уровней зондирования (космического, воздушного наземного, подземного) земной коры (той части Земли, в котором находятся скопления различных полезных ископаемых: твердых, жидких, газообразных и т.п.

#### **Задачи изучения:**

- использование методов, способов, приемов при выделении слабых сигналов (или аномалий), обусловленных от глубокозалегающими от дневной поверхности аномалиеобразующих объектов;
- представлять факторы, как благоприятствующие, так и осложняющие применение геофизических методов исследований в конкретных геолого-климатических и геоморфологических условиях;
- читать и понимать любые виды геофизических материалов (как первичных, так подвергнутых глубокой геолого-геофизической проработке (отбраковке и интерпретации);
- овладеть различной сложности (в первую очередь простейших и экспрессных) приемами качественной и количественной интерпретации геофизических данных;
- найти им (по возможности) однозначное геологическое объяснение;
- использовать на практике новейшие компьютерные технологии при обработке и, особенно, при интерпретации геоинформации.

#### **Решение любой геологической задачи сводится к:**

- выделению того или иного геологического объекта во вмещающей среде;
- изучению вещественного состава;
- геометрической формы;
- структуры и возрастных взаимосвязей его с вмещающими геологическими образованиями.

**Выделение геологических тел базируется на том, что сами ОБЪЕКТЫ отличаются от вмещающей среды:**

- вещественным составом
- (или) физическим состоянием.

В условиях, когда геологические объекты (тела) выходят на поверхность или вскрыты горными выработками (канавы, шурфы, скважины и пр.) информацию о них получают путем визуальных геологических наблюдений.

Если подобной возможности нет, из-за определенных ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАТРАТ, то решение задачи обнаружения (т.е. поисков), определения их местоположения и формы, достигается геофизическими методами.

К достоинствам геофизических методов относятся:

- получение информации об объемах объектов, залегающих на глубине (в т.ч. и очень большой);
- возможность изучения геологических объектов перекрытых наносами, т. е. под «экранами»;
- объективность информации о физических полях, создаваемых геологическими объектами;
- относительно низкая стоимость и высокая производительность, экспрессность анализов...

Основой геофизических методов исследования является то обстоятельство, что геологические объекты и окружающие их породы, имея различные *физические свойства*, или сами создают вокруг себя в пространстве **физические поля** (отличающиеся от полей окружающей среды) или **неодинаково** реагируют на разнообразные, **искусственно создаваемые воздействия**.

*Физическое поле - пространство, каждая точка которого может быть охарактеризована некоторой величиной постоянного или меняющегося значения*

**ПОЛЕ** (вообще) - это часть пространства, плоскости и т. д. в пределах действует что-либо (например, поле зрения, физические).

**ПОЛЯ** физические - это формы материи, связывающие частицы вещества друг с другом в единые системы и передающие с конечной скоростью действия одних частиц на другие (т. е. осуществляющие взаимодействие эти частиц).

Каждая точка физического поля характеризуется определенной величиной. Эти величины бывают **скалярными** и **векторными**, поля тоже бывают скалярными и векторными.

Геофизическими методами изучают как **естественные**, так и **искусственные** физические поля.

Примеры **естественного** геофизического поля (магнитное, гравитационное, некоторые виды электрических полей и поле распределения радиоактивности).

**Искусственные поля** - (электромагнитные, упругих колебаний, искусственной радиоактивности).

**Физическое поле Земли и отдельных территорий (объектов)** называется геофизическим полем.

**В разведочной геофизике изучают: поля:**

- **наблюденное** - (поле непосредственно измеренных величин);
- **нормальное поле**- (получают в результате усреднения измеренных величин на какой-то линии или площади;
- **аномальное** - (поле отклонения наблюдаемых величин от значений нормального поля)
- **трансформированное** - (поле величин, полученных в результате каких-то преобразований наблюдаемых значений (например, поле, пересчитанное на другую высоту).

Между геологическим строением объекта и геофизическим полем **существует прямое соответствие**, т. к. они отражают строение одного и того же участка Земной коры.

Физическое поле над **однородной средой** - соответствует **нормальному полю**, а над отдельными геологическими объектами (пласты, жилы, рудные тела) – **аномалиям**.

**Геофизические аномалии** – это нарушения в распределении физического поля, соответствующие наличию геологических объектов в среде.

**Аномалии** (геофизические) могут иметь различную **амплитуду, форму, размеры** в зависимости от многих факторов:

**а) отличие физических свойства объекта от свойств вмещающих пород;**

б) размеры, глубина залегания, форма и др. геометрические характеристики целевого объекта.

в) свойства среды (трещиноватость, обводненность и пр.)

Наиболее ответственным моментом и завершающим этапом геофизических исследований является интерпретация наблюдаемых геофизических полей или геологическое истолкование выявленных геофизических аномалий.

При этом приходится решать две основные задачи: прямую и обратную.

**ПРЯМАЯ ЗАДАЧА** разведочной геофизики – определение аномалии (их величины и формы) от объектов заданной морфологии, положения и физических свойств.

**ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА** разведочной геофизики – определение по наблюдаемым геофизическим полям расположения возмущающих объектов, их геометрических и физических свойств.

Решение обратной задачи является более сложным делом, в силу её неоднозначности.

Решение обратных задач (или интерпретация данных разведочной геофизики) довольно точно может быть выполнено лишь тогда, когда кроме наблюдаемого поля априорно получены сведения о геометрии возмущающих объектов или о свойствах пород, залегающих на глубине.

Доказано, что более точно можно провести интерпретацию на основе комплексных геофизических исследований, т.е. применения на определенной площади нескольких методов.

Перед геофизиком, решающим конкретные геологические задачи, возникает проблема выбора наиболее информативных методов, однозначно решающих поставленную задачу с учетом минимальных экономических затрат на производство работ.

Выбор наиболее эффективного (рационального) комплекса методов реализуется на нескольких этапах, главными из которых являются:

- выяснение условий применимости методов;
- геолого-геофизическое моделирование;
- изучение неоднозначности решения целевой задачи;

- планирование геофизических исследований;
- оценка эффективности отдельных методов и их комплекса.
- обработка и интерпретация результатов геофизических съемок.

## **ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Интерпретация материалов состоит в получении качественных и количественных результатов, позволяющих судить о строении среды и вещественном составе среды.**

В процессе геологического истолкования *геофизических полей* различают **количественную и качественную интерпретацию** (лат. – *посредничество, истолкование, разъяснение смысла, значения чего-нибудь*).

Процесс интерпретации геофизических материалов является самостоятельным, сложным и весьма специфическим.

Глубокий качественный анализ геофизических данных сопровождается количественной интерпретацией, т. е. математическими расчетами: размеров, формы и вещественных характеристик аномалий образующих объектов (глубины до верхней и нижней кромок горизонтальной мощности протяженности в длину) или (по простиранию - глубины до центра тяжести эффективных физических свойств объектов его избыточной массы и пр. и т. п.).

**Качественная интерпретация** - включает выделение геофизических аномалий или разнотипных по характеру для участков сопоставление их с геологическими данными по району и выводы о природе таких участков и аномалий.

**Количественная интерпретация** - состоит в определении количественных характеристик полученного геофизического разреза и установление численных значений мощности, глубины залегания, размеров геологических объектов, создавших отдельные аномальные поля.

### **Лекция 3 ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО (ОПТИМАЛЬНОГО) КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Выбор такого комплекса зависит от поставленной конкретной задачи с учетом геологических и экономических факторов.

Большое число влияющих факторов делает выбор комплекса сложным и строго индивидуальным, однако можно выделить общие принципы и положения, лежащие в основе формирования оптимального комплекса.

**Рациональным (оптимальным) комплексом геофизических методов называется такое сочетание методов и последовательность их выполнения, которые позволяют надежно решить поставленную задачу при минимальных затратах.**

**Принцип аналогии** является основным при комплексовании геофизических методов, заключается в том, что комплекс рациональных методов выбирают исходя из накопленного опыта работ в схожих геологических условиях.

**Принцип (стратегия) последовательных приближений** опирается на определенную последовательность стадий геологоразведочного процесса. Каждая последующая стадия работ характеризуется возрастающей деятельностью исследования объекта по правилу от общего к частному. При этом укрупняется масштаб съемки, уменьшается площадь исследования и соответственно совершенствуется ФЭМ и сам комплекс.

Таким образом, начав с построения модели, и пройдя этапы выбора комплекса и получение новых геолого-геофизических результатов, возвращаются к построению более совершенной модели и выбору нового оптимального комплекса для следующей стадии работ.

**Принцип максимальной эффективности** требует достижения наиболее полного решения геологической задачи при минимально возможных затратах времени и средств.

При выборе комплекса геофизических методов обязательно включение в него таких методов, которые давали бы разнородную информацию, т.е. позволяли бы измерять элементы разных геофизических полей (например, магнитного, поля силы тяжести, или электрического).

Совместное использование методов, изучающих одинаковые параметры (например, дипольное профилирование и средний градиент), не дает возможности повысить информативность комплекса.

**Не менее важное условие комплексования - подразделение методов на основные и детализационные методы.**

Основным методом (или несколькими основными методами) изучают всю площадь участка по равномерной сети наблюдений,

Остальные методы играют роль дополнительных, детализационных. Такие методы проводят с большей детальностью по отдельным профилям или на ограниченных участках, перспективность которых доказана данными, полученными основными поисковыми методами.

**Основной поисковый метод должен по возможности удовлетворять двум главным требованиям:**

- быть прямым по отношению к искомому полезному ископаемому;
- и быть высокопроизводительным, т.е. несложным по использованию в данных условиях, недорогим.

При выборе комплекса методов обязательны расчет оптимальной сети наблюдений и необходимой точности измерений, установление комплекса способов интерпретации.

На этапе интерпретации для выделения геологических объектов по набору характерных признаков в аномальных физических полях широко применяют различные вероятностно-статистические способы классификации.

Задачи выделения аномальных объектов решают в основном на ЭВМ по созданным и совершенствующимся алгоритмам и программам.

*Комплекс геофизических методов для решения конкретной задачи (геологической, технической и пр.) на определенной стадии геологических исследований может быть принят лишь после оценки его геологической и экономической эффективности.*

**Геологическая эффективность** может быть оценена или путем расчетов полей над моделями геологических разрезов, либо путем сопоставления с результатами проверочных геологических и горнобуровых работ на основе опыта работ в сходных геологических условиях.

Наиболее эффективным считается метод, позволяющий получить аномальные поля максимальной контрастности. Кроме того, учитывают влияние помех, связанных с природными условиями и обусловленных наличием других геологических объектов.

**Экономическую эффективность** выбранных вариантов комплексов методов оценивают на основании сравнения их стоимости и оперативности.

В процессе выполнения геофизических работ выработались традиционные комплексы геофизических методов, применяемые для решения

геологических задач на разных этапах (стадиях) развития геологоразведочного процесса.

Однако по мере совершенствования техники и методики геофизических исследований, и способов обработки получаемой геофизической информации (принципиально новая аппаратура, более совершенное оборудование, использование ЭВМ на многих этапах геофизических работ, в т.ч. на этапе обработки результатов) изменяются и сами комплексы.

Так, например, традиционно считалось, что основным методом поисков железорудных месторождений является магниторазведка.

В действительности же оказалось, что гравиразведка с большей точностью позволяет определить размеры, форму, элементы залегания рудных тел, т.к. эффективная плотность руд более устойчивый параметр, чем их магнитные свойства, и это облегчает количественное решение обратной задачи.

Однако значение магниторазведки увеличилось при поисковых работах на нефть и газ. Появление квантовых магнитометров позволило использовать магниторазведку для выделения складчатых структур в осадочном чехле при работах в масштабе 1: 100 000 - 1:50 000.

С другой стороны сейсморазведочные работы, традиционно нефтегазописковые, после создания портативной аппаратуры, невзрывных источников колебаний и автоматизированных систем обработки наблюдений стали одним из основных методов рудной геофизики.

Данные сейсморазведки обеспечивают надежность глубинных построений в рудоносных провинциях, что подтверждено работами в Норильском районе, в ряде районов Центрального Казахстана, Приморье и других местах.

В процессе геологоразведочных работ на всех стадиях исследований в комплексе геофизических методов включают геохимические и геологические исследования, петрофизические измерения, горно-буровые работы. Как наука методология комплексирования геофизических методов только зародилась, и та максимальная польза, которую эта наука принесет геофизике, еще впереди.

#### **Лекция 4**

### **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Комплекс геофизических методов применяемых при поисках МПИ определяется:

- морфологией рудных тел;
- минеральным составом руд и вмещающей среды

Генезис месторождений имеет, казалось бы, несущественное значение при выборе методики их изучения. Однако именно генетические признаки определяют и морфологию рудных тел, и минеральный состав руд.

Поэтому большинство современных классификаций месторождений построено на основе генетического типа.

При рассмотрении общих приемов поисков месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых одной из лучших является классификация П.М. Гатарина:

#### **Эндогенные**

##### **Собственно магматические**

##### **Сегрегационные:**

*раннемагматические*

*позднемагматические*

##### **Ликвационные**

*Пегматитовые*

*Постмагматические*

*Пнеуматолитовые*

#### **Контактово-метасоматические (скарновые)**

#### **Гидротермальные**

*Умеренных и значительных глубин - высоко-, средне-, низкотемпературные;*

*Малых глубин и приповерхностные -- высоко-, средне-, низкотемпературные.*

#### **Эксталяционные**

#### **Экзогенные**

*Месторождения выветривания*

*Обломочные (элювиальные и делювиальные россыпи)*

*Остаточные*

*Месторождения коры выветривания (глины, каоциты и латериты).*

*Месторождения типа железных шляп (железные, марганцевые, гипсовые, квасцовые «шляпы»).*

*Ифильтрационные*

Осадочные месторождения

**Механические осадки:**

*Аллювиальные, прибрежно-морские и озерные россыпи и конгломераты*

*Переотложенные осадки тонкодисперсных продуктов выветривания*

**Химические осадки**

*Из истинных растворов*

*Из коллоидных растворов*

*Биохимические*

**Метаморфогенные**

*Метаморфизованные*

*Метаморфические*

Собственно магматические месторождения характеризуются четко выраженным магматическим контролем оруденения, т.к. залегают они, как правило, внутри материнской интрузии или в непосредственной близости от неё.

Наиболее характерно связь этих месторождений с ультраосновными и основными породами и редко - с сиенитами и щелочными породами. Поэтому на первом этапе поисков должна применяться магнитная съемка, с помощью которой обычно надежно картируются ультраосновные и основные породы, а также сиениты с магнетитовым оруденением.

Картирование же щелочных пород возможно лишь при благоприятной геологической обстановке.

На выделенной магниторазведкой площади развития магматических пород производятся более детальные поиски.

**Методика поисков может изменяться в зависимости от того, какое полезное ископаемое ожидается.**

**При поисках скоплений используются:**

- *титано-магнетитовых руд* - магниторазведка;
- *хромитовых руд* - геохимические методы и гравиразведка;
- *анатитовых руд* - гравиразведка;
- *сульфидных руд* - электроразведка, магниторазведка, гравиразведка;
- *графитовых руд* - электроразведка

**Пегматитовые месторождения** чаще всего имеют форму жил самых разнообразных размеров, характерной чертой пегматитовых жил является высокие значения (УЭС) слагающих их минералов. Благодаря

чему в большинстве случаев методами электроразведки жилы выделяются повышенным сопротивлением даже среди гранитов и гнейсов, близких по минеральному составу к пегматитам.

Когда пегматитовые жилы залегают среди магнитных пород, например, амфиболовых или пироксеновых гнейсов, они выделяются пониженным магнитным полем, т.к. в пегматитовых жилах почти не встречаются магнитные минералы.

При повышенном содержании радиоактивных элементов в пегматитах возможно использование радиометрических методов.

**Постмагматические месторождения** включают в себя обширную группу месторождений сильно различающихся по форме и составу, в соответствии, с чем и методика поисков может быть различна.

**Скарновые месторождения** распространены весьма широко, со скарнами связаны руды железа, вольфрама...реже олова, молибдена, мышьяка, меди и некоторых других полезных ископаемых.

Весьма обычным для скарнов является присутствие в них магнетита, благодаря чему в большинстве случаев участки, где интенсивно протекали контактово-метасоматические процессы, удается картировать с помощью магниторазведки.

Так как скарнообразование обычно связано с интрузиями среднего и кислого состава, сложенными практически немагнитными породами, и вмещающие их интрузии тоже практически не магнитны, то зона скарнирования выделяется четко, и по ней можно картировать интрузию.

Форма скарновых тел обычно сложная – поэтому магнитные аномалии над скарнами имеют очень сложный характер.

В случае, когда изучаются рудные скарновые месторождения с сопутствующим оруденением, где рудой является сам скарн, то магниторазведка решает поисковую задачу до конца, так как позволяет оконтуривать зоны скарнирования (оруденения), а в благоприятных случаях по её данным можно даже подсчитать объем намагниченных скарнов.

При изучении рудных скарновых месторождений с отстающим, а тем более с наложенным оруденением, формы скарновых и рудных тел не совпадают.

Магнитной съемкой месторождения этих двух типов картируют скарновые тела, а затем внутри зон скарнирования и вблизи них ведутся поиски рудных тел.

Если рудные тела сложены или обогащены магнетитом, то могут быть использованы другие физические свойства, например - повышенная электропроводность сульфидных и графитовых руд и др.

**Гидротермальные месторождения** наиболее разнообразны по форме и вещественному составу рудных тел. Практическое их значение очень велико, особенно среднетемпературных и низкотемпературных.

Для гидротермальных месторождений наибольшее значение имеет структурно-тектонический контроль оруденения, значительно меньшая роль принадлежит литологическому, стратиграфическому и магматическому контролю.

Вблизи рудных тел обычно наблюдаются изменения вмещающих пород:

– грейзенизация и скарнирование около высокотемпературных месторождений;

- березитизация, окварцевание, хлоритизация, лиственизация, серпентинизация, серицитизация, доломитизация - около средне- и низкотемпературных месторождений;

- пропилизация и алунитизация – около низкотемпературных месторождений и в эффузивных породах.

Первым этапом поисков гидротермальных месторождений должно быть выяснение структурно-тектонических, литологических, стратиграфических и магматических особенностей геологического строения, благоприятных для движения гидротермальных растворов и отложения полезных минералов из растворов.

Затем среди выделенных площадей, если это возможно, должны быть оконтурены участки с характерным околорудным изменением пород, и уже внутри этих участков должны проводиться детальные поиски рудных тел.

Формы рудных тел гидротермальных месторождений очень разнообразны. Преобладают жильные тела – от простых жил до сложных (камерных, лестничных, сетчатых и т.д.), встречаются штокверки, линзообразные и пластообразные залежи.

По вещественному составу различие рудных тел еще более широкое, чем по форме, что определяет и физические характеристики рудных залежей.

Рассматривая физические свойства рудных тел, можно отметить ряд благоприятных для применения геофизических методов случаев:

- повышенная магнитность руд;
- повышенная плотность руд;
- повышенная электропроводность руд;
- повышенное электрическое сопротивление руд.

Возможны и другие сочетания физических свойств руд и вмещающих пород.

Повышенная намагниченность руд наблюдается при высоком содержании в рудах магнетита и пирротина, что наиболее характерно для высокотемпературных месторождений. Основным методом поисков таких месторождений является магниторазведка.

Повышенной плотностью отличаются рудные тела, в составе которых преобладают сульфиды, иногда барит. Такие тела, при достаточно крупных размерах, успешно обнаруживаются гравиразведкой.

Значительно чаще в качестве поискового метода применяется электроразведка в самых различных модификациях. Используется различие руд и вмещающих пород по электрическому сопротивлению, способность руд создавать естественные электрические поля, различие руд и пород по вызванной поляризуемости.

Повышенная электропроводность руд чаще всего связана с наличием в них сульфидов. Содержание сульфидов может быть и не очень высоким, но при условии, если электрическая связь между отдельными включениями хорошая, электропроводность руды будет высокая. В гидротермальных месторождениях связь между отдельными включениями хорошая, если она не нарушена последующим отложением плохо проводящих минералов, например, кварца.

Повышенной электропроводностью обладают руды медноколчеданных, полиметаллических, касситерито-сульфидных, золото-сульфидных, графитовых и ряда других месторождений.

Для их поисков используют методы комбинированного или дипольного электропрофилирования, индукции и другие, позволяющие уверенно оконтуривать тела с высокой электропроводностью.

Повышенное электрическое сопротивление руд характерно для широко распространенного случая, когда основным жильным минералом является кварц, реже – другие минералы высокого электрического сопротивления. Кварцевые жилы, нередко вместе с окружающими их зонами околорудного изменения пород, выделяются методами СЭП, СГ, отношений разности потенциалов.

При магнитной съемке кварцевые жилы отмечаются обычно пониженным полем, т.к. намагниченность большинства пород более высокая, чем кварца.

При изучении кварцевых жил, большие перспективы имеет сейсмо-электрический (пьезоэлектрический) метод, основанный на использовании пьезоэлектрических свойств кварца.

Возможно, множество других вариантов соотношения физических свойств руд и вмещающих пород, при которых возможности методов будут иными.

Рассмотренные приемы позволяют объекты, отличные от вмещающей среды по магнитным, электрическим или другим свойствам, и отождествлять эти объекты с сульфидными, кварцевыми или иными по составу телами, но не дают часто указаний о содержании полезных элементов в руде, если эти минералы не влияют на физические свойства руды.

Например, промышленная вкрапленность золота совершенно не изменит физических свойств кварца. Поэтому в комплексе с основным поисковым геофизическим методом всегда должны применяться другие - геохимические и геологические методы, позволяющие судить о качестве найденного оруденения.

**Месторождения выветривания** представляют собой скопления материала, образовавшегося из коренных пород при физическом и химическом выветривании. Скопления продуктов выветривания обычно образуются в непосредственной близости от места, где залежали материнские коренные породы.

По физическим свойствам продукты выветривания, обогащенные гем или иным полезным ископаемым, как правило, мало отличаются от продуктов выветривания, не содержащих полезных элементов или минералов. Поэтому при изучении геофизическими методами месторождений выветривания чаще всего удается решить только задачу картирования рыхлых образований на поверхности коренных пород.

Для выявления участков обогащения обломочного материала и продуктов химического тем или иным минералом привлекается шлиховая съемка, тем или иным элементом - геохимическая съемка.

**Обломочные месторождения** (элювиальные и делювиальные россыпи) являются классическим объектом геохимической съемки, наглядными образцами механических ореолов рассеяния.

**Остаточные месторождения**, образующиеся при глинистом, латеритном и каолиновом выветривании, обычно характеризуются пониженными (УЭС) продуктами выветривания по сравнению с коренными породами. Для их изучения широко используется метод ВЭС, иногда электропрофилирование, редко сейсморазведка.

При изучении бокситовых залежей иногда удается использовать повышенную намагниченность бокситов.

При изучении железо-никелевых месторождений образующихся при латеритном и глинистом выветривании ультраосновных пород, для картирования разрушающихся материнских пород используется магнито-разведка, а затем электроразведкой изучают мощность зоны выветривания и выделяют наиболее благоприятные для оруденения участки.

Остаточные образования типа железных шляп по физическим свойствам мало отличаются от окружающих их рыхлых образований, и как правило, не могут быть объектом поисков для геофизических методов. Иногда наличие на месторождениях зон выветривания типа железных шляп создаст геофизические аномалии. Так, на некоторых полиметаллических месторождениях с мощной зоной выветривания отмечаются не максимумы, а минимумы силы тяжести, объясняющиеся тем, что плотность выветрелых руд ниже не только плотности первичных руд, но и вмещающих пород.

На соляных куполах с гипсовой шляпой при высоком содержании в ней ангидрита могут наблюдаться положительные аномалии, хотя обычно соляные купола отмечаются отрицательными аномалиями силы тяжести.

**Инфильтрационные месторождения** характеризуются чрезвычайно неправильной формой рудных тел, нерезкими границами оруденения и слабым различием по физическим свойствам руд и вмещающих пород. Поэтому они являются в большинстве случаев трудным объектом для геофизики. Среди них имеется ряд месторождений с повышенным содержанием в рудах урана. Для поисков этих месторождений широко применимы радиоактивные методы.

Процесс образования инфильтрационных месторождений идет часто параллельно с процессом карстообразования, и нередко рудные тела — это выполненные полезными ископаемым, например, фосфоритом, карстовые полости. В таких случаях применимы методы изучения карста.

**Осадочные месторождения**, также как и месторождения выветривания, сложены продуктами разрушения коренных пород, но эти продукты перенесены на большие расстояния.

**Механические осадочные месторождения** образуются в результате механического переноса и сортировки обломочного материала.

**Аллювиальные россыпи**, связанные с современными формами рельефа, обычно без больших затрат могут быть изучены легкими горными работами, для их изучения часто привлекается магниторазведка,

как как к числу тяжелых и устойчивых против выветривания минералов, образующих аллювиальные россыпи. относится магнетит. При содержании магнетита в сотые доли процента и глубине залегания металлоносного пласта 4-8 м на ряде россыпных месторождений отмечены аномалии до 100- 150 нТл.

Решающую роль при оценке возможностей магниторазведки играет намагниченность пород, на которых залегает россыпь. Благоприятным плотиком являются известняки, песчаники, сланцы и другие немагнитные породы, которые, кстати, благоприятны и для улавливания тяжелых минералов и образования наиболее богатых россыпей. При наличии в россыпях радиоактивных элементов (монацит, циркон и др.) могут быть с успехом использованы радиометрические методы.

Погребенные аллювиальные россыпи --- более сложный для горных работ объект. Для их изучения широко привлекается электроразведка, главным образом ВЭЗ, иногда электропрофилирование. С помощью этих методов изучается рельеф коренных пород, и выявляются погребенные долины. Выделение обогащенных магнитными минералами участков глубоко залегающих россыпей оказывается обычно невозможным, т.к. наблюдаемые аномалии очень малы. Лишь при высоком содержании магнетита и значительной мощности пласта сравнительно с глубиной залегания можно ожидать заметные аномалии.

Морские россыпи, так же как и аллювиальные, в основном изучаются двумя приемами.

Первый - магнитная съемка - возможен, когда россыпь обогащена магнетитом, такого рода примеры известны и для современных морских россыпей, в частности - магнетитовых песков на побережье Черного моря и для ископаемых россыпей, наличие которых среди песчаных морских отложений иногда позволяет картировать складчатые структуры магниторазведкой.

Перестроженные осадки тонкодисперсных продуктов выветривания обычно образуют пластообразные тела, залегающие горизонтально и сложенные очень однородными по составу, а, следовательно, и по физическим свойствам породами, изучение таких тел ведется комплексом геофизических методов.

**Химические осадочные месторождения**, независимо от того, каким путем происходило осаждение (из истинных растворов, из коллоидных растворов или биохимическим путем), залегают в виде горизонтальных пластовых тел или крупных линз. Задача поисков и изучения этих месторождений также по существу совпадает с задачей геологического карти-

рования горизонтально слоистой осадочной толщи и решается тем же комплексом методов.

**Метаморфогенные месторождения** разделяются на: **метаморфизованные и метаморфические.**

**Метаморфизованные** – это месторождения подвергшиеся метаморфизму после их образования, при условии, что основные физико-химические и промышленные свойства полезного ископаемого в процессе метаморфизма не изменились.

*С метаморфизованными месторождениями связаны, в основном руды железа, марганца, а также золота и апатита.*

Метаморфизм осадочных месторождений железа и марганца сопровождается переходом гидроокислов железа в гематит и магнетит, в результате чего руды становятся сильно намагниченными, это четко проявляется на всех месторождениях железистых кварцитов, а также на метаморфизованных месторождениях марганца.

Для изучения метаморфизованных месторождений **Fe** и **Mn** чаще всего используют магниторазведку. Применяют также гравиразведку и электроразведку, т.к. руды имеют более высокую плотность, чем вмещающие породы, и более низкие значения УЭС.

Метаморфизованные месторождения золота (золотоносные конгломераты), как правило, ураноносны, и для их изучения используют уже радиометрические методы.

**Метаморфические месторождения** возникают в процессе метаморфизма за счет горных пород, до этого не имевших промышленной ценности, или на месте ранее существовавших месторождений другого полезного ископаемого.

Породы, слагающие такие месторождения, могут иметь очень разнообразные физические свойства. Обычно повышается плотность, например. При переходе глинистых сланцев в кианитовые, андалузитовые или силлиманитовые, бокситов в наждак и т.п.

Может увеличиваться (переход известняков в мрамор) или уменьшаться (переход углей в графит) электрическое сопротивление.

Возможны и другие изменения физических свойств, причем не только руд, но и вмещающих пород.

*Общих приемов для изучения метаморфических месторождений не имеется, необходим полный учет конкретной геологической обстановки.*

## Лекция 5 ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ И СИСТЕМА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Современные геологоразведочные работы представляют собой весьма сложный процесс, состоящий из ряда последовательных стадий исследования, на каждой из которых решают определенный круг задач по изучению закономерностей размещения полезных ископаемых и выявлению промышленных месторождений.

В современный период необходимо учитывать тот факт, что ресурс легкооткрываемых месторождений практически исчерпан, и теперь основной тенденцией развития геологоразведочных работ является переход к решению более сложных геологических задач: расширению минерально-сырьевой базы на промышленно-освоенных территориях за счет выявления слабо проявленных (глубокозалегающих, слепых и погребенных) залежей; изучению труднодоступных малоосвоенных районов; поисков и разведки месторождений с низкими концентрациями полезных компонентов, но с большими запасами руд; переходу к выявлению нефтегазовых залежей неструктурного типа, в более сложных геологических условиях, в том числе в областях развития траппов. Все это требует увеличения глубинности поисков, выявления слабоконтрастных по физическим свойствам объектов на фоне помех, поисков полезных ископаемых по косвенным признакам.

Сложность решаемых задач и неоднозначность геологической интерпретации геофизических данных приводят к необходимости комплексирования, т.е. оптимального сочетания ряда геофизических, геологических, геохимических, аэрокосмических методов и горно-буровых работ.

Проблемы комплексирования геофизических методов, обусловлены неоднозначностью **качественных** (определение местоположения и природы) и **количественных** (определение геометрии) заключений об объекте исследования, которые получают по результатам только одного метода.

Как правило, один метод (конкретный) дает сведения лишь о горизонтальных границах раздела, другой же - только о вертикальных границах. Третий позволяет оценить свойства объекта, когда известны лишь его геометрические размеры и т. д. Если по данным одного метода неопределенность количественных оценок весьма велика, то совместная количественная интерпретация двух геофизических полей или бо-

временно измерения нескольких геофизических параметров. Технологические комплексы отличает общность технических средств измерения и методики проведения работ. Такие комплексы обеспечивают высокую производительность, точную взаимную привязку разных параметров, позволяют перейти к цифровой регистрации данных с последующей обработкой их на ЭВМ. Например, аэрогеофизическая станция «СКАТ-77» имеет каналы для регистрации магнитного поля  $\Delta T$ , естественной гамма-активности, напряженности поля СДВ-радиостанций. Морские геофизические работы можно проводить с использованием эхолотного промера глубин, непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП), морской магнито- и гравиметрии, а в благоприятных условиях еще и электроразведки. Комплекс для работ на мелководных акваториях (реках, озерах), включает НСП, непрерывные электрические зондирования методом ВЭЗ, регистрацию разностей потенциалов естественного электрического поля (ЕП) по трем взаимно перпендикулярным направлениям, резистивиметрию (измерение руд, воды) и термометрию. Информацию записывают в цифровом коде на магнитную ленту для последующего ввода в ЭВМ, а в аналоговом виде (графически) для оперативного анализа данных. При наземной съемке используют автомобильные станции, позволяющие регистрировать в движении магнитное поле, радиоактивность, параметры высокочастотного электромагнитного поля.

Наблюдения на одном уровне (горизонте) называют комплексированием по горизонтали. Сочетание наземных и подземных, или наземных, аэро- и космических наблюдений называют комплексированием по вертикали. Последний вид работ все шире используют в практике геологических исследований.

### **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ МЕТОДОВ**

Системный подход при современном уровне развития научных исследований можно рассматривать как методологию и инструмент научного познания.

В его основе лежит строгое и обоснованное определение целей, а сама система является средством достижения этих целей.

*Под системой геофизических исследований понимается комплекс взаимодействующих методов и видов работ, варьирующий в зависимости от стадии исследований и применяемый для эффективного решения поставленных задач.*

Применительно к области использования геофизических методов системный подход позволяет:

- установить конечную цель исследований и определить характер геологических задач для каждой стадии работ;
- представить всю совокупность и последовательность геофизических работ, необходимых для решения задач и достижения этой цели, с их прямыми и обратными, внешними и внутренними связями;
- определить взаимосвязь геофизических работ с геологическими и геохимическими работами;
- указать характер геолого-геофизической информации и информации управления геологоразведочным процессом и определить геологический выход.

Исходя из системного подхода, и сам объект изучения можно рассматривать как сумму отдельных компонент, свойственных ему и его вмещающей среде. Что важно учитывать при формировании физико-геологических моделей (ФГМ) объектов различного класса.

Повышение достоверности геологических выводов и построений при системных геофизических исследованиях достигается путем всесторонне обоснованного комплексирования геофизических методов.

*Под комплексным ведением геофизических работ понимается совместное или с соблюдением определенной последовательности проведение различных видов геофизических исследований.*

Связанное с этим понятие определение рационального комплекса подразумевает геологически и экономически обоснованное сочетание геофизических методов, и сопровождающих их геологических и геохимических видов исследований, обеспечивающих эффективное решение поставленной геологической задачи.

Существование внутренних и внешних связей между элементами системы предопределяет два аспекта комплексирования.

**Первый** - сочетание геофизических и сопровождающих их геохимических и геологических методов внутри одного комплекса, так называемое **внутреннее комплексирование**, позволяющее решать одни и те же задачи, исходя из одних представлений о ФГМ объекта.

Работы выполняются одновременно, или в определенной последовательности на протяжении одного-двух полевых сезонов.

Их информация позволяет сформировать общее геологическое заключение и выводы о целесообразности, направлении и содержании последующих геолого-геофизических исследований.

**Второй** – сочетание геофизических методов и сопровождающих их видов работ внутреннего комплекса с геологическими, геохимическими и геофизическими методами, используемыми на этой стадии работ и объединенных общностью решаемых геологических задач, так называемое **внешнее комплексирование**.

Методы внешнего комплексирования имеют одну конечную цель, выбираются исходя из одних представлений о геологических факторах, контролирующих размещение полезного ископаемого, реализуются в определенной последовательности (с преимущественным опережением более мобильных видов геофизических работ) в протяжении всего срока работ данной стадии.

Внешнее комплексирование предполагает совместный анализ результатов всех видов работ, выполненных на данной стадии, и выдачу общего геологического заключения об оценке перспектив площади или конкретного объекта с рекомендацией на проведение исследований последующей стадии работ.

**Системный подход** в геофизических исследованиях имеет много общих черт с таким же подходом в любом исследовании.

**Специфика разведочной геофизики** позволяет определить следующие общие свойства предлагаемой системы геофизических работ:

- элементный состав системы представлен методами и видами исследований, распределенными по стадиям геологических работ и решаемым геологическим задачам;
- наряду с действующими звеньями указываются недостающие, отражающие новые тенденции в совершенствовании технологии работ, базирующиеся на новейших достижениях НТП;
- определяется последовательность выполнения геофизических работ, в основу которой положены: переход от региональных исследований к крупномасштабным и затем к детальным (с постепенной локализацией площади исследования); привлечение более трудоемких методов после использования возможностей мобильных и производительных методов; переход от обязательных съемок на всей площади к съемкам более доступных или особенно перспективных площадей; чередование

на протяжении всего геологоразведочного процесса геофизических и геологических видов работ;

- устанавливаются главные связи между элементами (видами работ) – внешние и внутренние, прямые и обратные; прямые связи определяются рациональной последовательностью работ. Обратные – указывают на необходимость дополнительного изучения объекта работами предшествующей стадии в связи с выявившимися перспективами площади, как правило, с более широким охватом территории, более полным и глубинным изучением особенностей геологического строения;
- дается ориентировка на дополнительное изучение ранее изученной площади, на доведение выполненных исследований до нормального уровня системы, определяемого классом объекта и требованиями соответствующей стадии работ.

В основу системы геофизических работ в рудных провинциях положено деление всего геологоразведочного процесса на шесть основных стадий: региональное геологическое изучение, крупномасштабное геокартирование, поисковые работы, предварительная разведка, детальная разведка, доразведка МПИ.

В основу такого деления взята существующая с 1984 г. стадийность геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые.

Геофизические исследования, включенные в геологоразведочный процесс, предназначены для решения конкретных геологических задач. В большинстве случаев эти задачи связаны с поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых, которые осуществляют по единой последовательной схеме геологоразведочных работ. В соответствии со стадийностью работ изменяются геологические задачи, комплексы геофизических методов и характер получаемой геолого-геофизической информации. Например, при региональных исследованиях рудоперспективных территорий в масштабе 1:1000000 объектом изучения может служить рудная провинция, для исследований масштаба 1:200000 – 1:100000 – рудный пояс, для геолого-съёмочных работ масштаба 1:50000 – 1:25000 – рудный район, на подстадии поисков – рудное поле, для поисково-оценочных работ – месторождение, для разведочных работ – отдельные рудные тела.

Основные элементы рассматриваемой обобщенной системы в свою очередь могут быть развернуты в самостоятельные, более детальные сис-

темы с более конкретным элементным составом и детализационными связями и взаимодействием.

**Основываясь на системном подходе, проблему комплексирования геофизических методов можно решать, опираясь на три уровня комплексирования:**

- 1) формирование подсистем геофизических работ для каждой стадии или подстадии, учитывающих все методы и модификации, которые могут быть применимы для решения из задач;*
- 2) определение типовых комплексов геофизических методов для наиболее характерных условий ( геологических и геоморфологических) проведения работ и размещения исследуемых объектов;*
- 3) разработка рациональных комплексов методов применительно к конкретным условиям определенного объекта ( геологическим, геоморфологическим и экономическим).*

**Подсистемы формируются на основе обобщенной системы и содержат сведения о потенциале разведочной геофизики, который может, реализован на каждой из стадий.**

Содержание подсистем позволяет определить типовые комплексы методов, которые могут быть применены в различных геоструктурных (складчатые и платформенные области) и геоморфологических (горные и равнинные районы) условиях, при различной геологической закрытости площади (открытые, полузакрытые и закрытые) и глубине залегания объектов (вскрытые, перекрытые, скрытые).

**Рациональные комплексы разрабатываются исходя из типовых комплексов, как бы привязывая их к конкретным условиям исследуемого объекта.**

**При выборе типовых и рациональных комплексов необходимо учитывать следующие факторы:**

- общую направленность геофизических работ и выбор стадии;*
- геолого-структурные условия исследуемого объекта;*
- геоморфологические условия района, степень закрытости местности;*
- дифференциация пород и полезных ископаемых по физическим характеристикам;*
- геолого-геофизическая изученность района работ*

На каждой стадии исследований изучаются различные геологические объекты как по их размерам, физико-геологической характеристике, ограничению в геологических, геофизических и геохимических полях, так и

по отношению к конечному объекту поисков – залежи полезного ископаемого.

Для каждого класса объектов характерен свой набор свойств и признаков, определенный тип ФГМ.

Так, при региональных работах выявляются и изучаются **рудноносные провинции и рудные пояса**.

При крупномасштабном геологическом картировании – преимущественно **рудные районы**, а при специализированных поисках – **рудные узлы и рудные поля**.

При детальных поисках – **рудные поля месторождения; а при разведке – месторождения и рудные залежи**.

ФГМ рудных объектов различного класса содержат сведения о типовом ряде ФГМ (провинции, поясе, районе, поле, месторождении, залежи): размерах объекта, глубинности исследований, стадии работ, геологической и геофизической характеристиках объекта.

Причем, каждая последующая (более детальная) ФГМ должна стать составной частью предшествующей (более региональной) модели.

**Под ФГМ рудного объекта понимается максимально приближенное к реальным условиям обобщенное и формализованное представление об основных геологических и физических характеристиках геологического тела и его вмещающей среды.**

ФГМ объекта каждого класса должен содержать такое сочетание взаимосвязанных элементов, которое может быть использовано для уверенного его выявления и изучения на определенной стадии геологоразведочного процесса.

Для модели каждого класса должны быть свойственны:

- 1) отражение основных геологических признаков, определяющих её назначение (или класс) и обладающих физической характеристикой, достаточной для создания регистрируемого геофизического эффекта;
- 2) оптимизации и минимизации геологических, геофизических и других признаков модели определенного класса;
- 3) преемственность, выражающаяся в отражении в каждой последующей модели основных элементов предшествующей;

- 4) отражение условий размещения объекта (уровень эрозийного среза, мощность и состав коры выветривания и покрова рыхлых образований, вскрытое, перекрытое и скрытое залегание исследуемых объектов, глубина залегания и др.);
- 5) практическая реализуемость и экономическая целесообразность, её соответствие современным возможностям методов и эффективному решению поставленной задачи при минимальных затратах средств.

В ФГМ всех классов должны найти отражение также основные геологические и геоморфологические помехи и осложняющие факторы, которые могут повлиять на характер проявления объектов в геофизических полях (рельеф земной поверхности и перекрытого складчатого основания, рыхлые отложения, трапповые покровы, многолетняя мерзлота, обводненность, вариации естественных физических полей, экранирующее влияние отдельных горизонтов и др.).

Указанный ряд ФГМ объектов разного класса может быть составлен для каждой рудной провинции с учетом её металлогенической специализации.

Подобного рода ряды ФГМ могут быть разработаны также для нефтеносных и угленосных бассейнов.

### **Основные принципы, характеризующие внутреннее и внешнее комплексирование:**

- 1) обеспечение более полного решения задач, применение согласованной методики и техники геофизических и геохимических работ;
- 2) использование в комплексе геофизических методов проверочных и оценочных геологических видов работ (сопровождающих) - геологического обследования аномальных участков, геологических маршрутов, картировочных и поисковых горных (канавы и шурфы) и буровых работ, предназначенных для выяснения природы геофизических и геохимических аномалий;
- 3) планомерность геофизических исследований на стадиях региональных работ и геологического картирования, обеспечивающая постепенный охват всей площади района;
- 4) попланшетное исполнение мелко-, средне-, и крупномасштабных геофизических съемок;
- 5) подразделение методов, входящих в комплексы на основные, вспомогательные и детализационно-оценочные;

- 6) ведущая роль на этапах планомерного изучения больших территорий аэрогеофизическим методам;
- 7) комплексирование геофизических методов при геологическом картировании на двух взаимоувязанных уровнях – опережающем и сопровождающем;
- 8) сочетание в комплексе прямых и косвенных методов, образующих единый процесс поисковых работ;
- 9) ориентация при выборе комплекса не на одно полезное ископаемое, а на возможный комплекс и других полезных ископаемых;
- 10) геолого-экономическая обусловленность поисковых комплексов;
- 11) сочетание методов наземной и скважинной геофизики;
- 12) подготовка детальной геофизической основы наземными работами к моменту начала эксплуатации месторождения;
- 13) включение ГИС в комплекс всех поисковых и разведочных работ;
- 14) включение петрофизических исследований комплексы методов на всех стадиях картирования, поисков и разведки месторождений;
- 15) оптимальное сочетание при разведке рудных и угольных месторождений параметрического, кернового и бескернового бурения, сопровождаемого ГИС, способствующего внедрению бескернового бурения, установление корреляционных зависимостей между геологическими и геофизическими параметрами среды.

## **Лекция 6**

### **РОЛЬ И МЕСТО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ**

При многообразии *геологических условий*, когда даже однотипные месторождения одного и того же рудного узла могут различаться:

- а) по морфологии;*
  - б) вещественному составу руд;*
  - в) условиям их залегания;*
  - г) литолого-петрографическим особенностям;*
  - д) степени изменения вмещающих пород*
- и т.д. и другим параметрам.*

Тогда единственным способом получения обобщенных сведений является **МОДЕЛИРОВАНИЕ**.

**МОДЕЛЬ** - это такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе изучения замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты.

Хорошо подстроенная модель, доступнее для исследователя, нежели реальный объект.

Некоторые объекты не могут быть изучены:

- ◆ *недопустимы эксперименты с экономикой страны в познавательных целях;*
- ◆ *неосуществимы эксперименты с прошлым;*
- ◆ *с планетами Солнечной системы.*

С помощью модели выявляют наиболее существенные факторы, формирующие те или иные свойства объекта (т.к. модель отражает лишь некоторые основные характеристики исходного объекта).

**Модель позволяет:** научиться правильно, управлять объектом.

**Модель нужна:**

- 1) чтобы понять, как устроен конкретный объект. Каковы его структура основные свойства законы развития и взаимодействия с окружающим миром?;
- 2) чтобы управлять объектом ( процессом ) и определить наилучшие способы управления при заданных целях и критериях;
- 3) чтобы прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов и форм воздействия на объект.

**Процесс построения модели - называется моделированием.**

**Моделирование бывает:**

1. материальное (предметное),
2. идеальное.

**Материальное моделирование делится на:**

1. Физическое
2. аналоговое

**ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** - такое, когда реальному объекту противопоставляется его увеличенная или уменьшенная копия (допускающая исследования в лабораторных условиях с помощью последующего перенесения свойств изучаемых процессов и явлений с модели на объект на основе теории подобия).

**АНАЛОГОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** – основано на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но одинаково описываемых формально, т.е. одними и теми же уравнениями, логическими схемами и пр.

**ИДЕАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** – основано на аналогии идеальной (мысленной) форме, т.е. интуитивное (жизненный опыт человека).

**ЗНАКОВОЕ** (схемы, графики, чертежи, формулы, набор символов).

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** – посредством модели, сформулированной на языке математики и использующее те или иные математические методы (*классический пример описание и исследование основных законов механики И.Ньютона средствами математики*).

Высокая эффективность и возрастающая роль моделирования как общего метода изучения явлений материального мира очевидны и доказано всем ходом развития науки и техники.

Сейчас нег. пожалуй, такой отрасли знаний, где бы оно ни применялось.

Под моделью понимается *«Такая мысленно представляемая или материально реализованная система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замечать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте.»* (В.А.Шофф)

Некоторые исследователи склонны приписывать процессу моделирования всеобщее значение в познании.

Так Н.М.Амосов считает, что любая «Информация есть сведения о системе, ее структуре и функции, выраженные моделью...»

Информация – это всегда модель, всегда упрощение... оригинала, будь то структура и ли функция.

В разведочной геофизике моделирование – это способ решения прямых и обратных задач геофизики на моделях, имитирующих натуральные объекты. В частности распространено **физическое моделирование** – наиболее известны эксперименты на постоянном и переменном токе или на электропроводной бумаге, решение прямых и обратных задач магниторазведки, гравиразведки, отдельных методов электроразведки (термометрии и др.) с помощью сеточного электро моделирования, изучение физических полей искусственно созданных моделей скважин, исследование упругих колебаний в твердых средах, имитирующих реальные геологические разрезы и т.п.

Примером **аналогового моделирования** служит описание процесса формирования идеального механического ореола рассеяния химических элементов. (Рис 6. 1.)



Рис 6. 1. График (а) и схема (б) образования механического ореола рассеяния химического элемента.

На заключительных этапах интерпретации геофизических данных используют математическое моделирование (к которому можно отнести все без исключения способ решения прямой и обратной задачи геофизики).

**Моделирование в разведочной геофизике применяют очень широко, но преимущественно для целей интерпретации.**

При этом упор еще недавно делался на моделирование результатов какого-то одного метода.

В последние годы широкое распространение получило комплексирование геофизических методов, а также совместное использование результатов различных видов исследований (геологическое, геохимическое, геофизическое с использованием горно-буровых работ).

Делаются многочисленные попытки комплексной интерпретации результатов нескольких методов (в т.ч. и разного типа).

## **НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ФГМ (ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ) ОБЪЕКТА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОИСКОВ.**

Геофизические работы всегда нацелены на обнаружение реальных рудных тел и месторождений через создаваемые ими геофизические аномалии. (В этом их принципиальная методическая особенность).

При анализе возможностей того или иного геофизического метода, при расчете параметров ожидаемых аномалий и подборе рационального комплекса методов для решения конкретной рудопоисковой (нефтегазового скопления) задачи каждый исследователь вольно или невольно абстрагируется от реальных свойств и качеств объекта поисков (морфология, вещественный состав руд и вмещающей среды, характер и степень изменения боковых пород и т.п.) и стихийно пользуясь приемами мысленного моделирования, уподобляет ЦГО, некоторому объему, характеризующемуся статистически усредненными физическими свойствами и геометрическими параметрами.

В практику геофизических исследований введено понятие «физико-геологическая модель (ФГМ) объекта геофизических поисков», которое используется при проектировании и, особенно, при интерпретации комплексных геофизических и геохимических съемок» (Г.С.Вахромеев, 1968).

Под ФГМ объекта геофизических поисков следует понимать абстрактное возмущающее тело, обобщенные размеры, форма и физические свойства которого с той или иной степенью приближения аппроксимируют реальные геологические и рудные образования, подлежащие обнаружению.

И еще: поскольку целевой геологический объект (т.е. объект, подлежащий обнаружению и оценке последующей в заданном масштабе геофизической съемки) изучается в геофизических полях и при этом геофизику приходится обобщать все известные факторы типа: состав пород, форму, физические свойства и поля, касающиеся свойств целевых геологических объектов, использовать геометрическое представление.

То в такой постановке под физико-геологической моделью понимается приближенное к реальному описанию целевых объектов геофизической среды, подлежащих обнаружению и последующей оценке.

**На основе ФГМ:**

- проектируются геофизические работы;
- определяются оптимальные размеры съемочной сети;

- планируется необходимая и достаточная точность съемок;
- решают вопросы сравнительной эффективности, как отдельных геофизических методов, так и их комплексы;
- проводится интерпретация (особенно!).

Для описания ФГМ – необходимы следующие данные:

1). **Степень различия свойств** целевых геологических объектов.

Нередко большое влияние на свойства пород оказывают такие факторы, как пиритизация, магнетизация, обводненность, трещиноватость, графитизация, углефикация и др., что в ряде случаев обеспечивает успех геофизических поисков целевых геологических объектов.

2). **Представление ЦГО правильными геометрическими формами**, что позволяет решать прямую задачу геофизики. При подборе геометрически правильной модели в каждом конкретном случае следует учитывать условия залегания целевых объектов. Необходимо помнить, что при значительном погружении от земной поверхности или при большой достаточной высоте съемки физических полей от трехмерных, двумерных и вертикально протяженных объектов будут приближаться соответственно к аномалиям от пласта, полюсной линии и штока.

3). **Полиморфность в отношении физических свойств и геометрических размеров**. Так, например, линзу медноколчеганных руд можно рассматривать одновременно в качестве пласта, хорошо проводящего электрический ток и обладающего избыточной плотностью сжатого эллипсоида с повышенной поляризуемостью, полюса естественного гальванического элемента, создающего естественное электрическое поле, источник формирования в перекрывающих элювиально-делювиальных отложениях ореолов рассеяния меди и элементов-индикаторов.

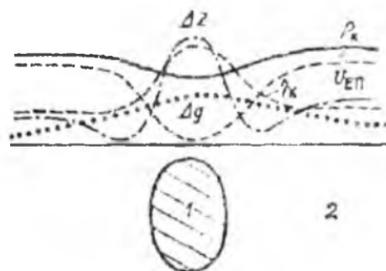


Рис. 6.2. Физико-геологическая модель линзы сульфидных руд.  
1 – рудное тело; 2 – вмещающие породы

Количественные параметры ФГМ-лей зависят от физических свойств горных пород и руд, геометрических параметров ЦГО и мощности перекрывающих отложений.

Создаваемый при этом аномальный эффект ФГМ в общем, виде можно выразить формулой:

$$A = \Sigma p F * v / r n$$

- где А – ожидаемая геофизическая аномалия,  
Σ – суммарный эффект от различных тел разреза;  
р – приращение физического параметра;  
F – действующая сила;  
v – размер тела;  
г – расстояние до целевого объекта;  
n – интегральный член, зависящий от формы тела.

**Физико-геологическая модель – это обобщенная модель ряда целевых объектов определенного класса.**

Модель отдельного объекта используется для построения обобщенной модели, а также для истолкования полей, наблюдаемых над данным конкретным объектом, и сопоставления сведений о физ. свойствах пород с наблюдаемыми полями.

**Назначение обобщенной ФГМ состоит в следующем:**

- выработке геокартировочных и поисковых критериев (с учетом глубинности исследований, мощности перекрывающих пород и т.п.);
- оценке применимости отдельного метода;
- обосновании рационального комплекса методов.

Эффективность использования той или иной ФГМ зависит от решения конкретной геологической задачи.

**Совершенствование ФГМ-лей приводит к появлению новых критериев и признаков, а их построение базируется на 3-х признаках:**

- 1) **аналогии**, заключающиеся в выборе объекта исследований на основе данных, полученных на объектах (участках) со сходными геолого-геофизическими исследованиями;
- 2) **корреляции**, заключающиеся в возможности оценки правильности принятой модели в зависимости от изменчивости размеров, физ. свойств ЦГО при сравнении с наблюдаемыми геофизическими полями;
- 3) **обратной связи**, использующие результаты обработки и интерпретации материалов с целью совершенствованию модели.

Иными словами ФГМ *создается* путем *последовательных приближений*. по мере накопления знаний об объекте. При малом объеме первичной (априорной) информации, модель груба, и, следовательно, **НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ** выбора геофизических методов весьма велика.

При накоплении информации о моделируемых объектах (ЦГО) совершенствуются выбор геофизического комплекса, а также методика геофизических исследований.

**Формирование ФГМ** базируется на результатах физического и математического моделирования.

Так при физическом моделировании создаются искусственные модели с близкими к горным породам физическими свойствами и соблюдением условий подобия.

При математическом моделировании рассчитываются физические поля для заданных физ.свойств с использованием соответствующих уравнений теории потенциальных полей или дифференциальных волновых уравнений.

**В создании ФГМ выделяются три фазы:**

I – фаза связана с началом геофизических работ в новом районе и привлечением геофизических данных ( по районам со сходным геологическим строением).

II – фаза учитывает результаты опытно-методических работ, что позволяет совершенствовать и сам геофизический комплекс применяемых методов.

III – фаза соответствует такому периоду исследований, когда анализируется значительный объем производственно-экспериментального материала.

Это позволяет использовать количественные расчеты геологической и экономической эффективности, как отдельных методов, так и их различных сочетаний.

**НЕОДНОЗНАЧНОСТЬ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ** является уязвимым местом геофизических работ. Ошибка в определении геологической природы аномальных геофизических полей, их качественных и количественных характеристик нередко приводит к неоправданным затратам, к задержке в освоении отдельных источников минерального сырья, а нередко и к их исключению из планов освоения, к необоснованному вовлечению в разведку и эксплуатацию малорентабельных МПИ. Только в отдельных случаях можно выявить и опознать объект по данным одного метода, в большинстве же

случаев, с переходом к изучению больших глубин и повсеместно это можно сделать только по данным нескольких методов, основываясь на разных физических и геологических свойствах объекта.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ** – первоочередная задача при поисках ЦГО, поскольку часто такие объекты создают аналогичные по форме, интенсивности и размерам аномалии. Например – аномалии от вертикально залегающих рудных тел, часто сходны аномалиями над тектоническими нарушениями. Двойственную природу могут иметь аномалии методами ЕП и ВП при поисках сульфидов в зонах распространения графитизированных пород.

При проведении подземных гравиметрических работ положительные аномалии создают объекты как с положительной эффективной плотностью (расположены ниже профиля наблюдений), так и с отрицательной (расположенной выше профиля наблюдений и пр.).

Во всех случаях для однозначного истолкования данных используют дополнительную информацию, полученную другими методами (геофизическими, геохимическими, геологическими), поскольку только комплексное использование различных данных позволяет исключить неоднозначность решения обратной задачи.

**Необходимость комплексирования при определении природы аномалии можно проиллюстрировать следующим примером.**

Предположим, что физические свойства наиболее распространенных пород изучаемого района могут быть представлены в виде распределений А, Б, В, Г, Д, Е. В результате магниторазведочных работ удалось установить, что магнитная восприимчивость пород слагающих участок или вызывающих аномалию, составляет  $\chi$ .

Как видно этому значению ( $\chi$ ) отвечают породы трех типов А, В, Е.

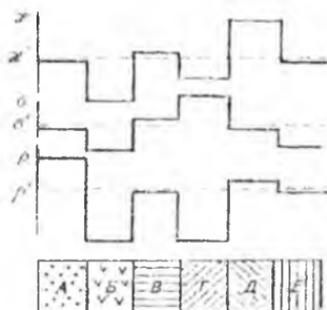


Рис. 6.3. Графики физических свойств горных пород разных типов.

По данным гравиразведки удалось уменьшить неоднозначность. окончательное решение удалось получить после постановки электроразведочных работ. Это породы типа В (Рис. 6.3).

Неоднозначность количественного решения обратной задачи проявляется в теоретической и практической эквивалентности.

Теоретическая эквивалентность состоит в том, что различные по размерам и глубинам залегания геологические объекты могут создавать одинаковые по форме, размерам и интенсивности аномалии.

Практическая эквивалентность определяется совпадением аномальных эффектов от различных по размерам объектов в пределах погрешностей наблюдений и используемого метода интерпретации.

## Лекция 7 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Все известные к настоящему времени комплексы можно разделить на две группы - **технологические** и **целевые**.

Под **технологическими комплексами** понимают группу геофизических методов, объединенных общностью условий проведения измерений (в космосе, в воздухе, на море, под землей) и набором технических средств с общими элементами оборудования.

**Целевые комплексы** определяются общностью решаемых задач: геологическое картирование, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, инженерная геофизика.

### ДИСТАНЦИОННАЯ ГЕОФИЗИКА

К дистанционным средствам относят методы, с помощью которых производят исследования Земли с разных высот.

Общие условия измерений – наличие между объектами исследований и детекторами или источниками физических полей слоя атмосферы, имеющего специфические свойства.

Это позволяет непрерывно измерять электромагнитные, тепловые, геомагнитные, гравитационные и ядерные поля без существенного искажения для больших площадей.

**Дистанционные методы подразделяются на две группы:**

- Спутниковую геофизику (высоты 160 км и более);
- Аэрогеофизику (высоты до 15 км)

Методы характеризуются различной степенью генерализации измеряемого поля, а, следовательно, и разрешающей способностью по отношению к исследуемым объектам. При этом площадь мгновенного сбора информации пропорциональна квадрату высоты.

Электромагнитные съемки со спутников производят в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазоне длин волн.

Аномальное гравитационное поле изучают по отклонению траектории движения спутника от вычисленной для Земли сферической формы с правильным сферическим распределением масс.

В аэрогеофизике измеряют: естественные и искусственно создаваемые электромагнитные поля в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазонах длины волн, а также сверхдлинноволновые, индуктивные и поля переходных процессов; модуль полного вектора, вертикальную компоненту и вертикальный градиент геомагнитного поля, энергетический спектр гамма-полей и гравитационное поле.

Аэросъемки проводят в масштабах 1: 200 000, 1: 50 000, 1: 25 000 и 1: 10 000 односторонними и комплексными (СКАТ-77, «Макфар», «Барринджер») аэрогеофизическими станциями.

*Дистанционные методы применяют для решения следующих задач:*

- 1) литологическое картирование пород, различающихся по физическим свойствам;
- 2) структурное картирование линеаментов и кольцевых образований, зон разломов, тектонических нарушений, складчатых образований;
- 3) поиски и разведка месторождений полезных ископаемых;
- 4) изучение растительного покрова и связанного с ним распределения геохимических аномалий.

## **МОРСКАЯ ГЕОФИЗИКА**

Морская геофизика включает практически все геофизические методы. Специфика условий измерений является наличие водного слоя между детекторами и источниками геофизических полей и объектами исследований.

При измерениях ветер, волнение и морские течения вызывают вибрацию, качку и снос судна с курса. Повышенная влажность, широкий диапазон изменения температур, насыщенность воздуха морской солью, ограниченное количество технического персонала на борту предъявляют

дополнительные требования к эксплуатационным характеристикам аппаратуры и её надёжности.

Сейсморазведка выполняется методами глубинного зондирования, отраженных и преломленных волн и сейсмоакустического профилирования.

Проводят также гравиметрические и гидромагнитные измерения, электроразведку методами непрерывного дипольного зондирования и профилирования, радиометрическую съемку и терморазведку.

В настоящее время разработан и внедрен морской высокопроизводительный бортовой автоматизированный навигационно-геофизический комплекс с использованием спутниковой навигации «МАРС», предназначенный для круглосуточного выполнения геофизических наблюдений, автоматизации измерений и обработки информации.

В систему «МАРС» входят гравиметр, гидромагнитометр, сейсморазведочная и сейсмоакустическая аппаратура, приемники спутниковых, радионавигационных и радиогеодезических систем, эхолоты, лаги и другие устройства, сопряженные с системой бортовых ЭВМ. Геолого-геофизическая информация оперативно обрабатывается с выдачей результатов в реальном масштабе времени с одновременной записью на магнитном носителе. Глубина исследований составляет до 20 км под дном моря.

Морские геофизические исследования на этапе изучения морфоструктур **Мирового океана** включают мелкомасштабные гравиметрические и гидромагнитные измерения, работы методом отраженных волн и сейсмоакустического профилирования.

При поисках месторождений в прибрежной части шельфа геофизические исследования на этапе разведочных работ производят по редким галсам.

Собственно поисковый этап работ представляет собой некондиционную съемку прибрежных отложений в масштабе не мельче 1: 200 000, которая с большей детальностью охватывает перспективные площади. Расстояния между галсами при поисковой съемке зависят от извилистости контура берега, характера распределения и состава полезного ископаемого.

**Морские геофизические исследования выполняются для решения следующих задач:**

- 1) изучение глубинной структуры земной коры;
- 2) выяснение регионального геологического строения шельфа:

- 3) оценка перспективности нефтегазоносности шельфовой зоны;
- 4) поиски и разведка морских россыпных месторождений касситерита, золота, алмазов, магнетита, ильменита, марганца, фосфоритов, строительных материалов, подводных залежей угля, железа, а в более глубоководных зонах морей и океанов – железо-марганцевых конкреций, глауконита, красной глины и органоминеральных илов;
- 5) инженерно-геологические исследования при строительстве портов, эстакад и т.п.
- 6) поиски пресных артезианских вод, залегающих на породах морского дна.

### **ПОДЗЕМНАЯ ГЕОФИЗИКА**

Дистанционные методы подземной геофизики – это технологический комплекс геофизических методов, у которых либо источник и приемник поля, либо один из них помещены в нижнее полупространство, под землю.

В отличие от каротажа и методов опробования стенок горных выработок эти методы применяют для обследования массивов горных пород в около- или межскважинном (межвыработочном) пространстве размерами до десятков и сотен метров.

В принципе все геофизические методы могут быть использованы в подземном варианте. Для этого нужно иметь специализированную аппаратуру, а также соответственно измененные приемы проведения измерений и интерпретации полученных данных, ибо объект исследований может находиться в любом направлении (снизу, сбоку, сверху) от пункта наблюдения. При измерении полей под землей происходит приближение к исследуемым геологическим объектам, что влечет за собой увеличение абсолютного объема полезной информации.

Одновременно вследствие удаления от поверхностных помех (микросейсм, временных вариаций, неоднородности и непостоянства мощности рыхлых отложений, рельефа и др.) достигается снижение уровня помех. Оба эти фактора обуславливают возрастание отношения сигнал / помеха, что приводит к увеличению глубинности исследований.

В настоящее время применяют следующие дистанционные методы подземной геофизики: радиоволновое просвечивание, методы сопротивлений, заряда, естественного поля, вызванной поляризации, низкочастотной электроразведки, подземную гравитационную (в горных выработках)

и магнитную (в скважинах) разведку, терморазведку, сейсморазведку и геоакустику, пьезоэлектрический метод.

Наряду с этими методами, которые используются и в полевых модификациях, в подземной геофизике применяют некоторые специфические методы, не имеющие соответствующих аналогов в полевой геофизике. К ним относятся мюонный метод, контактный и бесконтактный способы поляризационных кривых и терморазведка

**Дистанционные методы подземной геофизики применяют для решения следующих задач:**

- 1) поиски и разведка глубокозалегающих месторождений;
- 2) создание пространственных физико-геологических моделей месторождений с целью их рациональной разведки и эксплуатации;
- 3) поиски пропущенных и оконтуривание известных рудных залежей;
- 4) решение горнотехнических задач (выявление подземных полостей, оконтуривание зон обрушений, обнаружение подземных пожаров и др.);
- 5) определение физических свойств пород в естественном залегании.

Все эти технологические комплексы геофизических методов не исчерпывают всего их многообразия. Они существуют и в полевой геофизике.

Например, при поисках рудных месторождений обычно совместно используют методы сопротивления и вызванной поляризации ( комплексные станции «Енисей», и ВПС-69).

В структурной геофизике комплексные исследования методами сопротивлений, теллурических токов и становления поля выполняют станцией ЭРСУ-60.

При работах методами МТП, МТЗ, и ТГ применяют станции МТЛ-71, ЦЭС-2.

## **Лекция 8** **ПОИСК И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ** **ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Современные тенденции в развитии комплексных геофизических исследований при поисках и разведке месторождений твердых полезных ископаемых характеризуется широким использованием аэрогеофизиче-

ских съемок в масштабах 1:50 000 - 1: 10 000 ( магнито-, электро-, радиометрическая разведка) высокоточных гравиметрических съемок, сейсмических исследований, особенно при поисках глубокозалегающих месторождений.

Геофизические исследования при поисково-оценочных работах включают высокоточные гравии-, магниторазведочные съемки, электро-разведку и сейсморазведку ( МОВ, КМПВ, РНП, метод рефрагированных волн) в комплексе с методами скважинной геофизики.

При разведке МПИ широко используют данные наземных съемок (масштабов 1: 5 000 – 1: 1 000), но отдают предпочтение методам скважинной, шахтно-рудничной геофизики и каротажа.

Различают следующие виды классификации твердых полезных ископаемых:

1. **Группа черных и легирующих металлов**  
(Железо, марганец, хром, титан, никель, кобальт, вольфрам, молибден, ванадий);
2. **Группа цветных металлов**  
( медь, свинец, цинк, кадмий, олово, мышьяк, ртуть, сурьма, висмут);
3. **Группа легких металлов**  
(алюминий, магний)
4. **Группа благородных металлов**  
( золото, серебро, плагина);
5. **Группа редких металлов**  
( Тантал и ниобий, цирконий и гафний, литий, бериллий, рубидий и цезий, редкие земли);
6. **Группа радиоактивных элементов**  
( уран, торий);
7. **Нерудные полезные ископаемые**  
(алмазы, графит, корунд, слюда, пьезооптическое минеральное сырье (пьезокварц, исландский шпат, оптический флюорит), асбест, тальк, флюорит, барит, апатиты, фосфориты, сера, соли, бром, йод, борное сырье, известняки, доломиты, мел, мергель, магнезит, гипс и ангидрит, кварциты, песок, гравий, диатомит, трепел, опока, кремень, глинистые породы);
8. **Твердые горючие полезные ископаемые**  
( ископаемые угли, горючие сланцы);
9. **Самоцветы, природные декоративные и строительные материалы.**

## ПОИСКИ и РАЗВЕДКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Геофизические методы ( $\Gamma_{\phi M}$ ) играют важную роль при поисках и разведке металлических полезных ископаемых.

Удельный вес геофизических работ в общих затратах геологоразведочных работ на черные, цветные, редкие и благородные металлы составляет 15-16 %.

Однако темпы развития геофизических работ нельзя признать достаточными, учитывая их возможности.

При этом можно отметить более низкий удельный вес  $\Gamma_{\phi P}$  на цветные и редкие металлы по сравнению с таковым на твердые ПИ в целом.

Высокий уровень затрат сохраняется на такие металлы как Cu, Ni, Pb, Al (18-23 %), хотя месторождения редких и благородных металлов являются объектами более сложными и при их поисках и разведке требуется использование широкого круга поисковых признаков, в т.ч. геофизических.

Совершенно неоправдана тенденция некоторого снижения удельного веса  $\Gamma_{\phi P}$  на черные металлы, в то время как в ведущих железорудных провинциях (Кривбасс, КМА, Урал, Северный Казахстан, Западная Сибирь) с каждым годом повышается глубинность поисков и разведки.

Наблюдается несовершенство отдельных видов  $\Gamma_{\phi P}$ , т.е. некоторое отставание технической базы отдельных видов  $\Gamma_{\phi P}$  от растущих запросов производства.

Современные тенденции в развитии рудопоисковых  $\Gamma_{\phi P}$  можно охарактеризовать так. Основой комплекса *крупномасштабных поисков* должны стать *комплексные аэрогеофизические съемки (магнито-, электро-, радиометрические) масштабов 1: 50 000 - 1: 10 000.*

Повышение глубинности опоскования с целью обнаружения перекрытых и скрытых месторождений умеренных глубин связывается с более широким привлечением методов аэроэлектроразведки (АМПП, ДИП, АФМАГ, СДВР), наземных методов (ВП, МПП, ММЗ, естественного электрического поля).

С целью выделения и изучения рудоносных структур и формаций, рудных полей и наиболее крупных месторождений (с массивными рудами) все в больших масштабах в комплексе включаются *высокоточные гравиметрические съемки.*

При поисках глубокозалегающих месторождений усиливается роль сейсмических методов и особенно МОВ.

С целью изучения рудоносности около - и заскважинного пространства из одиночных скважин поискового и проверочного бурения при оценке аномалий и аномальных зон привлекаются методы скважинной геофизики ( ЕП, ВП, МПП, ММЗ, индукции).

Для детальных геофизических поисков (масштаб 1: 10 000 – 1: 5 000) металлических полезных ископаемых характерно широкое комплексирование наземных методов и расширенное использование *методов скважинной геофизики*.

*Повышение эффективности наземной магниторазведки* связывается с расширением использования высокоточной магнитометрии, с применением таких методических приемов, как микромагнитная съемка, повысительные наблюдения, магнитная градиентометрия.

Высокоточная гравиразведка все в большей степени привлекаются наряду с решением структурных задач, к прямым поискам оруденения ( Fe, Cr сульфидного и др.)

Расширяется применение методов сейсморазведки (МОВ, КМПВ, РНП, метода рефрагированных волн) в комплексе поисковых работ на глубокозалегающие МПИ, что вызывается необходимостью изучения условий рудного поля, выделения рудоконтролирующих структурных элементов и продуктивных горизонтов, а в некоторых случаях обнаружения самих рудных залежей.

При поисках руд редких металлов и рассеянных элементов, а также фторсодержащих руд начинают использоваться отдельные виды *ядерно-физических съемок*.

Методы наземной и скважинной геофизики составляют единый комплекс исследований. Из числа их эффективно применяются односкважинные методы и модификации.

Методы каротажа привлекаются в комплексе главным образом для выделения и изучения в скважине рудных интервалов, качественной и количественной оценки вещественного состава пород и руд в естественных условиях.

Усиление петрофизических исследований вызвано как расширением исследований физических характеристик пород и руд, так и их привлечением к решению задач поисков *рудоперспективных зон метаморфизма и метасоматоза, околорудных изменений*.

При разведке месторождений геофизические комплексы подразделяются по её стадиям.

Различие требований промышленности к результатам каждой стадии разведки предопределяет специфику геологических задач Г<sub>ф</sub>Р и состав их комплексов.

Заметную роль в геофизических комплексах на предварительной (на самом месторождении) и на детальной (на его флангах) стадиях разведки полезных ископаемых играют наземные методы масштабов 1: 5 000 - 1: 1 000. В число могут входить высокоточные магнитные и гравиметрические съемки, электроразведочные работы методами ЭП (для изучения верхней части разреза) и ЭЗ (для изучения глубоких горизонтов месторождений), а также сейсморазведочные работы МОВ, МРП РНП и другие (для уточнения геолого-структурной позиции МПИ и оценки рудоносности глубоких горизонтов).

*Превалирующее значение приобретают методы скважинной, шахтно-рудничной геофизики и каротажа, что обусловлено большим уровнем помех на поверхности в условиях разведываемого месторождения, повышенной глубиной изучения.*

При разведке могут, использованы практически все известные скважинной и шахтно-рудничной геофизики.

Выделение и корреляция по данным каротажа рудных интервалов и изучение вещественного состава пород и руд в скважинах и выработках создают благоприятные условия для выбора оптимальной сети разведочного бурения и перехода на бескерновое бурение.

С переходом к эксплуатационной разведке с их помощью дополнительно осуществляется опробование рудной массы во всех циклах технологического процесса, а также выделение и картирование в карьерах и подземных выработках технологических типов руд и изучение горнотехнических и гидрогеологических условий месторождения.

## **ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Ведущим направлением в развитии нерудной геофизики является использование современных достижений разведочной геофизики, в первую очередь, рудной.

Геофизические материалы, полученные при региональных исследованиях, геологическом картировании и поисках рудных полезных ископаемых, могут быть эффективно использованы при подготовке геолого-структурной основы для прогнозных карт на неметаллы (мелко-, средне-, крупномасштабных) и выделении элементов прогноза.

К настоящему времени накопился опыт применения геофизических методов на 16 видов горно-химического и горно-технологического сырья на 12 видов стройматериалов, цементного и стеклового сырья. Г<sub>ф</sub>М опробованы и используются на ограниченное число неметаллов, поэтому немаловажной задачей ближайшего периода является изучение их возможностей на более широкий круг полезных ископаемых.

*Благоприятные предпосылки в данной области связаны с:*

1) контрастность большинства неметаллических ПИ по физическим свойствам ( по отношению к вмещающим породам). Так, например, барит обладает повышенными значениями плотности и УЭС, каменная соль – пониженной плотностью и высоким УЭС, графит – высокой проводимостью и низкой плотностью, фосфориты – повышенной радиоактивностью и плотностью и т.д.;

**Наибольшее распространение Г<sub>ф</sub>Р получили на апатиты, асбест, барит, битумы, бор, гинс, графит, кварц, корунд, камнесамоцветное, карбонатное, песчано-гравийное, пьезооптическое и строительное сырье, самородную серу, слюды, соли (минеральные), флюорит и фосфориты.**

2) приуроченность большинства месторождений неметаллов к определенным структурам и формациям, которые находят отражение в геофизических полях.

Геофизическими методами успешно выделяются и исследуются такие рудоконтролирующие структуры - как купола, горсты, кальдеры, антиклинали, мульды, тектонические нарушения, штрузии, дайки.

В геофизических полях можно выделить вулканогенные, осадочные, метаморфические и другие формации, вмещающие залежи неметаллов.

Нередко геофизические методы достаточно уверенно фиксируют зоны околорудных изменений, а также проявления контактного и гидротермального метаморфизма, с которыми могут быть связаны неметаллы;

3) наличие корреляционных связей между количеством полезных компонент в рудах и радиоактивными и ядерно-физическими их свойствами. На этих зависимостях разработаны методики количественной оценки интересующих нас элементов и их химических соединений на месторождениях апатитов, фосфоритов, флюорита, калийной соли и пр.

К преимуществам ядерно-физического опробования следует отнести экспрессность определений, непрерывность измерений, отсутствие необходимости массового отбора проб, их транспортировки, обработки и хранения, быстрого получения результатов анализа;

4) *высокая мобильность и комплексность аэрогеофизических съемок*, особенно в труднодоступных районах. Использование высокоточных аэромагнитных съемок особенно важно при исследовании слабомагнитных и немагнитных образований, с которыми связаны многие неметаллические ПИ (горный хрусталь, фосфориты, барит, асбест и др.). Сочетание аэромагнитной съемки с аэрогамма-спектрометрией усиливает поиски на слаборадиоактивные полезные ископаемые (апатиты, фосфориты и др.)

5) *повышение глубинности поисковых работ*. Достигается благодаря включению в комплексы высокоточной гравиразведки (при поисках барита и корунда, выделении и изучении солеродных бассейнов, соляных куполов, кальцитоносных мульд, кальдер и горстов, апатитоносных массивов нефелиновых сиенитов и др.), ЭЗ (при поисках калийных солей, гипсов, ангидрита, серы, мраморов, песков и глин), а также методов сейсморазведки (при поисках и разведке МПИ серы, бора, калийных солей; при изучении апатитоносных интрузий, алмазонасных трубков взрыва).

Развитию нерудной сейсморазведки при поисках на малых глубинах способствует освоение и внедрение ударной сейсморазведки с накоплением сигналов;

6) *повышение достоверности и экономичности разведочных работ* на неметаллические ПИ. Осуществляется благодаря привлечению методов скважинной геофизики (для исследования меж- и околоскважинного пространства) и каротажа (для изучения стенок скважин). Они могут быть использованы при выявлении залежей в околоскважинном пространстве, изучении их состава, размеров и морфологии, при выделении продуктивных горизонтов, качественной и количественной оценке неметаллов непосредственно в скважинах или горных выработках.

Из методов скважинной геофизики на МПИ неметаллов могут найти: трехкомпонентная магниторазведка, индукционная электроразведка, метод заряда (электрическая корреляция), РВП и САП, скважинная сейсморазведка и подземная гравиразведка (в горных выработках);

7) для изучения рудных интервалов и определения вещественного состава пород и руд наиболее широко используются радиоактивные и ядерно-физические методы ГИС (гамма-каротаж, ГГК-П, и ГГП-С, НАК и др.).

*Широкое применение геофизических методов на всех стадиях поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых позволит существенно повысить эффективность ГРР на этот вид сырья.*

## ЛЕКЦИЯ 9 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

**Железо.** Залежи железных руд различного генезиса — один из самых благоприятных объектов поисков и разведки геофизическими методами, т.к. они имеют резко контрастные физические свойства, большие объемы и площадное распространение.

Магнетитовые руды обладают повышенными магнитной восприимчивостью и плотностью по сравнению с вмещающими породами (выше на несколько порядков по  $\chi$  и в 2-3 раза по  $\sigma$ ), хорошо проводят ток и способны поляризоваться.

В частности, месторождения, связанные с кремнисто-железистыми формациями докембрия (КМА, Кривой Рог, Кольский полуостров, Восточная Сибирь, дающие 60% ежегодной добычи) имеют  $\chi_{\text{кр.}} = 7 \cdot 10^{-1}$  ед. СИ.,  $\sigma = 4,5 \text{ г/см}^3$  (для магнетитовых руд) и  $\sigma = 3,4 \text{ г/см}^3$  (для железистых кварцитов), маргитовые руды имеют  $\chi_{\text{ср.}} = 2 \cdot 10^{-2}$  ед. СИ.,  $\sigma = 3,2 \text{ г/см}^3$

Скарново-магнетитовые и магномагнетитовые руды осадочно-вулканогенных формаций геосинклинальных областей Урала, Горной Шории, Кузнецкого Алатау, Тургайского прогиба, юга Восточной Сибири (25% добычи), имеющие сложную форму, кроме повышенных  $\chi$  и  $\sigma$  имеют прямую корреляционную связь между плотностью и содержанием железа.

Месторождения сидеритовых, гематитовых и бурожелезняковых руд (8% добычи) отличаются пониженными значениями магнитной восприимчивости, плотность руд может достигать  $3,6 - 3,8 \text{ г/см}^3$ , удельное (УЭС) меняется в широких пределах (от  $10$  до  $10^5 \text{ Ом*м}$ ) и соизмеримо с УЭС вмещающих пород.

Эти объекты могут быть выделены магнито- и гравиразведкой, однако геофизические методы здесь применяются в основном с целью картирования рудоконтролирующих и рудовмещающих структур, для выделения локальных депрессий, их приобортных частей, погребенного рельефа коренных пород, разрывной тектоники. Наиболее эффективны электро-разведка (ВЭЗ, ДЭЗ, ЭП) и сейсморазведка.

Для локализации в разрезе рудных зон, их корреляции между скважинами, оценки мощности рудных пересечений используют комплекс ГИС (ГК, ГГК-П, ГГК-П, ПНК, ЭМК), кавернометрию и инклинометрию.

На основных промышленных типах месторождений железных руд применяют геофизический комплекс с более широким набором методов.

Аэромагнитные и гравиметрические съемки масштабов 1: 200 000 - 1: 50 000 позволяют выявить и оценить масштабы оруденения месторождений железистых кварцитов. Уточнение особенностей распространения и форм их залегания проводится в масштабе 1: 50 000 - 1: 25 000. Глубину оруденения и прогнозные ресурсы оценивают погоризонтными аэромагнитными съемками.

По интерпретационным профилям в комплексе с векторными магнитными измерениями, магнитной и гравитационной градиентметрическими съемками или высокоточной гравиразведкой выполняют ВЭЗ, СЭП, на больших разносах или сейсморазведку КМПВ для изучения рельефа кристаллического фундамента и отложений осадочного чехла.

На стадии поисково-оценочных работ геофизические съемки масштаба 1: 10 000 - 1: 2 000 служат для детального расчленения пород железорудных формаций с выделением и прослеживанием отдельных пачек и пластов железистых кварцитов, детального изучения их строения и осложняющей тектоники и выделения отдельных рудных залежей. Для этих же целей применяют магниторазведку, высокоточную гравиметрию, индуктивную электроразведку.

На осложненных участках для детального изучения структуры рудного поля в комплекс включают ВЭЗ, ЭП, ЕП и сейсморазведку.

При поисках и разведке скарново-магнетитовых и магнетитовых руд наряду с аэромагнитной и гравиметрической съемками в районах развития трапповых покровов применяют комплекс исследований методами МТЗ, ЗС, в поле которых находят отраженное изменение мощности отложений чехла платформы, тектонически ослабленные зоны, структуры, контролирующее размещение МПИ. Для разбраковки слабых гравимагнитных аномалий применяют МПП и ВП. Методы ВЭЗ ВП и МПП также применяют для детального изучения формы и размеров рудных тел и прогнозирования оруденения на глубину.

В комплекс ГИС включают КМВ ( для выделения рудных подсечений по стволу скважины, определения мощности рудного интервала, выделения прослоев с различной рудоносностью и количественной оценки содержания магнетитового железа в рудах ), а также ГК, КС, ПС, МЭП, ГГК-П, ГГК-С, инклинометрию, в околоскважинном и межскважинном пространстве применяют МЭК и РВП. на месторождениях магнетитовых руд применяют также скважинные варианты ВП и ЕП.

Магматические и титаномагнетитовые месторождения (около 6% добычи) наряду с традиционным комплексом ГИС применяют НАК, а для опробования и выделения минералогических типов руд на Ковдорском

месторождения применяют рентгенорадиометрический метод (РРМ). На большинстве месторождений магнетитовых руд для оценки качества сырья на стадии эксплуатационной разведки применяют комплексные измерения магнитной восприимчивости и рассеянного гамма-излучения (ГГМ).

**Марганец.** Марганцевые руды слабомагнитны за исключением железисто-марганцевых, имеющих повышенную  $\chi$ . Конкреционные разновидности обладают значительной плотностью (до  $4 \text{ г/см}^3$ ) и повышенным электрическим сопротивлением (в 2 раза выше вмещающих пород), за счет их локализации в кремнисто-карбонатной толще. Землистые (рыхлые) руды имеют меньшую или близкую ( $1,5 - 2,5 \text{ г/см}^3$ ) к вмещающим породам плотность и относительно низкое УЭС (в 5 - 25 раз ниже, чем у вмещающих пород).

Марганцевые руды обладают естественной и вызванной поляризуемостью, а залежи при разрушении создают устойчивые ореолы рассеяния.

В геофизическом комплексе наряду с геохимическими работами используют магниторазведку, электроразведку (ЭП, ДЭП, ВЭЗ, ВП, ЕП), сейсморазведку и детальную гравиметрическую съемку. Особое значение методы ГИС приобретают на стадии разведки в связи с плохим выходом керна рыхлых толщ.

В состав комплекса ГИС входят КС, ПС, КМВ, ННК, НАК, ГГК-П, ГГК, ВП в скважинном варианте для литологического расчленения разреза, выявления и корреляции рудных пластов, определения их мощности и оценки содержания полезного компонента.

**Хром.** Месторождения хрома связаны с магматическими интрузиями основного и ультраосновного состава (Мугоджары, Северный Урал, Кавказ и др. районы). Чаще всего плотность и магнитная восприимчивость пород ультраосновного и основного составов, включающих хромиты, выше, чем  $\chi$  и  $\sigma$  вмещающих пород, поэтому для картирования таких массивов, изучения их формы и глубины залегания, определения мощности перекрывающих рыхлых отложений применяют гравимагниторазведку (1:200 000 – 1: 50 000) и метод ВЭЗ. Непосредственное выделение месторождений хромитов проводят высокоточной гравиразведкой (в т.ч. с измерением вторых производных вариометрами и градиентометрами).

На стадиях разведки успешно используют сейсмоакустическое и радиоволновое межскважинное просвечивание), скважинную магнитораз-

ведку, методы электрической корреляции и ВП, а также методы ядерно-радиометрического каротажа (НГК-С, ГГК-С, ГГК-П, ННК-Н). Наряду с однозначным выделением в разрезе хромитовых руд (НГК-С и ГГК-С) проводится литологическое расчленение разреза (ГГК-П), а также классификацию руд по консистенции (слошную отделяют от вкрапленной и т.д. комплексом, включающим НГК-С, ГГК-С и ННК-Н).

### Лекция 10

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

**Мель.** Большая доля запасов меди приходится на месторождения в медистых песчаниках (50% мировых запасов), одно из крупнейших в СНГ – Джекказганское. Оно приурочено к синклинали, осложненной локальной складчатостью и разрывной тектоникой. Разрез представлен терригенными и карбонатными образованиями, рудовмещающая (джекказганская) свита сложена песчанистыми породами карбона. Породы джекказганской свиты имеют повышенные плотность по сравнению с перекрывающими глинистыми образованиями, сопротивление ( $\rho_k$ ) изменяется от 300 до 1000 Ом\*м) и скорости упругих колебаний (4 800- 5200 м/с). Руды обладают хорошей поляризуемостью ( $\eta_k$  от 15 до 35 %), что позволяет использовать метод ВП для прямых поисков в комплексе с литогеохимической съемкой по вторичным ореолам рассеяния в пределах бортов синклиналей, где оруденение связано с небольшими глубинами залегания (до 100 м).

Для выделения региональных структур проводились комплексные аэромагнитные, гравиметрические съемки и профильные работы методами ВЭЗ, ЗС, сейсморазведка (масштаб 1: 200 000). Работы более крупного масштаба позволяют изучать складчатую и разрывную тектонику и определять участки неглубокого залегания джекказганской свиты практически тем же комплексом методов, который иногда дополняется СЭП.

Широкий комплекс геофизических методов используется на стадии разведки месторождений с целью изучения и определения формы и элементов залегания отдельных рудных тел и оценки состава и кондиционности руд. Среди них полевые и подземные методы (ВП, МПП, ЕП, СЭП, КЭП, ДЭП, магнито-,грави-, и сейсморазведка, МЗТ, РВИ), каротаж (КС, ПС,ГК,ГГК-П, МСК, МЭП, НАК, ННК, НГК, РРМ).

Медноколчеданные месторождения (Рис.10.) приурочены к вулканогенным и вулканогенно-осадочным породам (Ю.Урал, Рудный Алтай, Кавказ). Структурный контроль оруденения выражается приуроченностью рудных полей и месторождений к узлам пересечения разломов, зонам смятия и разноориентированных разрывных нарушений, к сводам и

крыльям антиклинальных складок в местах их сопряжений с разрывными нарушениями, к флексурным перегибам, изгибам слоев, приразломным складкам, локальным поднятиям.

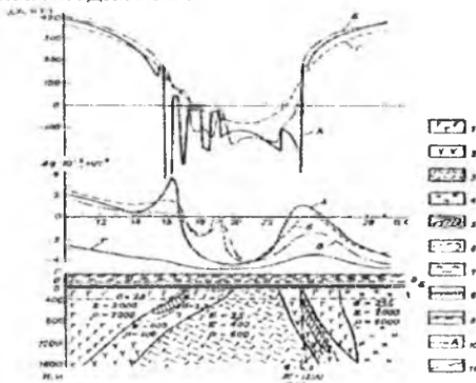


Рис.10.1 Физико-геологическая модель медноколчеданного рудного поля и расчетные аномальные эффекты для различных уровней эрозионного среза (А,Б,В,Г).

1 - эффузивы основного состава, 2 - туфы смешанного состава, 3 - альбитофиры и порфиры, 4 - гранодiorиты, 5 - рудные залежи, 6 - контур околорудных изменений, 7 - рыхлые отложения, 8 - кровля коренных пород, 9 - поверхность земли, 10 - уровень эрозионного среза. 11 - разрывные нарушения;  $\sigma$  - г/см<sup>3</sup>,  $\chi$  -  $10^3$  ед. СИ,  $\rho$  - в Ом\*м

Оруденение локализуется в зонах разломов в виде залежей (чаще пластовых), по которым внедрились малые интрузии, вблизи контактов крупных субвулканических тел, даек. Руды месторождения – массивные, прожилковые, прожилково-вкрапленные и вкрапленные, реже полосчатые, пятнистые.

Руды практически немагнитны (за исключением пирротиновых), обладают большой избыточной плотностью (до 2,2 г/см<sup>3</sup> у массивных руд, 0,4 – 0,9 г/см<sup>3</sup> - для вкрапленных), имеют высокую электропроводность (5 – 100 Ом\*м) и поляризуемость (15 – 40 %). Степень проявления этих параметров в геофизических полях в большей мере зависит от глубины залегания руд, мощности перекрывающих отложений и эрозионного среза.

Основные методы поисков и поисково-оценочных работ - ЕП, ЭП, ВЭЗ-ВП, МПП, высокоточная гравиразведка, малоглубинная сейсморазведка, магниторазведка в масштабах 1: 50 000 – 1: 5 000).

На стадиях разведки широко используют скважинные и подземные геофизические методы, такие как ВП, ЕП, МЭК, РВП, гравиразведка,

геохимия, КСПК, ЧИМ, детализирующие геологические построения и уточняющие оценку рудоносности. Среди методов опробования руд следует выделить РРМ и ГГМ, проводимые непосредственно в отбитой массе, вагонетках, порошковых пробах.

**Свинец и цинк.** Полиметаллические промышленные месторождения (Рудный Алтай, Центральный Казахстан, Большой Кавказ, Каратау и др.) постмагматические – преимущественно гидротермального типа, реже скарновые (контактово-метасоматические).

На Рудном Алтае полиметаллические месторождения связаны с базальт-диабазитовой формацией и локализируются в вулканических, тектономагматических и складчато-блоковых структурах, а также в региональных зонах смятия.

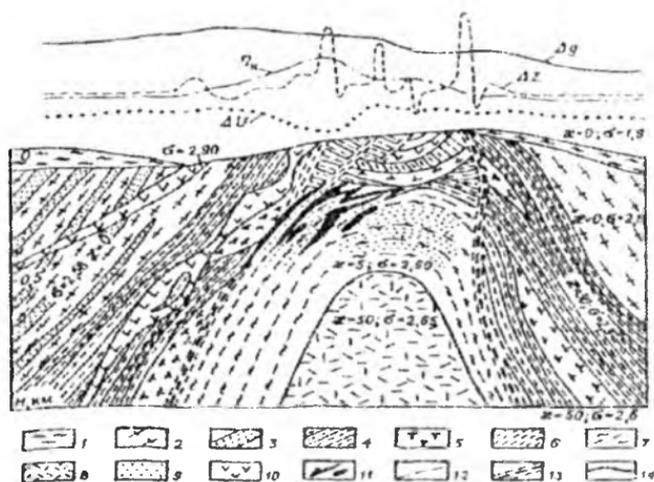


Рис. 10.2.

**Физико-геологическая модель полиметаллического месторождения (по В.В. Бродовому):**

Полиметаллические месторождения Каратау (Рис.10.2) преимущественно трещинно-метасоматические ( ачасайский тип) и сложены сплошным пирит-сфалерит-галенитовыми рудами неправильной формы ( жилло-линзо-гнездообразные).

Руды полиметаллических месторождений немагнитны и слабомагнитны ( за исключением пирротин содержащих массивных руд месторождений Рудного Алтая, Кавказа), плотность руд зависит от тектурных особенностей и варьирует от  $4,7 \text{ г/см}^3$  - для массивных руд, до  $2,8 \text{ г/см}^3$  - у вкрапленных. Руды обладают высокой поляризуемостью (от 5 до 55 %).

низким УЭС на фоне вмещающих пород, имеющих низкую поляризуемость (до 3 %) и более высокое сопротивление (первые сотни – тысячи Ом\*м).

**Типовые комплексы геофизических методов** включают аэромагниторазведку, аэроэлектроразведку (АМПП или ДИП) методы ВЭС, ЕП, ВП, высокоточную гравиразведку, литогеохимию, сейсморазведку в профильном варианте (МОВ)

Методы скважинной геофизики позволяют повысить достоверность разведки и подсчета запасов. Методы КС, ПС, ГК, КМВ используются для литологического расчленения разреза скважин; методы МСК, МЭП, ГГК-П – для выделения рудных интервалов, определения их положения, мощности структуры; ГГК – для качественной и количественной оценки руд и при опробовании в естественном залегании.

**Вольфрам и молибден.** Наиболее распространены месторождения следующих генетических типов: контактово-метасоматические (скарновые) гидротермальные (кварцево-жильные, штокверковые) и экзогенные – россыпные.

Скарновые месторождения расположены в контактовых зонах умеренно кислых интрузий с карбонатными породами. Рудная минерализация распространена по трещинам, межформационным подвижкам и ассоциирует с гранат-пироксеновыми скарнами. Часто за счет магнетита и пирротина руды имеют повышенную магнитную восприимчивость, плотность, поляризуемость ( $\chi = 300500 \cdot 10^{-3}$  ед.СИ,  $\sigma = 2.7 - 3.0$  г/см<sup>3</sup>,  $\eta$  до 15%). И повышенные значения электрического сопротивления  $\rho$  на фоне пониженных значений  $\chi$ ,  $\sigma$ ,  $\eta$  и высокого  $\rho_k$  гранодиоритов, диоритовых порфиров и вмещающих осадочных пород.

Геофизический комплекс включает магнито-, и гравиразведку (картирование интрузий, скарновых зон), метод естественного поля (поиски проявлений сульфидной минерализации) и геохимическую съемку. Применяют также электроразведку ВЭС (для картирования рыхлого покрова), ВЭС-ВП, СГ-ВП (для поисков скрытого сульфидного оруденения) и иногда профильную сейсморазведку МОВ.

Штокверковые месторождения связаны с умеренно кислыми гранитоидами, приуроченными к крупным зонам разломов среди вмещающих осадочных и вулканогенных образований. Формы штокверков изометричные, месторождения приурочены к зонам экзоконтактов интрузий повышенной трещиноватости, тектоническим нарушениям, их пересечениям. Руды комплексные (Mo, W, иногда Sn, Bi). Физические свойства горных пород и руд, геофизические комплексы во многом аналогичны при-

веденным выше, отмечается ведущая роль геохимических исследований по вторичным ореолам рассеяния для изучения зональности распределения элементов-индикаторов (Mo –W, Cu, Pb, Zn – от центра к периферии), позволяющий оценить уровень эрозионного среза месторождений.

Кварцево-жильные месторождения, нередко совмещенные с штокверковыми, изучаются также методами пьезоэлектрического эффекта и КЭП (определение нарушенных зон и кварцевых жил в них).

Методы скважинной геофизики (скважинные магниторазведка, электроразведка ЕП, ВП) сочетаются с методами каротажа (КС, ПС, КМВ, РРК) при изучении разреза скважин, выделении и оценке рудных интервалов, а методы сейсморазведки с ВСП, АК, СК.

Геофизический комплекс, используемый при поисках и разведке экзогенных месторождений W и Mo (а также Au, Ag, Pt, Sn), связанных с русловыми, долинными и террасовыми россыпями, а также для геолого-геоморфологического картирования включает СЭП, ВЭЗ, магниторазведку, иногда радиометрию (повышенный фон за счет монацита, циркона), малоглубинную сейсморазведку (для картирования плотика).

**Олово.** Физико-геологическая модель месторождений связывается с размещением оловорудных полей относительно куполов гранитоидов, зон регионального метаморфизма и близка к модели штокверкового типа. Выделяют различные формационные типы месторождений, отвечающие различным уровням эрозионного среза и характеризующиеся специфическими геофизическими признаками.

Рудные формации выделяются различными методами: а) касситерит-сульфидная – аэромагнитной съемкой, методом ЕП и ВП:

б) касситерит-силикатная – картируется аэрогамма-спектрометрической съемкой (повышенные содержания тория и отчасти калия);

в) кварц-касситеритовая – характеризуется возрастанием содержанием урана и понижением горий-уранового отношения в гамма-спектрометрических полях.

При поисково-оценочных работах и разведке месторождений наряду со стандартным каротажем применяют ядерно-гамма-резонансный метод, РРМ и нейтронные методы (для определения концентраций олова), а также пьезоэлектрический метод и метод ВП.

**Ртуть и сурьма.** Месторождения размещаются в пределах поясов, тяготеющих к мобильным тектоническим зонам, и локализуются в рудноносных зонах, которые приурочены к структурам типа прогибов и антиклинорий. (Центрально-Азиатская сурьмяно-ртутная провинция). Важ-

ный поисковый признак - наличие обширных ореолов околорудных гидротермальных изменений рудовмещающих пород.

Для месторождений характерна геохимическая зональность элементов. ФГМ на разных уровнях эрозионного среза иллюстрирует отражение целевых геологических объектов в геофизических полях, поиски которых осуществляют, прежде всего, аэромагнитной и гамма-спектрометрической съемкой масштаба 1: 50 000 - 1: 25 000, которая позволяет дифференцировать по составу осадочные и метаморфические образования, выделять и проследивать тектонические нарушения, зоны метаморфизма и метасоматоза, картировать зоны гидротермального изменения пород.

Наземной гравиметрической съемкой ( масштаб 1: 50 000) выделяют куполообразные складки, зоны нарушений, породы основного и ультраосновного состава, серпентинитовые тела ( Южная Киргизия), рудоносные интрузии гранитоидов ( Закарпатье).

Наиболее эффективный метод электроразведки - ВП, по данным которого картируют ореолы пирита, широко распространенные над рудными залежами в сланцах надрудной толщи ( $\eta_k = 7-10\%$  на фоне 2-3%), применяют также метод ВЭЗ и съемку срединных градиентов. Ведущими методами комплекса являются литогеохимия и газортутная съемка ( при большой мощности рыхлых отложений). Для трассирования на глубину рудных структур, включая интрузии, применяют профильную сейсморазведку, комплексируя её со скважинными наблюдениями АК и ВСП.

Скважинные исследования включают КС, ПС, ГК (для литологического расчленения разреза), методы ЕП, ВП, трехкомпонентной магнито-разведки, пьезоэлектрический (для выделения джаспероидов и зон окварцевания пород), а также ядерно-физические, такие как НГКс (для оценки содержания ртути), РРК (для оценки содержания сурьмы), НАК - для оценки содержания фтора.

Месторождения золотосурьмяные, сурьмяно-вольфрамовые и сурьмяно-полиметаллические относятся к секущему жильному типу.

Оруденение сосредоточено в кварцевых жилах и частично во вмещающих породах, приуроченных к зонам дробления осадочных пород.

**Бокситы.** Основными типами месторождений бокситов являются:

- 1) осадочные месторождения платформенного типа (Казахстан, Сибирская платформа, Русская платформа и др.)
- 2) осадочные месторождения геосинклинального типа.

Геофизический комплекс применяется для решения двух основных задач: картирования структур (от региональных до локальных) благо-

приятных для локализации бокситовых залежей, и разведки бокситовых месторождений. При работах масштаба 1: 200 000 определяются контуры поднятий фундамента (тип 1), благоприятных для образования лагеритной коры выветривания. Фундамент, перекрытый осадочными породами, характеризуется высоким сопротивлением и неравномерными магнитными и плотностными свойствами в сравнении с чехлом. На стадии поисков (1: 50 000 – 1: 10 000) объектами исследований являются депрессии фундамента, унаследованные осадочным чехлом, в которых происходило накопление и сохранение бокситоносных залежей. Залежи имеют большую плотность, электропроводность, поляризуемость, скорости распространения упругих колебаний, в них повышена концентрация  $^{232}\text{Th}$  при минимуме концентрации  $^{40}\text{K}$ .

Геофизический комплекс включает в себя: ВЭЗ, гравиразведку, КМПВ.

ВЭЗ - решают задачи изучения рельефа и расчленения рыхлых отложений. Гравиразведкой - исследуют структуры фундамента, а магниторазведкой картируют изверженные породы. Профильная сейсморазведка позволяет повысить надежность количественной интерпретации данных ВЭЗ и уточнить положение в разрезе карбонатных пород, экранирующих бокситовые залежи.

Эти исследования сопровождаются геологической съемкой и структурно-картировочным бурением. По результатам работ выделяют крупные плоские поднятия фундамента, зоны развития известняков и их контакты с алюмосиликатными породами.

Поисковые работы проводят методами ЭП, ВЭЗ, магниторазведки, иногда КМПВ с целью картирования пород фундамента, являющегося опорным горизонтом. При небольших глубинах залегания фундамента (до 300 м) используют ВЭЗ, а в других случаях - КМПВ. Магниторазведка позволяет картировать контакты алюмосиликатных пород с известняками (Тургайский прогиб) и осуществлять прямые поиски тел каменных бокситов. Выделенные депрессионные зоны, пространственно совпадающие с магнитными аномалиями, разбуриваются.

Месторождения бокситов геосинклинального типа связаны с областями развития карбонатных отложений, которые характеризуются низкой магнитной восприимчивостью. Бокситоносные горизонты создают слабые локальные магнитные аномалии (несколько десятков нТл). Интрузивные и эффузивные образования, ограничивающие площади развития карбонатных пород, имеют повышенную  $\chi$  и соответствующие дифференцированные магнитные поля.

По радиологическим свойствам породы различаются слабо; в бокситоносных горизонтах отмечено увеличение содержания U и Th в 2-5 раз.

На этой основе геофизическими методами решаются главные задачи:

- 1) картирование областей развития карбонатных пород;
- 2) поиски бокситоносных горизонтов и их прослеживание по простиранию и падению.

Это достигается проведением комплексной аэрогамма-магнитной съемки масштаба 1: 25 000, сопровождаемой наземными проверочными работами, включающими гамма-спектрометрию, магниторазведку, ВЭЗ и СЭП. Методы электроразведки применяют для определения мощности покровных отложений.

## **Лекция II**

### **МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

При изучении золоторудных месторождений геофизическими методами возникают определенные трудности. Некоторые из них обусловлены тем, что золото в рудах содержится в очень малых количествах и присутствие его не создает заметных изменений в физических полях, измерение которых было бы возможно современными геофизическими методами. Это исключает использование геофизических методов для прямого поиска месторождений золота. Кроме того, золоторудные месторождения крайне разнообразны по геологическому строению. Формирование их происходило практически во всех металлогенических эпохах. Они размещаются в складчатых областях разного возраста, на древних платформах, в областях мезозойской тектонической активизации и вулканогенных поясах.

До недавнего времени основными методами поисков золота считались геологические методы, но геопрактика сегодняшнего дня настоятельно требует внедрения более прогрессивных методов обнаружения, основанных на применении физических и химических эффектов.

Наибольшую практическую значимость имеют гидротермальные, хотя существует большое разнообразие генетических месторождений золота.

Золоторудные пояса приурочены к обрамлению мегаблоков с уменьшенной мощностью гранитного слоя, а их размещение контролируется глубинными разломами. Границы мегаблоков отмечаются аномалиями типа ступени в гравитационном поле и резкой сменой интенсивности и характера магнитного поля.

Крупные интрузивы гранитов регистрируются пониженными значениями магнитного и гравитационного полей. К числу целевых геологических задач при поисках масштаба 1: 50 000 – 1: 10 000 относят:

- 1) картирование интрузивных массивов и выделение рудоконтролирующих комплексов пород;
- 2) выделение и прослеживание зон гидротермального изменения пород (окварцевания, лиственизации, березитизации и т.д.)
- 3) изучение структурных особенностей, контролирующих размещение рудных тел (зон трещиноватости, расщепления, дизъюнктивных нарушений, вулканотектонических структур, областей развития карста);
- 4) литолого-петрографическое расчленение пород и выделение разностей, контролирующих размещение оруденения.

При поисках всех типов месторождений в комплекс методов включают аэромагнитную, аэрогамма-спектрометрическую и наземную гравиметрические съемки, а также электроразведку в воздушном (СДВР, ДИП, ВМП) и наземном ( ВП, МПП, ЕП, электропрофилирование) вариантах.

Большую роль при поисках золотого оруденения на данной стадии работ играют геохимические методы по вторичным ореолам рассеяния элементов спутников золота. Высокая эффективность геохимических методов определяется повышенным содержанием As, Sb, Pb, Cu, Zn. в золотоносных сульфидных зонах.

На поисково-оценочной стадии работ геофизические методы применяют для выявления и прослеживания пород, даек, тектонических нарушений. Используют для этого магниторазведку, электроразведку, а также спектрометрическую съемку.

На месторождениях золота кварцево-жильной и малосульфидной формаций выделяют зоны окварцевания, лиственизации и березитизации, гранитные и порфиновые дайки с помощью электроразведки (срединного градиента, дипольного профилирования) по максимумам  $\rho_k$

Зачастую, за счет развития трещиноватости и дробления горных пород характер графиков  $\rho_k$  сложно интерпретировать. поэтому для более-менее однозначного истолкования данных используют результаты гамма-спектрометрии и пьезоэлектрического метода.

На месторождениях золота умеренно и существенно сульфидных формаций рудные зоны отмечаются аномалиями проводимости по ре-

зультатам электроразведки ( ДП, ДИП), характеризуются повышенной  $\rho_k$  и создают естественные электрические поля.

Выбор модификаций электроразведки зависит от мощности и состава перекрывающих отложений, вмещающей среды, формы нахождения сульфидов, степени окисленности руд. Сложно выделять сульфидные зоны среди проводящих углисто-графитизированных образований, поэтому в комплексе используют методы ВП, ЕП и ДП. Сульфидные зоны отличаются более высокой поляризуемостью и низкой проводимостью, создают более низкие естественные поля, чем графитизированные породы. Целесообразно изучать временные характеристики ВП. Пространственное положение рудных зон определяют методом заряда ( МЗТ).

Кварцево-сульфидные прожилково-вкрапленные месторождения в углеродистых терригенных толщах, контролируемые рудовмещающими тектоническими нарушениями, характеризуются сочетанием отрицательных аномалий поля ЕП, пониженных значений магнитного поля и резко переменного поля  $\rho_k$ .

На разведочных стадиях в скважинах широко используют методы КС, МЭП, ПС, ВП и ГК, а в горных выработках – методы РВП и пьезоэлектрический метод (ПЭМ). Для экспрессной оценки содержания элементов-спутников используют РРМ.

Золотороссынные месторождения изучаются гравиразведкой, магниторазведкой, ВЭЗ и сейсморазведкой (выявляют и прослеживают палеодолины, определяют мощность заполняющих их рыхлых образований).

В последние годы одной из главных горнорудных провинций Узбекистана стали Центральные Кызылкумы. Так в этом регионе в разные годы обнаружен ряд крупных золоторудных объектов, таких как Кокпатас, Даугъыз, Тамдытау и др. и особенно такое уникальное месторождение, как Мурунтау.

При изучении золоторудных месторождений геофизическими методами возникают определенные сложности - золото в рудах содержится в очень малых количествах и присутствие его там не создает заметных изменений в физических полях, измерение которых было бы возможно современными геофизическими приборами. Приходится сталкиваться с решением сложной задачи на новом принципиальном уровне, где во главу угла ставится рентабельность, окупаемость, быстрая отдача вложенного капитала.

Чтобы повысить значение геофизических методов при проведении поисковых работ, необходимо более детально, чем это делалось до сих пор, изучить физико-геологическую обстановку рудной среды месторождений золота, вы-

явить возможности применения геофизических методов на определенные типы золотосодержащих руд и определить основные поисковые критерии. При этом, на этапе локального прогноза особое внимание следует уделить совместному анализу методов, основанные на изучении полей разной физической природы, включая и новые варианты геохимических исследований.

Имеющийся опыт работы показывает, что наиболее важный фактор, влияющий на размещение месторождений золота, это все-таки - структурный.

Однако среди многочисленных разрывных и пликтивных структур не всегда удастся выделить те, которые контролируют золотое оруденение или имеют к нему какое – либо отношение.

Магматический фактор также играет определенную роль в размещении оруденения, на что указывают ряд исследователей, считая золотое оруденение постмагматическим и указывают на парагенетическую его связь с гранитоидами орогенного этапа развития геосинклиналей и вулcano-тектоническими структурами.

Наибольшую практическую значимость имеют гидротермальные объекты, хотя существует большое разнообразие генетических месторождений золота.

Золоторудные пояса приурочены к обрамлению мегаблоков с уменьшенной мощностью гранитного слоя, а их размещение контролируется глубинными разломами. Границы мегаблоков отмечаются аномалиями типа ступени в гравитационном поле и резкой сменой интенсивности и характера магнитного поля.

При поисках многих типов месторождений на разных этапах изучения в комплексе методов включают аэромагнитную, аэрогамма-спектрометрическую и наземную гравиметрические съемки, а также электроразведку в воздушном (СДВР, ДИП, ВМП) и наземном (ВП, МПП, ЕП, электропрофилирование) вариантах.

Большую роль при поисках золотого оруденения на данной стадии работ играют геохимические методы по вторичным ореолам рассеяния элементов спутников золота. Высокая эффективность геохимических методов определяется повышенным содержанием As, Sb, Pb, Cu, Zn, Hg и др. в золотоносных сульфидных зонах.

На поисково-оценочной стадии работ геофизические методы применяют для выявления и прослеживания пород, даек, тектонических нарушений.

Установлено, что наиболее богатые рудные тела в виде рудных столбов приурочены к пересечениям широтных и субширотных зон с северо-восточными системами, где образуются узловые структуры. Так на Амантайтауском рудном поле золоторудные тела часто приурочиваются к северо-восточным зонам или к местам пересечений ими субширотных зон. Субширотные зоны разломов контролируют секущие, богатые золотом мощные кварцевые жилы, попутно сопровождают окварцованные участки с прожилками золота.

Анализ морфологических особенностей гравитационного поля с данными бурения показывает, что локальными максимумами небольших размеров отмечаются участки с установленной золоторудной минерализацией и увязываются

они с метасоматитами — лиственитами, обладающими повышенными плотностными свойствами.

Ранее проведенными работами установлена приуроченность месторождений и проявлений золота (Балпангау, Майское и Майское I), а также многочисленных рудных точек к отрицательным аномалиям естественного электрического поля (ЕП), где геологическая природа отрицательных аномалий ЕП связывается с дробленными гидротермально-измененными породами, несущими золоторудную минерализацию. Аномалиями ЕП отмечаются также дробленые породы в зонах тектонического меланжа и заслуживают особого внимания.

Анализ размещения золоторудной минерализации в локальной составляющей естественного электрического поля, показал, что почти 80% рудных точек пространственно тяготеет к отрицательным аномалиям ЕП [ Рис.11.1 ]



Рис.11.1 Результаты метода ЕП на золоторудных площадях (а),  
Магнитное поле над перспективным объектом (б)

Аномалии ВП (вызванной поляризации) вызваны зонами и участками сульфидной минерализации и/или графитизации. Так над Балпангауским субвулканом выявлена локальная положительная гравитационная аномалия, попутно отмечаемая и отрицательным магнитным полем. Полученные материалы поисковых и детальных геофизических работ на известных месторождениях и поисковых участках, позволяют уточнить представление о характере распределения золотого оруденения. Работы методом ВП (модификации ВП-СГ, и особенно ВП-ТЗ) позволили получить объемное представление о характере геоэлектрических разрезов по профилям. Параметры значений  $\eta_k$  и  $\rho_k$  дали возможность выделить локальные неоднородности вещественно-структурного комплекса верхней части разрезов (до 300-400м). По завершении выполненных работ перспективные рудопроявления рекомендовались для первоочередного бурения.

В систематизации геолого-промышленных типов эндогенных месторождений золота Мурунтау может быть отнесено к типу оруденения в линейных складках углистых вулканогенно-сланцевых пород и песчаниково-сланцевых пород. подтипу месторождений, представленных сочетанием жил, прожилков и зон штокверкового и прожилкового оруденения.

К настоящему времени Чаткало-Кураминский и Кызылкумский регионы достаточно полно исследованы региональными геофизическими методами (аэромагниторазведка, аэрогаммаспектрометрия, гравиразведка, профильная сейморазведка), а также электроразведочными и геохимическими работами на детальных участках, прежде всего, в пределах известных рудных полей.

В пределах исследуемых районов выполнена аэромагнитная съемка на разных уровнях (100, 1000 и 5000 м.), что дает возможность получить информацию о магнитовозмущающих объектах на разных глубинах, определить вертикальный градиент и другие параметры, необходимые для интерпретации данных о глубинном геологическом строении.

Интерпретация материалов повысотных съёмок (высоты 50-100, 500 и 5000 м) по Чаткало-Кураминскому региону показало, что известные месторождения золота Чадак, Кочбулак и Кызылалма располагается в области развития интенсивной положительной магнитной аномалии.

Комплексная интерпретация региональных геофизических работ с материалами наземных гравимагнитных работ позволили выделить дополнительные прогнозные площади в пределах Кызылалмасайского рудного поля. Выполненная повысотная аэромагнитная съёмка (50-100, 500 и 1000м) и последующая комплексная интерпретация геолого-геофизических данных и материалов дешифрирования космоснимков (Рис.11.2).

В рамках компьютерной технологии дали возможность выделить перспективные площади для постановки детальных наземных геолого-геофизических исследований.

В результате интерпретации установлено, что район Мурунтауского рудного поля по геомагнитным характеристикам представляет собой многослойную неоднородную среду - в разрезе имеют место немагнитные, слабوماгнитные и сильномагнитные образования - это породы бесапанской, тасказганской, ауминзинской свит. Судя по слабому затуханию магнитных аномалий на высотах 1000-2000 м, здесь имеет место магнитовозмущающее тело достаточно больших размеров и значительного распространения на глубину. Размеры магнитовозмущающего объ-

екта, его эффективная намагниченность, устойчивость аномального эффекта позволяет предположить наличие здесь магматического тела.

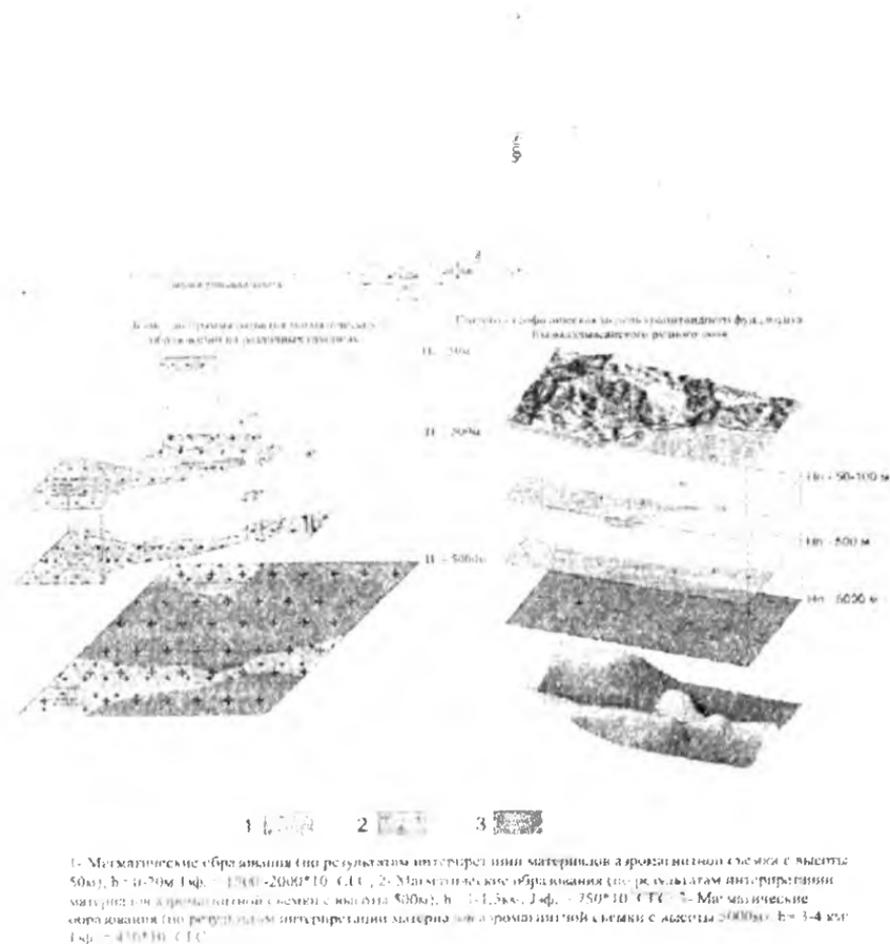


Рис. 11.2. Диаграмма разновысотных аэромагнитных измерений

В результате применения системы «Целевой прогноз» выделены перспективные площади в пределах, которых располагаются как известные рудные зоны, так и новые на их флангах.

Новая парадигма применения прогрессивных методов обнаружения месторождений золота должна сводиться к проведению вначале опережающих геофизических методов высокомобильного характера (высокоточная магниторазведка, отдельные варианты электроразведки, гамма-спектрометрия и т.д.), следом должны (на перспективных площадях) быть проведены детализационные методы (гравиразведка, геохимические методы, тяжелые варианты электроразведки, сейсморазведки и пр., а затем на перспективных участках могут быть продолжены работы традиционными методами с последующим проведением горно-буровых работ.

При аналогичных работах в других регионах мира с успехом прошли апробацию и показали неплохие результаты такие методы, как пьезоэлектрический и сейсмоакустический метод поисков, методы анизотропной магнитной геотомографии, высокоразрешающей сейсмотомографии, высокоточной магнитной градиентометрии др., которые не применялись на узбекистанских объектах, но могли быть выполнены хотя бы в качестве экспериментальных.

На стадии регионального геологического изучения мелкомасштабные (1:2 500 000 – 1: 1 000 000) геофизические (гравиметрия, магнитометрия, глубинные сейсмические зондирования) исследования проводятся с целью изучения глубинного строения земной коры крупных регионов, в т.ч. золотоносных провинций. В их пределах месторождения золота плутоногенного и вулканогенного типов размещаются на площадях с различным глубинным строением земной коры. Так, по сейсмическим и гравиметрическим данным в мезозойском северо-восточной золотоносной провинции месторождения плутоногенной группы располагаются в условиях хорошо развитой континентальной земной коры, которая имеет значительную мощность, глубокое залегание кристаллического фундамента и интенсивно проявленный синорогенный гранитоидный магматизм. Золоторудные месторождения вулканогенной группы приурочены к площадям с менее развитой континентальной земной корой. Большое распространение здесь получили вулcano-тектонические структуры. В связи с этим области развития различных генетических групп месторождений золота отличаются по уровню регионального и морфологии локального гравитационных полей, а также по интенсивности и частотному спектру аномалий магнитного поля.

Геофизические исследования масштаба 1: 200 000 выполняются с целью выявления в пределах золотоносных поясов рудных районов и изучения их структурной позиции. Для этого в настоящее время применяются в основном гравиметрическая и аэромагнитная съемки. В недалеком будущем на данной стадии работ видное место займет и сейсморазведка (ОГТ, КМПВ).

Практически всегда золоторудные районы в пределах поясов в геофизических полях выделяются участками интерференции низкочастотных линейных положительных гравитационных и магнитных аномалий

системой линейноориентированных, отрицательных гравитационных аномалий эллипсовидной, реже изометричной формы. Геологоструктурный анализ результатов количественной интерпретации геофизических аномалий методом моделирования геологических сред показывает, что такая геофизическая ситуация применительно к золоторудным районам с оруденением плутоногенного типа отвечает наличию скрытых на глубине протозвгесинклиналей, пересекаемых региональными разломами, контролирующими в земной коре размещение структурно-обособленных сообществ гранитоидных плутонов орогенного типа развития геосинклиналей. В случае золоторудных районов с оруденением вулканогенного типа подобная геофизическая ситуация отвечает скрытым на глубине палеорифтогенным структурам, пересекаемым региональными разломами контролирующими размещение вулканотектонических структур. Границей золоторудного района служит внешний контур, обрамляющий сообщество структурно-обособленных гранитоидов ( в случае оруденения плутоногенного типа) или вулканотектонических структур ( оруденения вулканогенного типа).

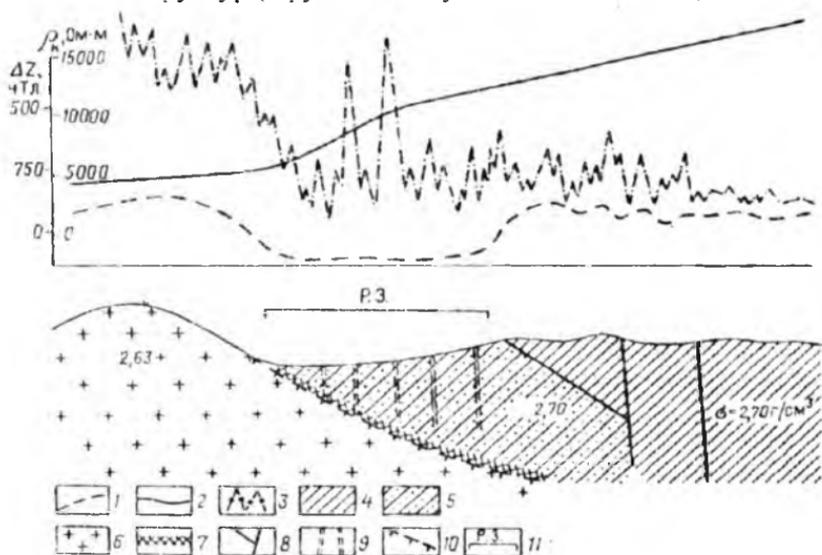


Рис. 11.3. Результаты картирования геофизическими методами рудной зоны на одном из золоторудных месторождений в терригенных толщах

Геофизические и геохимические работы в масштабе 1: 10 000 — 1: 5 000 (стадия поисковых работ) проводятся для обнаружения в преде-

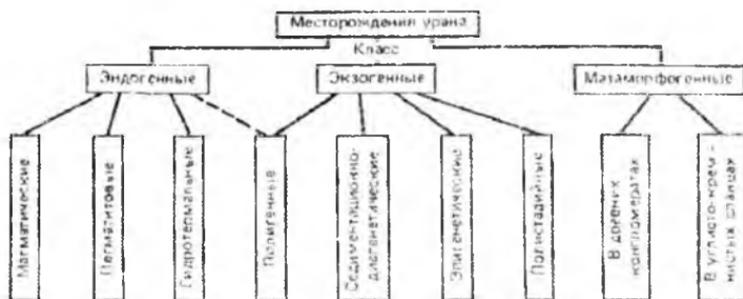
лах ранее выделенных перспективных участков золоторудных зон и непосредственно рудных тел путем решения следующих задач:

- 1) картирование магнитометрией и электропрофилированием в пределах рудоконтролирующих разломов и зон гидротермального изменения пород;
- 2) картирование магнитометрией комплекса малых интрузий и даек, внедрившихся на орогенном этапе развития территории;
- 3) поиски и прослеживание методами ВП и ЕЭП сульфидных прожилково-вкрапленных рудных тел.

Так, например, для кварцево-сульфидных прожилково-вкрапленных месторождений в углеродистых герригенных толщах, контролируемых рудовмещающими тектоническими нарушениями, характерно сочетание отрицательных аномалий ЕЭП, пониженных значений напряженности магнитного поля и резко переменного поля кажущихся сопротивлений. При этом аномалии ЕЭП иногда достигают 500 мВ и соответствуют зонам графитизации углеродсодержащих пород.

## Лекция 12 МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Большинство авторов (А.Г.Бетехтин, В.И.Данчев, В.Н.Когляр, В.И.Смирнов, В.Мак-Кельви, Д.Эверхарт и др.) выделяют три класса месторождений урана: эндогенные, экзогенные, метаморфогенные.



**Уран.** Комплекс геофизических методов определяется геологическими задачами, особенностями геологического строения района, формационным типом ожидаемого уранового оруднения и природными условиями поисков. Основой всех комплексов являются радиометрические методы, которые служат как для прямых поисков и разведки месторождений ура-

на, так и для выявления структурно-металлогенических зон, отдельных горизонтов и массивов с нарушенным первично-конституционным распределением урана.

Основной принцип геологоразведочных работ на уран заключается в последовательной локализации перспективных площадей на основе поэтапного увеличения детальности геолого-геофизических исследований.

Так, при выделении площадей рудных узлов на основе специализированного геологического картирования масштаба 1: 200 000 применяется комплекс геофизических методов, включающий гравиразведку, сейсморазведку, аэрогамма-спектрометрическую и магнитную съемки, гидролитогеохимическую съемку и наземную гамма-спектрометрию.

Приуроченность большинства эндогенных месторождений урана к структурам глубинных разломов позволяет эффективно использовать гравимагниторазведку для выделения и оценки тектономагматических структур.

Намеченные перспективные участки на последующем этапе более детально изучают в масштабе 1: 50 000 гравимагниторазведкой, электропрофилированием, ВЭЗ с целью уточнения ФГМ рудного поля и выделения элементов, контролирующих потенциальные месторождения урана.

С внедрением в производство трехметодной комплексной аэрогеофизической станции СКАТ-77 появилась возможность расширить применение аэрометода для структурного картирования и поисков месторождений урана, особенно в районах со слабым проявлением на земной поверхности рудного процесса.

Поиски месторождений урана с предварительной оценкой радиоактивных аномалий зависит от условий проведения работ и положения представительного горизонта поисков. На этом этапе ведущую роль занимают специализированные радиометрические методы: пешеходная или шпуровая гамма-съемка, эманационный или эманационно-трековый метод, гамма-спектрометрический метод (пешеходный, автомобильный или скважинный), ГК в процессе бурения или после него. При поисках месторождений урана гидротермального типа (руденение на поверхность не выходит) применяют геохимические методы с определением концентраций природных газов (H, C) в керне или шламе поисковых скважин и ряда элементов (Mo, Sc, V), сопутствующих урановому рудообразованию.

Большую роль при изучении геолого-структурного строения площадей отводят высокоточной гравии-, магниторазведке, электроразведке (СГ, ПЭЭП, БИКС), а также высокочастотной сейсморазведке.

### Поисково-оценочные работы проводят в три этапа:

- 1) первый – предварительная оценка аномалий,
- 2) второй – площадное изучение участка перспективного проявления путем оконтуривания и детализации бурением погребенных остаточных и первичных ореолов,
- 3) третий – изучение перспективного рудопроявления на глубину с целью выделения объектов, заслуживающих предварительной разведки.

Для установления на оцениваемом участке структурных и литолого-фациальных признаков рудоконтроля, особенно на площадях, перекрытых рыхлыми отложениями, в комплексе с бурением применяют высокоточные магнито-, гравиразведку, с помощью электроразведки (СГ, ДЭП, БИЭП и др.) трассируют структуры контролирующие оруденение, тектонические зоны различных порядков, складки и пр. Перспективно также применение сейсморазведки для оценки положения структур на глубине. .

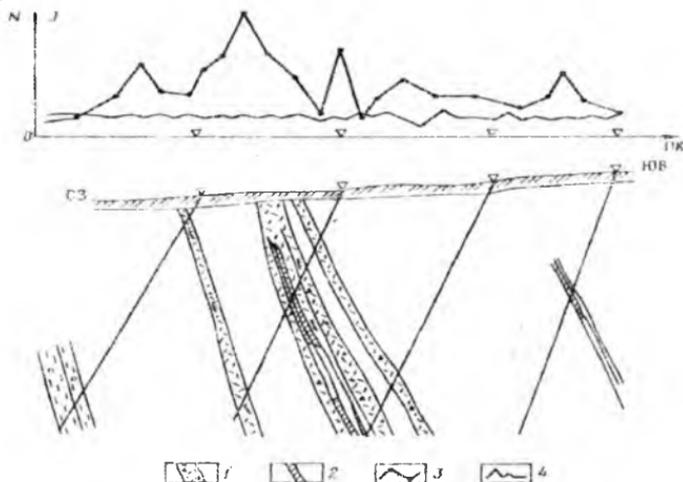


Рис. 12.1. Результаты работ эманационно-трековым методом по выявлению слепого уранового оруденения

1 – зоны дробления и брекчирования; 2 – урановое оруденение; 3 – данные эманационно-трекового метода; 4 – данные шпуровой гамма-съемки

При разведке месторождений используют ГК скважин и гамма-пробование керна в горных выработках. Радиометрические характери-

стики руд исследуют рентгено-спектральным методом для определения U и Th на лабораторных анализаторах АРФ-4 и АРФ-6.

При разведке гидрогенных месторождений U способом подземного выщелачивания применяют каротаж нейтронный и нейтронов деления, электро- и индукционный каротаж, иногда магнитный и ГГК.

В Центральной Азии был открыт целый ряд месторождений радиоактивных элементов - первым было ферганского месторождения Тюямуян (Х.И.Антукович, летом 1904 г). Затем были открыты Табосар (1926г), Майлисуйское (1934г.). В Западном Узбекистане: Учкудукское месторождение урана, Букинай, Сугралы, Бахалы, Букинай, Южный Букинай, Кетменчи, Кендыктыбе, Мейлисай, Лявлякан, Амантай, Истиклол (Тоxумбет)...гидрогенного типа. В Чаткало-Кураминском регионе: Чаули (Красногорск, 1952 г), Майликатан, Ризак, Ингичке...Черкасар.

### Лекция 13

#### МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНОХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

**Апатиты.** Промышленные месторождения апатита относят к трем генетическим типам: позднемагматическому, карбонатитовому и метаморфогенному.

Апатит-нефелиновые руды, связанные с интрузиями щелочных и основных пород, характеризуются положительной эффективной плотностью ( $\sigma_{\text{эфф.}} = 0.4 \text{ г/см}^3$ ), а комплексы апатито-магнетитовых руд – повышенной магнитной восприимчивостью ( $\chi$ ).

Естественная радиоактивность руд повышена на фоне метаморфических пород. Апатитовые руды создают ореолы фтора (F).

При прогнозе и поисках месторождений комплекс включает магнито-, гравиразведку, фторометрию, радиометрию и сейсморазведку.

Детальные поиски масштаба 1: 5 000 проводят высокоточными грави- и магниторазведкой, в результате которых залежи отмечаются положительными аномалиями  $\Delta g$  ( $0/2 - 0/6 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ ) и  $\Delta Z$ ,  $\Delta T$  (до 400 нГл).

На разведочных стадиях геофизические исследования проводят в скважинах и горных выработках в основном с целью опробования, а также при добыче руды и переработке (в навале, транспортных емкостях, на ленте конвейера).

Скважинный комплекс позволяет:

- 1) выделить рудные залежи;

- 2) определить содержание и разделить сфен-апатитовые и апатит-нефелиновые руды;
- 3) оценить степень окисленности руд.

По данным НАК апатиты выделяются четкими максимумами гамма-излучения радионуклида  $N^{16}$ , а рудные с высоким содержанием фосфора — пониженными значениями потока тепловых нейтронов на диаграммах НК-Т. На диаграммах ГК и ГК-С сфено-апатитовым и апатито-нефелиновым рудам соответствуют минимумы гамма-излучения и уменьшение интенсивности гамма-излучения от радионуклида  $N^{16}$  и возрастание её от  $Al^{28}$  на диаграммах НАК.

Содержание  $P_2O_5$  в рудах и в процессе добычи и переработки определяют по данным нейтронно-активационного метода на фтор, т.к. имеется четкая корреляционная связь между содержанием фтора и фосфора в апатитовых рудах.

**Фосфориты.** Фосфоритовые руды имеют повышенную радиоактивность, обусловленную присутствием, главным образом, урана, иногда тория; с залежами фосфоритовых руд связаны устойчивые ореолы рассеяния.

Поисковые работы ведутся комплексом методов, включающим гамма-спектрометрию в наземном и воздушном вариантах, нейтронно-активационную фторметрическую и литогеохимическую съемки, так как установлены надежные корреляционные связи между отношением  $U/Th$  и  $P_2O_5$ , а также фосфором и фтором.

На разведочных стадиях изучения залежей фосфоритов применяются, в основном, ядерно-геофизические методы (ГК-С, НАК по  $N^{16}$ , ГК-П, НК-Н) для опробования рудных интервалов в скважинах и дифференциации геологического разреза по плотности и пористости, а также для определения содержания  $P_2O_5$  в отбитой руде и продуктах обогащения (концентрат, слив, хвосты). Содержания  $P_2O_5$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  в фосфатном сырье устанавливают на основе корреляционных связей их с содержанием урана, калия, фтора, кремния и алюминия, которые могут быть получены по данным радиометрии и ядерно-геофизических методов.

**Сера.** Преимущественно распределены вулканогенные месторождения серы (Камчатка, Курильские острова) и экзогенные месторождения, связанные с горизонтами гипсов и ангидритов.

При поисках вулканогенных месторождений объектами картирования являются участки развития гидрогермального изменения пород среди эффузивов, к которым приурочены залежи богатых руд. Для выделения

вторичных серных кварцитов используются данные воздушной магнитной и АГСМ-съемки масштаба 1:25 000 и наземной магнитной съемки масштаба 1: 10 000.

Гидротермально измененным породам соответствуют аномальное понижение магнитного поля и повышенные значения калиевой составляющей гамма-поля.

Для поисков экзогенных месторождений применяют ВЭЗ и гравиразведку, выделяющие плотные горизонты высокого сопротивления, гипсо-ангидритовые горизонты, а на больших глубинах ( первые сотни метров) – сейсморазведку методом МОВ.

На разведочных стадиях геофизические методы применяют, для литологического расчленения разреза скважин ( КС, ПС, БК, ГК, ГГК-П), определения глубины залегания и мощности сероносного горизонта, а также для оценки распределения в нем серы ( ГГК-П, НГК-С) и исследования технического состояния скважины ( кавернометрия, инклинометрия, термометрия).

**Соли, гипсы, ангидриты, бораты осадочного происхождения.** На стадиях прогнозно-поисковых работ используют геофизический комплекс, аналогичный комплексу, применяемому при изучении нефтегазовых районов.

Основными решаемыми задачами являются: определение границ соленосных бассейнов, изучение их глубинного строения, выделение солянокупольных структур и определение пространственного положения соленосных толщ.

В комплексе геофизических методов используют мелко- и среднемасштабные высокоточные аэромагнитную и гравиметрическую съемки, различные модификации электроразведки, сейсморазведку – КМПВ по отдельным пересечениям. Ископаемые соли отличаются от вмещающей среды более низкой плотностью ( $\sigma = 2.1 \text{ г/см}^3$  на фоне  $2.3 - 2.5 \text{ г/см}^3$ ) и магнитными свойствами, высоким УЭС и скоростью распространения упругих волн. В калийных солях за счет радиоактивного изотопа  $\text{K}^{40}$  повышается интенсивность гамма-излучения.

Насыщенные рассолами гипсо-глинистые отложения выделяются как горизонты низкого сопротивления.

На поисково-оценочной и разведочной стадиях проводят скважинные исследования, включающие ГК, КС, ПС, БК, МЭК и термометрию. В стенках подземных горных выработок и скважинах содержания калия определяют по данным радиометрии.

При поисках бороносных отложений применяют различные модификации электропрофилирования, ВЭЗ. Скважинные исследования при разведке месторождений бора включают (кроме ГК, ПС, КС и кавернометрии) еще и нейтронный каротаж (ИНК-Т, ИНК-П, НГК) позволяющий выделить бороносные горизонты и определить содержание бора. Прямым методом поисков боратов является нейтронно-борометрическая съемка.

## Лекция 14

### МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Месторождения минералов этой группы относятся к типу гидротермальных, представленных жильными рудами, для которых характерен четко выраженный структурно-тектонический контроль и приуроченность к зонам разломов, а также к типу контактово-метасоматических пластовых межформационных, для которых наряду с разрывной тектоникой большое значение имеют факторы структурно-литологического контроля.

Барит, флюорит, кварц часто встречаются в ассоциации друг с другом. Нередко они являются попутными компонентами полиметаллических, сурьмяно-ртутных и ряда других руд и извлекаются при их переработке.

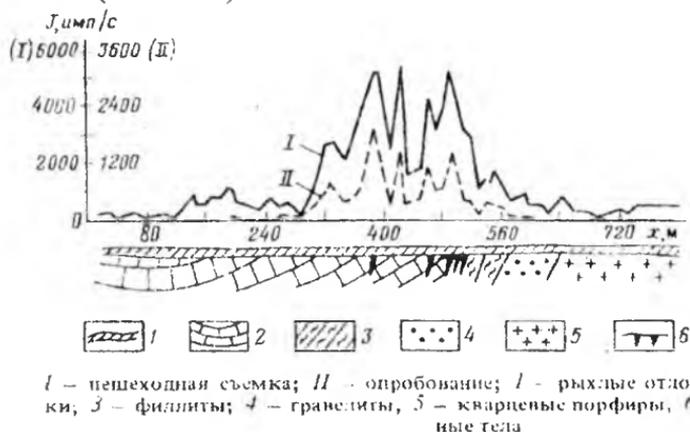
Минеральные образования барита, флюорита, кварца магнитны, высокоомны, обладают повышенной плотностью до  $\sigma = 4.3 - 4.7 \text{ г/см}^3$ .

Флюорит ( $\sigma = 2.8 - 3.2 \text{ г/см}^3$ ), кварц ( $\sigma = 2.4 - 2.9 \text{ г/см}^3$ ). Барит ( $\sigma = 4.3 - 4.7 \text{ г/см}^3$ ). А также высокой пьезоэлектрической активностью: мелкокристаллический –  $(0.4 - 45) \cdot 10^{-14}$  ед.СИ, крупнокристаллический –  $(9.5 - 105) \cdot 10^{-14}$  ед.СИ. Пьезоактивность флюорита - нулевая.

Кварц и кварцевые образования отличаются также повышенной скоростью распространения упругих колебаний (до  $V = 6000 \text{ м/с}$ ) и пониженным коэффициентом их поглощения, что создает определенные предпосылки для использования при поисках и разведке мощных зон окварцевания и рудно-кварцевых месторождений методов сейсморазведки и акустического просвечивания.

Баритовые руды и жильный кварц нерадиоактивны. На ряде месторождений для продуктивных баритизированных горизонтов и кварцевых жил установлен эффект десятикратного понижения уровня интенсивности естественной радиоактивности против вмещающих их пород.

Для флюоритовых руд, связанных с кислыми эффузивами и гранитоидами характерна устойчивая повышенная естественная радиоактивность. (Рис. 14.1).



*I* – пешеходная съемка; *II* – опробование; 1 – рыхлые отложения, 2 – известняки, 3 – филзиты; 4 – гравелиты, 5 – кварцевые порфиры, 6 – флюоритовые рудные тела

Рис. 14.1

Результаты нейтронно-активационной съемки на фтор на флюоритовом месторождении (по Б.С. Камышину и др.).

Барит-витеритовые руды, кварцевые жилы по сравнению с вмещающими породами обладают повышенной способностью поглощения гамма-квантов и могут быть выделены по эффективному атомному номеру  $Z_{эф.}$  гамма-гамма-методом (ГГК<sub>с</sub>, ГГК<sub>ор</sub>).

Минералы фтора при активации быстрыми нейтронами образуют гамма-излучающий изотоп с периодом полураспада ( $T_{1/2} = 7.5с$ ) и энергией гамма-квантов ( $E_{\gamma} = 6 - 7$  МэВ), что дает возможность использовать метод нейтронной активации для определения концентрации фтора с порогом чувствительности в 0.05%. В природной обстановке в силу широкого развития гидротермально-метасоматических изменений околорудных пород, сульфидизации жил, магнетитовой и пирротиновой минерализации, разрушенности, трещиноватости и обводненности дифференциация минеральных скоплений и вмещающих пород по физическим свойствам часто осложнена и неоднозначна.

Барит-полнметаллическим и рудно-кварцевым месторождениям сопутствуют ореолы рассеяния элементов-индикаторов. Известны случаи развития баритовых ореолов. Для оруденения с плавикошпатовой минерализацией характерно развитие устойчивых ореолов фтора.

Месторождения минералов этой группы относятся к типу гидротермальных, представленных жильными рудами, для которых характерен четко выраженный структурно-тектонический контроль и приуроченность к зонам разломов, а также к типу контактово-метасоматических пластовых межформационных, для которых наряду с разрывной тектоникой большое значение имеют факторы структурно-литологического контроля.

Барит, флюорит, кварц часто встречаются в ассоциации друг с другом. Нередко они являются попутными компонентами полиметаллических, сурьмяно-ртутных и ряда других руд и извлекаются при их переработке.

Общие поиски указанных минеральных типов проводятся на основе опережающих литохимических и геофизических съемок масштаба 1: 50 000 – 1: 25 000 и на локальных площадях в пределах развития литохимических ореолов и сопровождаются геофизическими работами масштаба 1: 10 000.

Для литолого-структурного картирования, прослеживания зон тектонических нарушений, локализации оруденения в комплексе используются электроразведка (СЭП, КЭП, ДЭП, ВЭЗ, ВП, ЕП), магниторазведка, нейтронно-активационная съемка на фтор.

При детальном поиске и поисково-оценочных работах геофизические исследования выполняют в масштабах 1: 10 000 – 1: 1 000 с целью выявления и изучения рудоконтролирующих элементов геологического строения, зон околорудного изменения пород. Выбор комплекса осуществляется исходя из особенностей геолого-структурной обстановки и структурно-морфологического типа оруденения. При поиске месторождений межформационного типа в карбонатных толщах, перекрытых терригенными отложениями для изучения структурно-тектонических особенностей перспективной площади рекомендуется высокоточная гравиразведка, ВЭЗ или сейсморазведка по профилям опорного бурения, ВП-СГ и ВЭЗ-ВП, литохимическая или нейтронно-активационная съемка на фтор; в скважинах выполняется нейтронно-активационный каротаж (НАК).

Метод ВП применяется для выделения локальных флюоритоносных структур, если они сопровождаются плащеобразными надрудными зонами сульфидной минерализации. Поляризуемость пиритизированных песчано-сланцевых пород достигает 15% и более (при фоне 2 – 4%). ВП-СГ ставят на площадях вздымания кровли карбонатных пород, установленных по данным гравиразведки и ВЭЗ (или сейсморазведки). Анома-

лии  $\eta_k$  изучают профильными ВЭЗ-ВП для определения глубин залегания известняков и зон пиритизации. При поисках и локализации залежей барита наиболее информативен комплекс гравиразведки, магниторазведки, электропрофилирования (СЭП, ДЭП, СГ) и ВЭЗ. Пластообразные залежи барита Кужинского месторождения, приуроченные к толще кварцевых песчаников, выявлены гравиразведкой; песчаники среди сланцев картируются по данным СЭП. Продуктивный пласт Пальнинского месторождения барита прослежен по максимум  $\Delta g$ . Участки развития глинисто-кремнистых сланцев, в основании которых залегает баритоносный горизонт, установлены по данным СГ, а глубина залегания в коренных породах определена по данным ВЭЗ.

**Алмазы.** Месторождения связаны с трубками взрыва, сложенными кимберлитами. Проявление кимберлитового магматизма связано с участками сопряжения крупных платформенных структур (антеклиз, синеклиз, прогибов) с зонами глубинных разломов, а сами трубки контролируются тектоническими нарушениями в узлах их пересечений.

В плане кимберлитовые трубки имеют овальную форму, поперечные размеры их изменяются от первых десятков метров до 800 м.

Магнитная восприимчивость кимберлитов варьирует в широких пределах ( $\chi = 400 - 2500 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ). Вмещающие и перекрывающие осадочные образования немагнитны или слабомагнитны, а породы покровной трапповой формации по  $\chi$  крайне неоднородны. Кроме того, величина остаточной намагниченности нередко превышает индуктированную ( $Q$  варьирует в среднем от 3 до 5), что затрудняет локализацию объектов магниторазведкой. Плотность кимберлитов ниже плотности вмещающих пород карбонатного состава на  $0.1 - 0.2 \text{ г/см}^3$  и близка к плотности перекрывающих осадочных.

Траппы имеют высокие значения плотности ( $2.9 - 3.0 \text{ г/см}^3$ ). Электрическое сопротивление монолитных кимберлитов резко отличается от сопротивления выветривших и трещиноватых ( $10000$  до  $1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ), причем  $\rho_k$  траппов вмещающих карбонатных пород изменяется в диапазоне  $5000 - 10000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Существенно искажают результаты электроразведки вечномерзлые породы, развитые в Якутии, где находятся основные месторождения алмазов.

Для кимберлитов характерно повышенное значения  $Th / K$  по сравнению  $Th / K$  перекрывающих и вмещающих отложений, но диапазон изменения этого параметра для разных трубок велик.

Над трубками кимберлитов отмечаются геохимические аномалии. Кимберлитовые тела, вскрытые эрозионным срезом, создают вторичные ореолы рассеяния Cr, Ni, Mg, Ti. В трапповых формациях алмазоносной провинции в ореолах выделяют V, Cu, Co...

Размеры вторичных ореолов в 3-5 раз превышают размеры кимберлитовых тел. Шлиховой съемкой в районе трубок фиксируются парагенетические спутники алмазов (пироп, пикроильменит, хром-диопсид, оливин и др.) На участках развития кимберлитового магматизма и покровов траппов отмечаются геохимические аномалии He, H<sub>2</sub> метана, а также парортутные аномалии.

При выделении площадей, благоприятных для проявления кимберлитового магматизма, проводят среднемасштабные аэромагнитные и гравиметрические съемки в сочетании с сейсморазведкой по отдельным профилям.

Поисковые геофизические работы наряду с аэромагнитной съемкой включают гравиразведку, электроразведку (ЭП и ВЭЗ); при этом аномалии «трубчатого» типа успешно выделяются с помощью квантовых магнитометров в масштабе 1:10 000, а также в комплексе с МПП. Разбраковка ложных аномалий такого типа, особенно на площадях развития траппов, возможна на основе геофизического комплекса (выделение узлов пересечения тектонических зон) и бурения.

В открытых районах поиски проводят с помощью комплекса магниторазведки, гамма-спектрометрии и электропрофилирования. На стадии разведки используют скважинный вариант МПП, ЕП, РВП, каротаж (КМВ, КС, ПС, МЭП, ВП, также ГК, ГГК, акустический каротаж, РРК), выбор которых зависит от целевых геологических задач.



Рис. 14.2. План изодинам  $\Delta T$  магнитного поля над трубкой взрыва (участок Ерембет).

В Западном Узбекистане обнаружен ряд трубок взрыва потенциально алмазоносных (Тасказган, Кара-Шохо, Водораздельный, Кызылалма, Ерембет (Рис.14.2) и др.

**Асбест и тальк.** Эти месторождения связаны с глубокометаморфизованными массивами гипербазитов, отличающимися повышенными значениями магнитного поля. Серпентинизированные породы и зоны нарушений, с которыми связаны асбест и тальк. при поисках картируются с помощью электропрофилирования, ВЭЗ и магниторазведки.

Асбестоносность и наличие талькового камня (смеси талька и карбоната) определяют только по данным геологической документации канав и шурфов.

**Месторождения пьезо- и оптического кварца** относятся к типам хрусталеносных пегматитов и гидротермальных хрусталеносных пегматитов и гидротермальных хрусталеносных жил и трещин. Минерализованные тела приурочены к эндо- и экзоконтактам гранитоидов, зальбандам жильных тел среднего и основного состава, породам, богатым кремнеземом.

**Хрусталеносные пегматиты, жилы и трещины** группируются в зоны или жильные поля, положение которых контролируются разрывными нарушениями различного порядка.

Участки, благоприятные для размещения хрусталеносных зон, при поисках выделяют магниторазведкой и СЭИ, а положение интрузивов, глубинных разломов определяют гравиразведкой.

Хрусталеносные зоны, характеризующиеся пониженными значениями плотности, намагниченности и сопротивления, выделяются и прослеживают магнито- и электроразведкой. а оценивают выделенные зоны пьезоэлектрическим методом, не только с поверхности, но и в скважинах и подземных горных выработках.

**Исландский шпат.** Месторождения приурочены к трапповым формациям платформ и локализируются в зонах дробления и интенсивной трещиноватости в лавовых покровах, туфах и субвулканических телах долеритов. Контролирующие размещения кальцитоносных полей вулканотектонические структуры (мульды, кальдеры, купола) успешно картируют гравиразведкой, аэромагнитной и АГСМ-съемками в масштабе 1:50 000 – 1:25 000, сочетая их с ВЭЗ.

Локальные вулканические структуры и зоны нарушений выделяют магнито- и электроразведкой: в магнитном поле они выделяются дуго-

образными или кольцевыми аномалиями, а зоны трещиноватости и гидротермального изменения туфов и лав минимумами магнитного поля  $\Delta T$  и  $\rho_k$ .

На поисково-оценочной и разведочной стадиях применяют эти же методы, а также комплекс ГИС.

**Графит.** Залежи графита обладают низким УЭС и высокой поляризуемостью, поэтому основу поисково-разведочного геофизического комплекса составляют методы электроразведки (ЕП, СЭП, КЭП, ДЭП, ДИП), а также МЗТ. В естественном поле графитовые штоки выделяются аномалиями до 700 – 100 мВ и зонами низких сопротивлений  $\rho_k$ .

**Флюорит.** Большинство залежей флюорита содержит примеси урановых минералов, что обуславливает их повышенную радиоактивность. По плотности флюоритовые жилы не отличимы от вмещающих пород, практически не магнитны, имеют высокое сопротивление.

При поисковых работах ведущими методами являются электроразведка и гамма-съемка в комплексе с активационным фторметрическим методом (в пешеходном и автомобильном вариантах) по изотопу  $N^{16}$ , образующемуся при активации фтора быстрыми нейтронами. Этот метод применяется в скважинном варианте совместно с НГМ.

## Строительные материалы

**Строительные материалы.** Для определения местоположения и условий залегания песчаных линз, глинистых горизонтов известняков, блоков монолитных пород, зон трещиноватости, закарстованных участков и установления мощности вскрышных пород применяют наиболее дешевые и оперативные методы электроразведки (СЭП, КЭП, ВЭЗ), сейсморазведку с портативными станциями, иногда гравиразведку.

На конкретных месторождениях геофизические методы применяют для решения частных задач (например, выделение среди доломитовых песчаников тел гранитов и гнейсов, вскрытых скважинами), а в межскважинном пространстве применяют ГК и методы подземной геофизики (метод РВИ).

## Лекция 15

### Гидрогеология, инженерная геология

Характерной особенностью геофизических исследований при решении гидрогеологических, инженерно-геологических задач является проведение как разовых, так и режимных во времени геофизических измерений. Необходимость режимных измерений обусловлена тем, что

объект исследования (подземные воды, массив горных пород) непрерывно изменяет свое состояние с течением времени. В частности, изменяется напор подземных вод в паводковый и сухой периоды, меняется напряженное состояние пород под воздействием радиальных и тангенциальных сил, обусловленных переменной угловой скоростью вращения Земли, развиваются зоны обрушения по мере эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых и т.д. При этом происходит изменение физико-механических и водно-физических свойств пород, что находит отражение во временных вариациях ядерно-геофизических, электрических, тепловых, сейсмических и других полей. Временной интервал изменений выбирают в зависимости от скорости протекания изучаемого процесса. В результате интерпретации режимных наблюдений выявляют закономерные связи между временными изменениями того или иного физического поля и состоянием механических, физических, гидрогеологических и других параметров исследуемой среды. По этим данным прогнозируют динамику гидрогеологических, инженерно-геологических и горнотехнических процессов.

### Поиски и разведка подземных вод

Гидрогеофизические свойства пород обуславливают функциональную или статистическую связь между геофизическими полями и гидрогеологическими параметрами.

Водопроницаемость пород определяется коэффициентом фильтрации  $k_f$  (или коэффициентом водопроницаемости), характеризующим скорость движения подземных вод при гидравлическом градиенте, равном единице. Коэффициент фильтрации корреляционно связан с  $V_{\text{ж}}(\rho)$ , так как оба параметра зависят от удельной поверхности и формы поровых каналов. Для песчано-глинистых пород эта зависимость выражается формулой  $\lg k_f = A \lg \rho + B$ , где  $A, B$  — эмпирические коэффициенты регрессии, определяемые для каждого типа пород в конкретных условиях.

Аналогичные корреляционные зависимости устанавливаются между  $k_f$  и электрической поляризуемостью ( $\tau$ ), а также между ( $k_f$ ) и скоростями сейсмических волн. Для полностью водонасыщенных пород установлена эмпирическая зависимость между коэффициентом пористости и трещиноватости ( $k_n$ ) и удельным электрическим сопротивлением:

$$k_n = \sqrt[3]{A \rho_v / \rho_{\Pi}},$$

где  $A$  — эмпирический коэффициент, зависящий от типа пород и изменяющийся от 0.4 до 2.6;  $m$  — структурный показатель смачиваемости.

изменяющийся от 1,3 до 3,2 при переходе от рыхлых к цементированным породам;  $\rho_n$  и  $\rho_v$  - удельное электрическое сопротивление полностью водонасыщенной породы и насыщающей её воды.

Коэффициент пористости для водонасыщенных пород линейно и прямо пропорционально связан с диэлектрической проницаемостью минерального скелета породы и воды.

Скорость сейсмических волн (продольных и поперечных) закономерно возрастает с уменьшением коэффициента пористости. Время жизни тепловых нейтронов в пористой породе, заполненной минерализованной водой, является функцией произведения минерализации пластовой воды на коэффициент пористости. Таким образом, по специфическим особенностям геофизических полей можно не только обнаружить месторождения подземных вод, но и определить их водно-физические характеристики. Поиски, разведка и использование подземных вод – важная народнохозяйственная задача, что связано с гигантским общим объемом эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод на территории страны, составляющих около 10 100 м<sup>3</sup>/с.

Вместе с этим фонд легко открываемых и разведываемых месторождений этого полезного ископаемого быстро сокращается, что требует широкого привлечения геофизических методов, совершенствования их методики и техники исследований. Геофизические методы используются на всех стадиях гидрогеологических работ, основными из которых являются гидрогеологическая съемка, общие и детальные поиски, предварительная, детальная и эксплуатационная разведка источников водоснабжения.

На стадии мелкомасштабного картирования геофизические методы применяются для решения следующих задач:

- 1) геологического расчленения разреза;
- 2) установления важнейших гидродинамических, гидрохимических и геотермических закономерностей подземных вод в регионах;
- 3) определения основных особенностей формирования подземных вод;
- 4) изучения зон активного, замедленного и весьма замедленного водообмена;
- 5) прогнозной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод различного генезиса.

При этом используют результаты ранее проведенных геофизических исследований до глубин в несколько км и выполняют гидрогеологиче-

ские построения в масштабах 1: 500 000 - 2 500 000 в зависимости от полноты исходной информации.

Среднемасштабное гидрогеологическое картирование масштаба 1: 200 000 выполняют для регионального изучения подземных вод страны. Геофизическими методами решаются следующие задачи:

- 1) гидрогеологическая стратификация разреза (определение уровня грунтовых вод, определение в осадочной толще водоносных и водоупорных горизонтов, картирование по площади и на глубину трещиноватых и закарстованных пород, выявление зон гидрогеологически активных разломов);
- 2) изучение закономерностей изменения гидрохимических условий (определение степени минерализации подземных вод, мощности зоны пресных вод);
- 3) исследование гидротермических закономерностей (картирование структур с термальными водами, определение теплофизических свойств и пород и температуры подземных вод);
- 4) изучение геокриологических условий для формирования месторождений подземных вод (определение мощности многолетнемерзлых пород, картирование таликовых зон);
- 5) изучение динамики подземного потока (картирование областей питания и разгрузки подземных вод, выявление гидравлической связи между водоносными горизонтами, определение направления и скорости фильтрации подземных вод, оценка фильтрационных свойств водоносных и водоупорных пород).

При решении этих задач применяют комплекс геофизических методов. Основным методом комплекса является электроразведка в модификациях ВЭЗ, ЭП и ВП. В зависимости от конкретных условий эти методы дополняют сейсморазведкой, магниторазведкой, гравиразведкой и герморазведкой.

Поиски и разведка месторождений пресных вод осуществляется в два этапа. На первом выполняются общие (совместно со среднемасштабным картированием) и детальные поиски с целью выделения перспективных участков для проведения работ второго этапа — предварительной и детальной разведки.

При детальных поисках (масштабы 1: 100 000 – 1: 50 000) месторождений пресных вод в терригенных породах ( в древних речных долинах, конусах выноса, ледниковых отложениях, напорных артезианских бас-

сейсах) применяют различные модификации электроразведки, дополняя их в сложных условиях гравиразведкой и сейсморазведкой.

Поиски линз пресных вод в засушливых районах проводят методами ВЭЗ, частотным электромагнитным зондированием и методом радиокип.

Детальные поиски месторождений пресных вод в трещинных породах (трещинно-карстовых карбонатных породах, трещинных магматических и метаморфических породах, трещиннопластовых напорных вод артезианских бассейнов), выполняют, используя методы электроразведки в сочетании магниторазведкой, гравиразведкой и сейсморазведкой.

На стадиях разведки месторождений пресных вод применяют те же комплексы геофизических методов, но в более крупных масштабах, дополняя их геофизическим исследованием скважин.

**Поиски и разведка месторождений термоминеральных вод** осуществляется теми же геофизическими комплексами, которые используют при поисково-разведочных работах на пресные воды, дополняя их эманиционной съемкой, терморазведкой и инфракрасной аэросъемкой. Последнее обусловлено особыми свойствами термоминеральных вод, выражающимися в повышенной температуре и радиоактивности.

**Изучение динамики подземных вод** проводят с целью определения направления и скорости движения подземных вод и оценки фильтрационных свойств водоносных пород. Для этого часто применяют МГЗ, резистивиметрию, режимные измерения концентрации радона, метод радиоактивных изотопов. Метод заряда применим до глубин около 100 м.

Если известна динамическая пористость  $\kappa_{\text{д}}$ , то рассчитывают скорость фильтрации как  $v = \kappa_{\text{д}} u$ ,

где  $u$  - скорость движения подземных вод по данным метода заряда. Далее, используя данные о наличии гидравлического уклона ( $i$ ), вычисляют коэффициент фильтрации  $k_{\text{ф}} = v/i$ .

При резистивиметрии скважин измеряют УЭС воды по стволу скважины через фиксированные интервалы времени

По данным ГК можно установить и направление потока подземных вод. Для этого необходимо проводить измерения гамма-активности в различных азимутах коллимированным детектором..

Изменение уровня вод в безнапорных горизонтах и напора вод в напорных горизонтах, например, в период паводков, приводит к появлению переменных деформаций вмещающих их пород.

Следовательно, выполняя режимные измерения концентраций подпочвенного радона можно делать заключение о водообильности водоносных горизонтов.

Гидрогеологические исследования, направленные на обоснование мелиорации земель, проводятся с целью выбора оптимальных условий водного режима мелиорируемых территорий и определения исходных данных для строительства оросительных и дренажных систем.

При этом геофизическими методами решают следующие задачи:

- 1) литологического расчленения верхней (до 10 м) толщи пород;
- 2) оценки засоленности пород зоны аэрации и степени минерализации грунтовых вод;
- 3) определения физико-механических и воднофизических свойств горных пород (плотности, пористости, влажности, коэффициента фильтрации);
- 4) установления глубины, мощности и фильтрационных свойств водоносных и слабопроницаемых пород;
- 5) изучения разреза торфяников с оценкой фильтрационных свойств торфов и подстилающих пород;
- 6) оконтуривания островной мерзлоты, определение её мощности и льдистости.

Основным методом комплекса, используемым при гидромелиоративных съемках, является электроразведка в модификациях на постоянном токе. Дополнительно применяют сейсморазведку и геофизические исследования скважин электрическими и ядерно-физическими методами.

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ**

Гидрогеологические и инженерно-геологические съемки выполняют обычно совместно и основываются при этом на результатах переинтерпретации всего геологического и геофизического материала, имеющегося по району исследований.

При мелко-, средне-, и крупномасштабных инженерно-геологических съемках геофизические методы применяются для решения следующих задач:

- 1) картирования рыхлых отложений (определение их площадного распространения, мощности, степени обводненности и литологического состава);
- 2) определение глубины залегания коренных пород; картирования элементов тектоники и оценки степени трещиноватости и выветрелости пород;

- 3) изучения физико-геологических явлений (оползней, карста, пустот естественного и искусственного происхождения, многолетней мерзлоты;
- 4) поисков и оконтуривания древних долин;
- 5) оценки физико-механических свойств и обводненности пород в естественном залегании;
- 6) оценки коррозионной активности грунтов и интенсивности блуждающих токов.

При изучении оползневых явлений исследуют рельеф поверхности оползневого ложа, картируют массив оползня в целом и отдельные его части, имеющие литологические и гидродинамические особенности, определяют направления движения оползня в целом и отдельных его участков.

С этой целью применяют метод электроразведки в различных модификациях, комплексируя его с высокоточной магниторазведкой и гравиразведкой, микросейсморазведкой, радоновой съемкой, электрическим и радиоактивным каротажем скважин.

Основой для применения геофизических методов является контрастность физических свойств оползневых и коренных пород. Так, электрическое сопротивление коренных пород в 1,2 – 1,6 раз выше, чем пород, слагающих оползнь, а отношение скоростей распространения упругих волн в коренных и оползневых породах составляет 1,2 - 2,0. Измерения физических полей проводят по густой сети наблюдений с повышенной точностью и тщательностью исследований, что обусловлено сложным строением оползней, резкой физико-геологической неоднородностью разреза по площади и глубине, небольшой мощностью оползневых массивов (до 20 – 40 м), неровностями земной поверхности. Совместное влияние перечисленных факторов сильно затрудняет интерпретацию геофизического материала. Площадные и профильные съемки сопровождаются режимными измерениями физических полей для изучения динамики оползневого процесса.

Наилучшие результаты геофизические методы, в частности, электроразведка методом ВЭЗ, эманационная съемка, дают при изучении оползней выдавливания. Тело такого оползня сложено породами, характеризующимися повышенной разрыхленностью, трещиноватостью и увлажненностью, а в нижней его части обычно имеется четко выраженная поверхность скольжения в глинистых породах.

**Динамика оползневого процесса.** прежде всего, определяется степенью увлажнения пород, поэтому важнейшей задачей геофизических

исследований является определение уровня грунтовых вод и степени водонасыщенности тела оползня. При этом методами электроразведки, сейсморазведки, терморазведки и каротажа скважин изучают эти параметры не только по площади и на глубине, но и во времени.

**Режимные геофизические исследования** применяют для изучения изменения напряженного состояния оползневого тела во времени, направления и скорости движения оползня. При этом используют данные режимных сейсмических наблюдений, так как скорость упругих волн и коэффициент их поглощения зависят от степени трещиноватости массива, которая, в свою очередь, определяется напряженно-деформационным состоянием массива. Те же эффекты приводят и к изменению интенсивности выделения радона. Систематическое слежение за смещениями искусственных и естественных магнитных реперов путем проведения периодически высокоточных микромагнитных съемок дает надежную информацию о направлении и скорости смещения оползня.

**Реальные примеры применения эманиционного метода для изучения оползневых явлений.** Эманиционное поле в пределах оползневых участков заметно дифференцировано (концентрации эманиций  $C_{кв}$  могут изменяться в 8-12 раз). Активные участки оползней, где отмечаются локальные подвижки, характеризуются преобладанием торона в составе эманиций. Распределение концентраций эманиций вдоль оползневого склона зависит также от времени существования оползня.

**Изучение карста** имеет большое практическое значение не только для выяснения инженерно-геологических условий возведения гражданских и промышленных сооружений, но и при поисках и оценке источников водоснабжения.

При этом геофизическими методами решаются следующие задачи:

- 1) картирование в плане зон повышенной трещиноватости и закарстованности;
- 2) изучение в разрезе особенностей (размеров, глубины распространения) карстовых зон;
- 3) оценка динамики («живучести» или степени «залеченности») карстовых проявлений.

Основой для применения геофизических методов при изучении карстовых явлений служит дифференциация по физическим свойствам заполнителя карстовых форм и вмещающих не затронутых карстовым процессом пород.

Иногда карстовые полости заполняются переотложенным магнитным материалом. Если происходит развитие карста во времени, то возникает перераспределение напряжений в его бортах, что находит отражение во временных вариациях газовых полей.

Исходя из дифференциации физических свойств, исследования карста проводят методами электроразведки, сейсморазведки, эманационной съемки, в благоприятных условиях – гравиразведкой и магниторазведкой.

ФМ карста и экспериментальные физические поля характеризуются следующими геолого-геофизическими особенностями:

- 1) карбонатно-суффозионный карст развит на контакте коренных известняков и глин;
- 2) наличие углубления в кровле коренных пород, заполненного песчано-аллювиальными отложениями;
- 3) разгрузка подземных вод под аллювиальный заполнитель карста;
- 4) песчано-аллювиальный заполнитель отмечается повышенными значениями ( $\rho_k$ ) по данным ВЭЗ и электропрофилеирования;
- 5) особенности фильтрации подземных вод (гидравлический уклон в водоносном горизонте и вертикальная разгрузка подземных вод) приводят к характерным изменениям естественного электрического поля (возрастание электрического потенциала вниз по склону, на фоне которого появляются локальные отрицательные аномалии);
- 6) различие в электрических сопротивлениях заполнителя и вмещающих пород приводит к появлению характерных аномалий в методах ПЭЭП и СДВ-радиокип;
- 7) участок разгрузки грунтовых вод, являющихся хорошей преломляющей границей для сейсмических волн, проявляется ступенчатым возрастанием времен прихода волн в сейсмическом профилировании.

В целом по дифференциации физических свойств мерзлые и «теплые» породы являются благоприятными объектами для изучения их геофизическими методами. Так, с возрастанием льдистости пород увеличиваются их электрическое сопротивление и скорость распространения упругих волн, что способствует успешному применению методов электроразведки и сейсморазведки. Заметное различие в температурах мерзлых и талых пород является основой для использования терморазведки. Но в то же время наличие толщи мерзлоты заметно сужает возможности геофизических методов при решении традиционных задач литолого-

структурного картирования. В этом случае надежные материалы получают только при залегании опорного горизонта глубже нижней границы мерзлых пород. При решении первой задачи применяют электрозондирование.

### Лекция 16

## ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ведущим направлением в развитии нерудной геофизики является использование современных достижений разведочной геофизики, в первую очередь, рудной.

Геофизические материалы, полученные при региональных исследованиях, геологическом картировании и поисках рудных полезных ископаемых, могут быть эффективно использованы при подготовке геолого-структурной основы для прогнозных карт на неметаллы (мелко-, средне-, крупномасштабных) и выделении элементов прогноза.

*К настоящему времени накопился опыт применения геофизических методов на 16 видов горно-химического и горно-технологического сырья на 12 видов строительных, цементного и стекольного сырья.*

**Наибольшее распространение Г<sub>ф</sub>Р получили на апатиты, асбест, барит, битумы, бор, гипс, графит, кварц, корунд, камнесамоцветное, карбонатное, песчано-гравийное, пьезооптическое и строительное сырье, самородную серу, слюды, соли (минеральные), флюорит и фосфориты**

Г<sub>ф</sub>М опробованы и используются на ограниченное число неметаллов, поэтому немаловажной задачей ближайшего периода является изучение их возможностей на более широкий круг полезных ископаемых.

*Благоприятные предпосылки в данной области связаны с:*

- 1) **Контрастность** большинства неметаллических ПИ по физическим свойствам (по отношению к вмещающим породам). Так, барит обладает повышенными значениями плотности и УЭС, *каменная соль* – пониженной плотностью и высоким УЭС, графит – высокой проводимостью и низкой плотностью, фосфориты – повышенной радиоактивностью и плотностью и т.д.
- 2) **Приуроченность** большинства месторождений неметаллов к определенным структурам и формациям, которые находят отражение в геофизических полях.

Геофизическими методами успешно выделяются и исследуются такие рудоконтролирующие структуры - как купола, горсты, кальдеры, антиклинали, мульды, тектонические нарушения, интрузии, дайки.

В геофизических полях можно выделить вулканогенные, осадочные, метаморфические и другие формации, вмещающие залежи неметаллов. Нередко Г<sub>ф</sub>М достаточно уверенно фиксируют зоны околорудных изменений, а также проявления контактного и гидротермального метаморфизма, с которыми могут быть связаны неметаллы.

3) *Наличие корреляционных связей между количеством полезных компонент в рудах и радиоактивными и ядерно-физическими их свойствами.* На этих зависимостях разработаны методики количественной оценки интересующих нас элементов и их химических соединений на месторождениях апатитов, фосфоритов, флюорита, калийной соли и пр.

К преимуществам ядерно-физического опробования следует отнести экспрессность определений, непрерывность измерений, отсутствие необходимости массового отбора проб, их транспортировки, обработки и хранения, быстроту получения результатов анализа.

4) *Высокая мобильность и комплексность аэрогеофизических съемок,* особенно в труднодоступных районах. Использование высокоточных аэромагнитных съемок особенно важно при исследовании слабomagнитных и немагнитных образований, с которыми связаны многие неметаллические ПИ (горный хрусталь, фосфориты, барит, асбест и др.). Сочетание аэромагнитной съемки с аэрогамма-спектрометрией усиливает поиски на слаборадиоактивные ПИ (apatиты, фосфориты и др.)

5) *Повышение глубинности поисковых работ.* Достигается благодаря включению в комплексы высокоточной гравиразведки (при поисках барита и корунда, выделении и изучении солеродных бассейнов, соляных куполов, кальцитиносных мульд, кальдер и горстов, апатитиносных массивов нефелиновых сиенитов и др.), ЭЗ (при поисках калийных солей, гипсов, ангидрита, серы, мраморов, песков и глин), а также методов сейсморазведки (при поисках и разведке МПИ серы, бора, калийных солей; при изучении апатитиносных интрузий, алмазоносных трубок взрыва).

Развитию нерудной сейсморазведки при поисках на малых глубинах способствует освоение и внедрение ударной сейсморазведки с накоплением сигналов.

6) *Повышение достоверности и экономичности разведочных работ* на неметаллические ПИ. Осуществляется благодаря привлечению методов скважинной геофизики (для исследования меж- и око-

лоскважинного пространства) и каротажа ( для изучения стенок скважин). Они могут быть использованы при выявлении залежей в околоскважинном пространстве, изучении их состава, размеров и морфологии, при выделении продуктивных горизонтов, качественной и количественной оценке неметаллов непосредственно в скважинах или горных выработках.

Из методов скважинной геофизики на МШИ неметаллов могут найти: трехкомпонентная магниторазведка, индукционная электроразведка, метод заряда (электрическая корреляция), РВП и САП, скважинная сейсморазведка и подземная гравиразведка ( в горных выработках).

Для изучения рудных интервалов и определения вещественного состава пород и руд наиболее широко используются радиоактивные и ядерно-физические методы ГИС (гамма-каротаж, ГГК-П, и ГГП-С, НАК и др.)

**Широкое применение  $\Gamma_{\phi}M$  на всех стадиях поисков и разведки неметаллических ПИ позволит существенно повысить эффективность ГРР на этот вид сырья.**

#### Лекция 17

### КОЛИЧЕСТВЕННАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Количественная интерпретация разработана в меньшей степени, чем качественная. Существует несколько подходов, находящих практическое применение. Совместное решение обратных задач для нескольких геофизических полей.

Наиболее разработаны приемы совместной количественной интерпретации для гравитационных и магнитных полей. Сначала для каждого геофизического метода раздельно решают обратные задачи. Для этого можно использовать методы касательных и характерных точек, палетки теоретических кривых, или алгоритмы подбора. Его суть заключается в следующем. По виду геофизической аномалии делают предположение в форме, размерах, глубине залегания и физических свойствах вызывающего аномалию тела. По этим данным на ЭВМ решают прямую задачу и теоретически рассчитанное поле сравнивают с экспериментальным. Для уменьшения несовпадения этих полей все параметры модели несколько изменяют, причем направление изменений и их величину определяет ЭВМ. Процесс подбора заканчивают, когда различие полей становится меньше заданного предела или больше не изменяется.

**Модели, полученные независимо** по двум разным полям, затем начинают изменять совместно, чтобы получить единую форму объекта, удовлетворяющую обоим полям. Такое одновременное совмещение мо-

дельных полей с экспериментальными резко уменьшает количественную неоднозначность решения.

**Оценка глубины залегания поверхности фундамента по комплексу геофизических полей.** В платформенных условиях граница раздела кристаллического фундамента и осадочного чехла характеризуется большим контрастом физических свойств. Это позволяет оценивать глубину залегания фундамента по комплексу полей методом многомерной линейной регрессии. Работа алгоритма распадается на два этапа—обучение и использование. Формула регрессии имеет вид

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i,$$

где  $X_i$  — признаки геофизических полей; — свободный член;  $a_i$  — регрессионные коэффициенты;  $Y$  — результат, в данном случае глубина залегания фундамента. Коэффициенты  $a_i$ ,  $a_0$  и множественный коэффициент корреляции  $r_{k+1}$ , характеризующий тесноту линейной связи  $Y$  с  $X_i$ , определяют по формулам

$$a_i = \bar{Y} - \sum_{j=1}^k a_j \bar{X}_j, \quad a_0 = b \frac{\sigma_Y}{\sigma_X},$$

$$r_{k+1} = \sqrt{\sum_{i=1}^k b_i r_{iY}},$$

где  $Y, X_i, \bar{Y}, \bar{X}_i, \sigma_Y, \sigma_X$  определяют по формуле

$$r_{iY} = \left| \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})}{(n \sigma_X \sigma_Y)} \right|.$$

$b_i$  — вспомогательные коэффициенты, получаемые в ходе решения системы линейных уравнений множественной регрессии;  $r_{iY}$  — выборочные коэффициенты корреляции  $X_i$  с  $Y$ . Если в ряде точек известна глубина залегания фундамента, то по значениям геофизических признаков в этих точках методом наименьших квадратов оценивают коэффициенты  $a_0$ ,  $a_i$  и затем вычисляют множественный коэффициент корреляции  $r_{k+1}$ . Если значения  $r_{k+1}$  достигают 0,7—0,9, то корреляционная связь достаточно устойчива и для расчета глубины залегания фундамента можно использовать

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i,$$

формулу

**Оценка содержания полезных ископаемых по комплексу признаков.** Для решения подобных задач также используют уравнение регрессии, однако в качестве  $Y$  на этапе обучения берут содержание полезного ископаемого по данным опробования. Для

геофизических исследований скважин при высоких содержаниях рудных минералов коэффициенты корреляции могут достигать 0,9—0,96, т.е. оценка содержаний по данным ГИС оказывается весьма надежной. В благоприятных условиях и по данным наземной геофизики можно получить приемлемые оценки содержаний или запасов руд в зависимости от используемых геофизических признаков и материала обучения.

## Лекция 18

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Опыт использования приемов комплексной интерпретации данных ряда геофизических методов показывает высокую эффективность решения многих геологических задач, недостижимую с помощью одного метода или при раздельном использовании каждого метода. Но обилие перерабатываемой информации делает невозможным (за редкими исключениями) ручную реализацию алгоритмов без применения ЭВМ. Огромные объемы подготовки данных для ЭВМ и трудоемкость этих операций позволяют считать, что процесс комплексной интерпретации в промышленных масштабах невозможен без создания банков данных (БД) и автоматизированных систем обработки данных (АСОД) на ЭВМ.

В банке данных накапливается и хранится на магнитных лентах или дисках информация по геологическим, геохимическим и геофизическим исследованиям в регионе. Автоматизированная система позволяет выбрать из БД всю информацию по конкретному участку или ее определенную часть и подвергнуть ее обработке. Типовая структура АСОД-геофизика приведена на рис. 18.1. Она состоит из банка данных (БД) и большого числа программ обработки, объединенных в несколько систем, взаимодействующих между собой с помощью центральной и важнейшей системы оперирования данными (СОД). СОД позволяет выбрать из банка данных информацию, относящуюся к определенной площади, масштабу или методу, преобразовать ее по заданному алгоритму, передать пометодным системам обработки, записать результаты в БД, выдать ее на печать или графообразователь.

Системы программ по отдельным методам --- сейсмо- (С/Р), электро- (Э/Р), грави- (Г/Р) и магниторазведки (М/Р) получают данные из

БД, подготовленные с помощью СОД для работы с конкретными алгоритмами пометодной интерпретации.

Системы для отдельных видов исследования — скважинных (ГИС), аэрогеофизических — позволяют вести обработку и качественную и количественную интерпретацию данных своих технологических комплексов. Система программ для комплексного анализа (КА) позволяет с помощью СОД объединить данные разных методов в единый массив, провести их комплексную обработку в соответствии с графом обработки (заданием), включающим определенную последовательность операций, выполняемых ЭВМ автоматически или же с контролем промежуточных результатов после отдельных этапов обработчиком, принимающим решения о завершении, продолжении или изменении операций обработки. При наличии графопостроителей результаты расчетов могут быть представлены графически в черно-белом или цветном изображении, в виде графиков, карт, разрезов или в трехмерном изображении в любой нужной проекции.

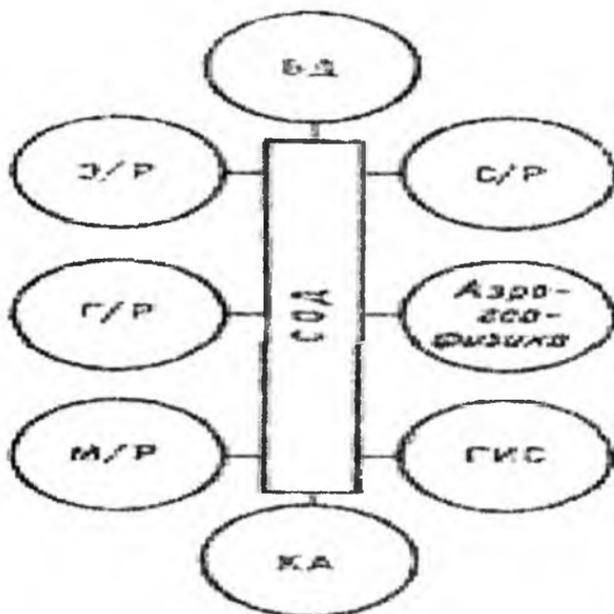


Рис.18.1 Типовая структура АСОД-геофизика

## КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В настоящее время количество информации, извлекаемой из геофизических данных, по общему признанию, довольно велико. Причинами этого являются следующие обстоятельства:

- часть информации не представляет практического интереса для решения конкретных геологических задач;
- сведения, получаемые по данным геофизики, не находят объяснения в свете имеющихся геологических концепций и отвергаются как «неудобные»;
- часть информации скрыта (не визуализирована), и для ее извлечения нужна трудоемкая обработка, не всегда доступная из-за нехватки времени, недостаточной квалификации персонала;
- во многих производственных организациях на обработку и интерпретацию материалов отводится существенно меньше времени, чем на полевые работы, а глубина осмысливания материалов контролируется в меньшей степени, чем качество их получения в поле.

В повышении качества интерпретации геофизических материалов скрыты большие резервы роста эффективности геологоразведочных работ в целом. Качество обработки должно повышаться в основном за счет автоматизации обработки на ЭВМ, создания более экономичных и геологически эффективных алгоритмов обработки. При этом наибольшая однозначность и надежность геологического истолкования данных достигаются при комплексной обработке.

В процессе интерпретации можно выделить два взаимосвязанных, но различающихся направления — качественной и количественной интерпретации.

*Основная цель качественной интерпретации — установление положения и природы аномалий, а количественной — полу-*

*чение количественных оценок размеров объекта, глубины его залегания, физических свойств.*

## Лекция 20 КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ПРИ КАЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Приемы комплексной интерпретации для качественного истолкования геологических и геофизических данных разработаны достаточно хорошо. При этом основными задачами являются:

- районирование территории по комплексу данных;
- выделение местоположения аномалий и аномальных участков;
- объяснение их геологической природы.

Обычно используют приемы визуального анализа полей и формализованные процедуры, допускающие использование ЭВМ. Основной принцип качественного истолкования геофизических данных — принцип аналогии — состоит из обучения на эталонном участке с известным строением и анализа аналогичного по строению, но неизученного участка. При этом широко используют приемы распознавания образов. Признаки полей. При качественной интерпретации основными понятиями являются признаки полей. Признаком называют чаще количественный, реже качественный, но кодированный показатель поведения поля в данной точке. Количественный признак — амплитуда геофизического поля, качественный — например, знак поля: положительным значением поля соответствует код +1, отрицательным — код —1, а близким к нулю — код 0. Такой качественный признак, как сложность геологического строения, оцениваемый по карте, может быть закодирован, например, кодом 0 — простое строение, 1 — сложное; 2 — очень сложное строение. Этот признак можно определить полуколичественно, если разделить геологическую карту на клетки размером, например, 2х2 см и подсчитать число геологических комплексов, попадающих на каждую из них или, как принято говорить, в «окно». Однородная толща получит значение признака 0, геологический контакт в пределах «окна» даст код 1, сочленение трех комплексов получит код 2. В таком скользящем по карте «окне» можно подсчитать интенсивность проявления магматизма, разломной тектоники, направленность разломов и т.п.

Различают **признаки первичные** (например, амплитуда геофизического поля, непосредственно измеренная в определенной точке) и **вторичные** рассчитываемые по первичным (например, среднее значение поля в «окне», простираение изолиний, дисперсия поля или просто

разница максимального и минимального значений поля в «окне»). Полезными вторичными признаками являются коэффициенты линейной корреляции  $r_{xy}$  двух геофизических полей  $X$  и  $Y$ , рассчитанные в скользящем «окне» по формуле

$$r_{xy} = \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right] / (n\sigma_x\sigma_y),$$

$$\text{где } \bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n, \quad \sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n};$$

формулы для  $Y$  и  $\sigma_y$  аналогичны. Физический смысл коэффициента корреляции сводится к оценке связей между полями. Коэффициент корреляции  $r_{xy}$  может принимать значения от  $-1$  до  $1$ . Значения коэффициента корреляции  $0.7 < r_{xy} < 1$  говорят о том, что связи между полями не случайны и на данном участке, скорее всего, обусловлены одним общим источником (процессом или объектом). Отсутствие корреляции ( $r_{xy} \approx 0$ ) говорит о том, что изменения полей вызваны разными и независимыми причинами (например, массивное рудное тело увеличивает значения  $\eta_k$  и понижает значения  $\rho_k$ , измеренные над ним на поверхности земли), тогда как вкрапленные руды (увеличивая  $\eta_k$ , практически не изменяют  $\rho_k$ ) и коэффициенты корреляции в этих двух случаях будут, естественно, различаться.

Высокие диагностические качества на рудо-перспективных площадях проявляет коэффициент корреляции магнитного поля и ВП, позволяя выделять рудные аномалии и зоны гидротермально-метасоматического происхождения.

Расчет вторичных признаков позволяет намного увеличить общее число признаков для последующей оценки их эффективности и выбора наиболее информативных из них. Большое число признаков вручную изучить трудно, поэтому такие приемы предполагают широкое использование ЭВМ.

**Функция комплексного показателя.** Для визуального анализа информации необходимо из многих признаков получить один результат, надежно выделяющий интересующий объект. Наиболее просто этот процесс можно показать на примере расчета функции комплексного показателя (ФКП), предложенной Г.С. Вахромеевым.

Расчет ФКП основан на суммировании признаков геофизических полей, осуществляемом таким образом, чтобы максимально усилить полезный эффект от искомого объекта. Например, для ФГМ рудного объек-

та ( рис. 6.2) характерны повышенные значения  $\Delta g$ ,  $\Delta Z$  и  $\eta_k$  и пониженные значения  $U_{\text{ЕП}}$  и  $\rho_k$ . Чтобы усилить эффект всех этих полей, надо взять первые три признака со знаком «плюс», а два вторых -- со знаком «минус». Для положения разных полей используемые параметры необходимо сначала перевести в единую безразмерную форму путем их пересчета в коэффициенты контрастности  $\gamma_k^i$ , где  $k$  — номер признака или метода;  $i$  — номер точки наблюдения.

Тогда ФКП можно вычислить с помощью весового суммирования:

$$\theta = \sum_{k=1}^n C_k \gamma_k^i - \sum_{k=n+1}^m C_k \gamma_k^i,$$

где знаки «плюс» и «минус» выбраны так, как указывалось выше («плюс» для  $\Delta g$ ,  $\Delta Z$  и  $\eta_k$  и «минус» для  $U_{\text{ЕП}}$  и  $\rho_k$ ).

Весовые коэффициенты  $C_k$  оценивают следующим образом. Сначала на основе интуиции или опыта назначают некоторые априорные весовые коэффициенты. Например, после расчета у оказалось, что  $U_{\text{ЕП}}$  дает большую по амплитуде аномалию, чем  $\rho_k$ , значит, можно взять  $C_{\text{ЕП}} = 2$ , а  $C_\rho = 1$ . Аналогично выбирают, например,  $C_\eta = 2$ , а  $C_g = C_z = 1,5$ . Далее  $C_k$  пересчитывают так, чтобы  $\sum_{k=1}^m C_k^2 = 1$ . В этом случае функция будет иметь единичную дисперсию, и значения  $\theta > 3$  можно рассматривать как достоверные аномалии, а  $\theta = 1-3$  считать слабыми аномалиями. Если изменяется задача поиска, то изменяется и набор признаков значимости, и их весовые коэффициенты. Например, для поисков вкрапленных руд наибольший весовой коэффициент должен быть у метода ВП.

**Разделение объекта на два класса.** Часто задача поиска рудных тел ставится как задача разделения всех аномалий на два класса: рудные и безрудные. Для этого можно использовать различные приемы распознавания образов, например, дискриминантный анализ. Поясним этот метод на примере двух признаков. Процесс разделения аномалий происходит в два этапа — обучения и анализа. На первом этапе на площади работ выбирают заведомо «рудный» и «безрудный» участки-эталон. На них по каждому из анализированных признаков геофизических полей строят гистограммы распределения и оценивают степень разделения гистограмм для рудного и безрудного участков или информативность признаков.

Если для одного из признаков гистограммы полностью разделились, то задача может быть решена по этому одному признаку. Такие случаи встречаются редко. Как правило, гистограммы частично пересекаются, т.е. надежность разделения объектов по каждому из признаков недоста-

точно. Выбрав два признака  $X$  и  $Y$  с наибольшим разделением гистограмм, можно изобразить их на плоскости  $XOY$  в виде полей точек для рудного и безрудного участков (рис.

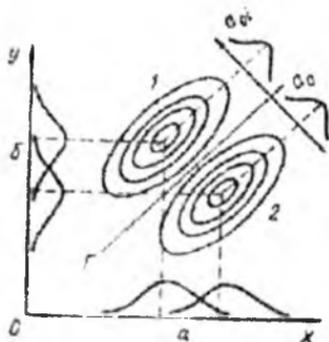


Рис. 20.1. Разделение аномалий на рудный (1) и безрудный (2) классы по двум признакам  $X$  и  $Y$ . а — разделение только по  $X$ ; б — разделение только по  $Y$ ; Г — линия границы наилучшего разделения по  $X$  и  $Y$ .

Проекция этих полей точек на оси  $X$  и  $Y$  дают исходные гистограммы по каждому признаку для участков 1 и 2, которые полностью не разделяются (случаи а и б). Но по двум признакам на комплексной плоскости  $XOY$  облака точек для участков 1 и 2 в центре рис. 8.5 удается разделить линией Г, уравнение которой  $Y = a_0 - a_1X$ . (Рис. 20.1).

Проекция этих полей точек на оси  $X$  и  $Y$  дают исходные гистограммы по каждому признаку для участков 1 и 2, которые полностью не разделяются (случаи а и б). Но по двум признакам на комплексной плоскости  $XOY$  облака точек для участков 1 и 2 в центре рис. 8.5 удается разделить линией Г, уравнение которой  $Y = a_0 - a_1X$ .

Эта линия или граница позволяет решить задачу об отнесении объектов к рудному или безрудному классу. Если сочетание признаков  $X$  и  $Y$  для проверяемой аномалии Г — линия границы наилучшего разделения по  $X$  и  $Y$ . Она дает точку выше границы, то объект рудный, а если ниже — безрудный. Вычислением коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  заканчивается этап обучения. На этапе анализа для всех проверяемых аномалий по значениям признаков  $X$  и  $Y$  положение точки относительно линии либо определяют графически, либо рассчитывают величину  $a_{0i} = Y_i - a_1X_i$ , которую сравнивают с  $a_0$  из формулы  $Y = a_0 - a_1X$ . Очевидно, что при  $a_{0i} > a_0$

(эталонного) точка окажется выше границы, т.е. будет отнесена к рудному классу, а при  $a_{01} < a_0$  окажется ниже границы и будет отнесена к безрудному классу.

При использовании большего числа признаков ситуацию трудно изобразить графически, но ЭВМ и в таком многомерном пространстве на этапе обучения найдет некую гиперплоскость, разделяющую точки классов 1 и 2. Затем, на этапе анализа, уравнение этой гиперплоскости используют для разбраковки аномалий на два класса.

## Лекция 21

### КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ПРИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

На её основе строят глубинные структурные карты и схемы.

**На 1-ом этапе количественной интерпретации** применяют методы решения обратной задачи, и предполагают, что аномалии обусловлены телами простой формы (*шар сфера круговой горизонтальный цилиндр вертикальный брус*) при горизонтально-слоистой среде. Для тел простой формы разработаны методы определения глубины залегания центра масс, верхней поверхности, мощностей, углов наклона, некоторых физических параметров.

На 1-ом этапе количественной интерпретации строят физико-математическую модель геолого-геофизического разреза.

На 2-ом этапе решают прямую задачу от полученной модели.

Если рассчитанное поле совпадает с *наблюденным*, то модель соответствует получаемым *геофизическим данным*.

В процессе качественной и количественной интерпретации или (на её заключительном этапе) получают выводы о строении геологического разреза, составе и состоянии слагающего его вещества.

**Самый общий метод интерпретации** - это метод подбора. При котором строится предварительная модель среды. Исходя из общих представления о строении среды и свойств горных пород.

По этой модели рассчитываются физические поля ею созданные. Рассчитанные поля (теоретические) сопоставляются с полями, полученными в результате наблюдений (которые предварительно обработаны) критерием того, что предполагаемая модель близка к строению реальной сре-

ды - является совпадение рассчитанных и наблюдаемых полей (в пределах определенного критерия ,например, точности).

Если поле рассчитанной модели выходит за пределы принятого критерия, то её изменяют. Такой перебор вариантов повторяют до тех пор, пока не будет достигнуто совпадение их значений - в пределах заданного критерия (но таким образом подобранная ФГМ может стать многозначной).

Практика рудопоисковых работ показывает, что даже на ограниченных по размерам площадям фиксируется настолько много геофизических и геохимических аномалий, что и простое обследование их на местности, не говоря о минимальной заверке горными работами, практически исключается.

Из этого вытекает объективная необходимость выделения из общего числа, так называемых перспективных аномалий, что может достигаться применением комплекса методов (в т.ч. геологических и геохимических).

Процесс интерпретации результатов комплексных геофизических съемок представляет собой сложную и самостоятельную методическую проблему, предусматривающую решение следующих вопросов:

- *выделение всех геофизических аномалий, зафиксированных на площади съемки, в т.ч. соизмеримых с уровнем помех;*
- *разделение (классификация) выделенных аномалий, на перспективные (рудные) и неперспективные (нерудные);*
- *количественная интерпретация перспективных аномалий, главной задачей которой является оценка прогнозных запасов искомого полезного ископаемого.*

Содержание трех этапов интерпретации раскрыто в следующей схеме.

### **ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАТЕРИАЛОВ В РУДНОЙ ГЕОФИЗИКЕ.**

*Этап 1.* Анализ исходных данных: графики поля  $A$ ; планы графиков, планы изолиний, цифровые матрицы. Расчет статических параметров поля: фонового значения  $A_{\text{ф}}$ , нижнего аномального предела  $A_{\text{н}}$ , дисперсии  $\sigma^2$ ,  $\sigma^1$  -интервала корреляции и др.

### **Выделение аномалий:**

- а) превышающих величину  $\Lambda_a$ .
- б) слабых, не превышающих фон помех.

**Этап 2. Разделение (классификация) аномалий на перспективные и приемами информационной теории интерпретации.**

Качественная интерпретация перспективных аномалий, обусловленных искомыми объектами.

**Этап 3. Выбор (съёмка профилей для количественных расчетов) интерпретационных профилей.**

Расчеты формы и размеров возмущающих объектов.

Расчеты глубины и условий залегания аномалиеобразующих объектов.

Оценка прогнозных запасов полезного компонента в контуре перспективных аномалий.

Построение карт результатов интерпретации и оценка их надежности.

Дополнительная оценка сравнительной эффективности отдельных методов с целью оптимизации рационального комплекса геофизических работ.

## **Лекция 22**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ**

Геологическая интерпретация «Разведочной геофизики» представляет собой мощное средство изучения структуры и вещественного состава земной коры, отражающихся в особенностях геофизических полей.

Эти особенности связаны с физической необходимостью земной коры в латеральном (лат. «боковой», расположенный в стороне от срединной плоскости тела») и радиальном направлениях по тем параметрам, которые лежат в основе используемого геофизического метода (намагниченность, плотность, поляризуемость и пр.).

Поэтому изучение закономерностей распределения физических свойств горных пород и их **изменений** при геологических процессах является одним из основных элементов геологической интерпретации исходного геофизического поля.

Физические параметры и вещественный состав горных пород не адекватны (лат. «приравненный», равный, тождественный, вполне соответствующий) друг другу.

Например, разные горные породы могут иметь одинаковую намагниченность ( и др. свойства), а одна и та же порода относиться к петро-разным ( петромагнитным и др. ) классам.

В связи с этим геологические и физические границы в земной коре часто не совпадают.

*Совокупность геологических представлений о строении земной коры называется геологической моделью земной коры (или её участка), а совокупность представлений о физической неоднородности земной коры – физической моделью.*

В этих терминах геологическая интерпретации геофизических материалов означает получение исходной физической модели по изучаемому полю и построение на ее основе геологической модели среды. (эти способы интерпретации, использующие указанную последовательность операции, называются детерминированными).

Возможен и другой подход к построению и уточнению геологической модели, основанный на выявлении корреляционных связей между геологическими и геофизическими переменными.

**Геофизические переменные** – исходные или преобразованные значения интерпретируемого поля.

**Геологические** – структурные или вещественные параметры среды (значения которых известны в пределах участков с изученным геологическим строением или определены при документации скважин).

Полученные связи используются для прогнозирования геологических переменных на других участках или в других точках площади, где известны только геофизические переменные.

Это способы интерпретации – статистические при таком подходе геофизическое поле рассматривается как случайная функция, отражающая случайное распределение источников поля в земной коре. (наиболее широкое использование корреляционные способы нашли при интерпретации комплексные геофизических материалов).

Изучение функциональных связей между источниками поля и создаваемыми ими аномалиями также является одним из основных элементов геологической интерпретации геофизических материалов.

В формальном отношении интерпретация геофизического поля основывается на изучении его структуры, т.е. распределения значений поля в пространстве в функции от координат.

Неотъемлемым элементом структуры поля является аномалия.

**Аномалия** (*применительно к задачам геологической интерпретации*) – отклонение в структуре поля от некоторых общих закономерностей, проявляющихся на площади, превышающей размеры рассматриваемой аномалии.

В связи с **принципом суперпозиции** (*наложение полей*), справедливо для всех потенциальных полей, любое сложно построенное поле можно представить как сумму более простых полей – аномалия различных порядков.

При этом каждой составляющей поля будет соответствовать своя неоднородность в **физической модели среды** и отсюда – свои особенности геологической модели, выявление и изучение которых является задачей интерпретации. Следует помнить, что выделение в структуре геофизического поля элементарных аномалий (имеющих наивысший порядок) следует выполнять лишь тогда, когда связанные с ними физические неоднородности могут представлять геологический интерес.

Понятие аномалия тесно связано с понятием нормальное поле. Иначе, нормальных полей столько, сколько и аномалий, т.к. нормальное поле – это поле свободное от аномалий изучаемого порядка. Словом, нормальное (в пределах одной площади) поле может оказаться аномальным при увеличении её размеров.

Тесная связь между аномальным и нормальным полями позволяет получить из исходного поля, как аномальную, так и нормальную составляющие путем независимых операций (локализация или устранение аномалии).

Для выделения различных составляющих поля (магнитного, гравитационного и др.) и подчеркивания тех или иных элементов его структуры широко используются различные формализованные преобразования, т.е. трансформации.

Общий подход к интерпретации аномального геофизического поля определяется характером поставленных геологических задач и особенностями геологического строения изучаемой территории.

Ещё: при переходе к объемному геологическому изучению физическая модель также приобретает объемный характер и строится на основе интерпретации комплексных геофизических материалов.

Методы обработки измерений и интерпретации существенно усовершенствовались (за последние годы) в связи с общим развитием вычислительной математики и появления быстродействующих ЭВМ.

Сейчас трудно представить обработку геофизической информации без ЭВМ, как на подготовительной стадии, предшествующей интерпретации (введение редукций, получение интерполированных значений поля в узлах регулярной сети, исключение помех и др.) так и на стадии интерпретации (трансформации поля, построение физической модели и др.).

Помимо отдельных программ -- для решения конкретной задачи разрабатывают (преимущественно) целые системы программ, рассчитанные на последовательное выполнение нескольких операций и претендующие (в конечном итоге) на полную автоматизацию процесса геологического интерпретации при активном участии в этом процессе интерпретатора.

Общеизвестно, что **решение геологических задач носит эвристический характер** и определяется представлениями интерпретатора об особенностях физической и геологической модели, изменяющимися в процессе решения поставленной задачи.

Установлено, что **критерий совпадения исходного поля с полем физической модели** сам по себе не является достаточным для **оценки достоверности интерпретации**, как в геологическом, так и в физическом планах.

Эта достоверность определяется (в первую очередь) правильность исходных представлений о характере физической модели, полнотой учета всей априорной, геофизической и геологической информации и критическим подходом к оценке каждого из промежуточных результатов.

Математика в геологии обеспечивает объективную оценку выбранной модели или гипотезы, но сама по себе создать такую модель (в отрыве от геологических представлений) не в состоянии (по Вистеллиусу А.Б.).

**При скважинных исследованиях, например, интерпретацию данных ГИС обычно разделяют на три этапа:**

- 1) предварительная обработка, заключается в подготовке результатов измерений для интерпретации: представление результатов в физических единицах измерения, приведение результатов к соответствующим глубинам, проверка качества измерений, устранение аппаратных помех и т.д.
- 2) геофизическая интерпретация -- определение физических свойств пластов по величинам, измеренным при каротаже. К геофизическим измерениям относятся (например) определение ( $\rho_k$ ) неискаженной части пласта и зоны проникновения по ка-

жушимся сопротивлениям, полученными зондами БКЗ, индуктивного, бокового каротажа – установление водосодержащих пластов по НК и др.

- 3) геологическая интерпретация – состоит в определении геологических свойств пересеченных скважиной пород по совокупности данных, полученных при геофизической интерпретации, а также с использованием – априорной геологической и петрофизической информации. Например, выделение пластов, тела, определение трещиноватости, пористости, обводненности и др.

Полученные на определенном этапе интерпретации результаты могут быть недостаточно точными или даже находиться в противоречии с исходными представлениями об изучаемом разрезе, что указывает на несоответствие априорных данных и принятых моделей строения пласта действительному его строению.

Это приводит к необходимости повторить информацию с откорректированными по результатам предыдущих этапов исходными данными или моделями.

В отдельных случаях может потребоваться изменение и расширение самого комплекса ГИС.

Поэтому изучение разрезов скважин следует рассматривать как непрерывный процесс с обратной связью.

По характеру решаемых задач используемых исходных геолого-геофизических данных интерпретацию (ГФИ) скважин разделяют на оперативную и свободную.

Под **оперативной интерпретацией** – выдачу заключений о наличии в разрезе пробуренной скважины рудных пропластков, пластов – коллекторов, характере их насыщения, а также рекомендации по опробованию пластов.

Огличительная особенность обработки и интерпретации геофизических данных состоит в том, что проводят ее на всех этапах разведки месторождений нефти и газа ( и по возможности на рудные МПИ), в т.ч. и в первых, пробуренных на площади скважинах, когда еще нет надежных материалов для сопоставления геологических данных (керна, опробование пластов и др.) и результатов ГИС.

По результатам оперативной интерпретации принимают решение о продолжении бурения, спуске колонны, интервале её цементирования, проведении дополнительных исследований.

Сводную интерпретацию проводят по отдельным пластам или месторождениям с целью обобщения всех имеющимся по ним геологическим и геофизическим данным.

При этом должна быть выполнена как можно более полная оценка пласта – его геометрических параметров, характера насыщения, плотностных данных, сведений о трещиноватости и др.

В результате сводной интерпретации обычно выдают исходные данные для подсчета запасов нефти и газа и для проектирования разработки и доразведки пласта, а также формируют соображения об усовершенствовании приемов интерпретации и уточнении критериев (признак на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-то, «мерило»).

Таким образом, интерпретация геофизических измерений в скважине (да и на других объектах: поле, выработки, морские, повысотные и др. съемки) является завершающим этапом геофизических исследований.

## Лекция 23 ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

### ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ (Г<sub>фИ</sub>)

*Цель (Г<sub>фИ</sub>) состоит в исключении факторов, искажающих величину измеряемого физического параметра, и позволяющей получить оценку истинной величины физического параметра, свойственного объекта измерения.*

Учет влияющих факторов при (Г<sub>фИ</sub>) требует помимо применения результатов основного измерения еще и дополнительных данных, которые получаются либо в результате измерений другими методами, либо на основе априорной информации. Поэтому Г<sub>фИ</sub>, как правило, есть комплексная.

В ряде случаев, особенно при совместном рассмотрении результатов нескольких видов каротажа.

Г<sub>фИ</sub> целесообразно разбить на две операции, представляя в первой операции каротажную кривую в виде ступенчатой (кусочно-постоянной) функции и внося при этом некоторые возможные поправки (например, на влияние скважины, ограниченной мощности и др.). такая Г<sub>фИ</sub> называется трансформацией.

$\Gamma_{\Phi}$ И основана (в скважинах) на решении прямых задач. Эти решения обычно представляют в виде формул, номограмм, палеток, полученных моделированием или аналитическим путем. При решении обратных задач (например, при интерпретации ГИС) возникает ряд трудностей.

Одна из основных трудностей решения обратных задач каротажа (как и в ряде методов разведочной геофизики) – связана с эффектом эквивалентности (равносильности, равнозначности, тождественности, равноценности...)

Этот эффект состоит в том, что одному и тому же результату измерений могут с равным успехом соответствовать различные наборы количественных и качественных характеристик исследуемого объекта.

Широко применяемые для  $\Gamma_{\Phi}$ И результаты решения прямых задач, получены для сравнительно простых моделей строения исследуемых объектов (мощного изотропного пласта, однородных вмещающих породах; при ступенчатом изменении сопротивления в зоне проникновения и т.д.). В рудной геофизике – для объектов в виде шара, кругового цилиндра, вертикального пласта и др.

Поэтому чаще всего возникает несоответствие между строением объекта исследований и принятой расчетной моделью прямой задачи.

Это приводит к необходимости выделять объекты так, чтобы их параметры (геометрические, физические и пр.) наилучшим образом аппроксимировались (*лат.* «приблизиться») расчетными моделями.

Опыт  $\Gamma_{\Phi}$ И показывает, что такая аппроксимация обеспечивает приемлемые с практической точки зрения результаты.

В то же время при несоответствии реальной и расчетной моделей решения обратной задачи получает с погрешностью тем большей, чем большего соответствие. Это особенно четко проявляется в разрезах с однородными пластами, где погрешность интерпретации могут достигать в ряд случаев больших размеров.

Данные трудности могут быть (отчасти) устранены путем решения прямых задач более широкого круга модулей и применения для интерпретации ЭВМ, позволяющих реализовывать  $\Gamma_{\Phi}$ И в более строгой постановке и в то же время обеспечить высокую производительность работ.

Разработка эффективных алгоритмов и программ обработки  $\Gamma_{\Phi}$ И в разрезах со сложным строением исследуемой среды – актуальная и наиболее трудная задача интерпретации геофизических данных на ЭВМ.

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ (Г<sub>д</sub>И)

Геологическая интерпретация (Г<sub>д</sub>И) состоит в переходе от совокупности физических свойств пород, определенных при геофизических исследованиях к их геологическим характеристикам.

Г<sub>д</sub>И является комплексной, т.к. стоящие задачи решаются с использованием для методов (в т.ч. и методов ГИС) априорных геологических данных.

Геологическая интерпретация (в скважинах) основана на петрофизических исследованиях и обобщении данных ГИС, в результате чего получают средние значения геологических параметров, свойственных объекту или группе объектов интерпретации, а также зависимости между ними и физическим параметрами пород.

Обычно из-за сложного строения и влияния многообразных факторов получить строгие физические обоснование зависимости между физическими и геологическими параметрами удается лишь в отдельных случаях.

В большинстве случаев приходится пользоваться эмпирическими формулами, которые приближенно описывают связь между физическими и геологическими характеристиками пород.

Широко при Г<sub>д</sub>И используются парные и многомерные корреляционные зависимости, представляющие собой приемлемые для конкретных интерпретируемых объектов математические модели.

Как правило, такие модели не описывают физической картины явления, но в вероятностно – статистическом отношении бывают достаточно строгими и в большинстве случаев обеспечивают нужную точность.

Важную роль в Г<sub>д</sub>И играют обобщение и совместный анализ геофизических и геологических данных (керна, данные опробования, сведения о возрасте пород и другие).

На основе обобщения устанавливают граничные значения геофизических и геологических параметров; устанавливают характеристику объекта.

При Г<sub>д</sub>И необходимо учитывать изменчивость физических и петрофизических свойств в пределах одного геологического объекта, а также погрешность измерений при геофизических исследованиях.

Поэтому Г<sub>д</sub>И и оценка ее результатов требуют вероятностно статистического подхода.

Решение задачи Г<sub>д</sub>И в общем виде связано с созданием обобщенных систем петрофизических уравнений и разработкой эффективных вычис-

лительных алгоритмов, обеспечивающих решение систем этих уравнений.

Это можно осуществить только на основе применения методов интерпретации с использованием современных ЭВМ.

## Лекция 24

### ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Лавинообразный рост приемов количественных оценок физических полей (особенно усилившийся с внедрением ЭВМ в практику) не ведет к адекватному увеличению эффективности геофизических исследований.

Главная причина: в том, что большинство известных методов количественной интерпретации (основанных на классических представлениях математической физики).

#### **Предназначено для расчетов:**

- параметров формы;
- условий залегания;
- аномальных физических свойств возмущающих объектов, связь которых с искомым орудением доказана или предполагается априорной.

При этом остается нерешенным наиболее принципиальный и самый сложный вопрос классификация аномалий на «перспективные» и «неперспективные».

Практика рудопоисковых работ показывает, что даже на ограниченных по размерам площадях фиксируется настолько много геофизических и геохимических аномалий, что простое обследование их на местности, не говоря о минимальной заверке горными работами, практически исключается.

**Процесс интерпретации результатов комплексных геофизических съемок** представляет собой сложную и самостоятельную методическую проблему, предусматривающую решение следующих вопросов:

- 1) выделение всех геофизических аномалий, зафиксированных на площади съемки, в т.ч. соизмеримых с уровнем помех;
- 2) разделение (классификация) выделенных аномалий на перспективные и неперспективные;
- 3) количественная интерпретация перспективных аномалий, главной задачей которой являются оценка прогнозных запасов искомого полезного ископаемого.

Для совершенствования методики поисков данного типа месторождений на стадии интерпретации проводят дополнительное сравнение эффективности различных методов, гл. образом путем расчета их геологической информативности. Одновременно вносят частичные коррективы в формирование геологических задач для приведения их в соответствие с фактическими возможностями геофизических и геохимических методов, а иногда планирую доп. эксперимент, с целью апробации новых ранее неиспользованных методов.

### **Обобщенная схема интерпретаций материалов в рудной геофизике.**

- 1) Анализ исходных данных: графики поля  $A_i$ , планы графиков, планы изолиний, цифровые матрицы. Расчет статистических параметров поля: фонового значения  $A_f$ , нижнего аномального предела  $A_a$ , дисперсии  $D_{\text{общ}}$ , интервала корреляции и др. выделение аномалий: а) превышающих величину  $A_a$ ; б) слабых, не превышающих фон помех.
- 2) Разделение (классификация) аномалий на перспективные и неперспективные примерами информационной теории интерпретации. Качественная интерпретация перспективных аномалий, обусловленных ископаемыми объектами.
- 3) Выбор (съёмка) профилей для количественных расчетов – интерпретационных профилей. Расчеты формы и размеров возмущающих объектов. Расчеты глубины и условий залегания аномалиеобразующих объектов. Оценка прогнозных запасов полезного компонента в контуре перспективных аномалий. Построение карт результатов интерпретации и оценка ее надежности. Дополнительная оценка сравнительной эффективности отдельных методов с целью оптимизации рационального комплекса геофизических работ.

#### **ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛИИ (1 ЭТАП)**

Выделение аномалий, амплитуда которых превышает средний уровень помех, обычно не представляет трудностей и может быть выполнено на базе вероятностно статистических критериев. (При этом учитывают математический закон распределения значений поля в нормальной области и наперед заданную гарантийную вероятность выявления аномалий, начиная с некоторого уровня  $A_a$ ).

Выделение слабых аномалий, т.е. таких, где амплитуды, которых соизмеримы со средним уровнем помех либо меньше его, требует привлечения специальных методик.

Возможности любого геофизического метода для выделения слабых по амплитуде сигналов могут быть объективно оценены с помощью аппарата дисперсионного анализа, позволяющего рассчитать долю влияния на общую дисперсию  $D_{\text{общ}} = D_0 + D_{\text{съемки}}$  ошибок съемки  $D_{\text{съемки}}$  и природных флуктуаций физического поля  $D_0$ .

Если при этом окажется, что  $D_{\text{съемки}}$  существенно превышает природную дисперсию  $D_0$ , увеличить разрешающую способность метода можно путем применения более совершенной аппаратуры либо специальной методики, обеспечивающей повышенную точность наблюдений.

При  $D_0 > D_{\text{съемки}}$  приходится пользоваться другими приемами. Их можно условно подразделить на следующие группы:

- 1) способ геологических редукиций;
- 2) способы трансформации полей, основанные на частотной фильтрации аномалий в зависимости от размеров, глубины залеганий и физических свойств аномалиеобразующих объектов.

Выделение аномалий по способу геологических редукиций имеет в своей основе принцип суперпозиции физических полей, согласно которому аномальные эффекты, связанные с различными геологическими факторами, алгебраически складываются.

Снимая влияние тех геологических причин, по которым имеются независимые данные других методов (например, мощности осадочного чехла, состава и структуры пород кристаллического фундамента и др.) можно подчеркнуть составляющую поля, обусловленную разностным эффектом, в частности поверхностью Мохоровичича.

В рудной геофизике применимость этого способа ограничивается из-за того, что получение информации о характере распределения поля над объектами – помехами (переменная мощность рыхлых отложений, многолетняя мерзлота, покровы геологических образований, играющих роль экранов и т.д.) соизмеримо по затратам с основными геофизическими съемками, нацеленными на поиски полезных объектов.

Поскольку путь последовательного прямого исключения всех известных аномалиеобразующих факторов требует значительных затрат, то широкое развитие получили различные математические преобразования физических полей.

К наиболее распространенным трансформациям относятся:

- сглаживание различными способами, включая анализ поверхности тренда;
  - вычисление высших производных;
  - аналитическое продолжение потенциальных полей в верхнее и нижнее полупространства Земли;
  - (исходя из спектральных представлений о природе наблюдаемого физического поля, его поле) можно считать суммой трех составляющих: а) низкочастотной, отвечающей региональному полю;
- б) среднечастотной, соответствующей локальным аномалиям;
- в) высокочастотной, обусловленной случайными помехами.

**Методы сглаживания и пересчета полей в верхнее полупространство гасят высокие гармоники спектра, подчеркивая тем самым полезные аномалии на фоне региональных полей, либо акцентируя региональную составляющую.**

Аналогичного эффекта достигают фактическими измерениями на большой высоте (аэрогеофизика), либо методикой групповых замеров, когда берут отсчеты в нескольких точках, вокруг ГК (никета), а затем вычисляют средний результат.

*Этот способ можно сравнить с известным в радиотехнике приемом – накоплением полезного сигнала. Согласно теории ошибок, увеличение числа пунктов наблюдений в районе аномалий до 3-х повышает надежность выявления сигнала до 98,5%, т.е. как будто он имеет амплитуду 2,5 от регистрируемой.*

Пересчет поля в производные высшего порядка и в нижнее полупространство усиливает высокочастотную составляющую измеряемого поля, что позволяет объективно выделять локальные аномалии, особенно при низком фоне помех или при его предварительном ослаблении – сглаживанием.

В последние годы для разделения наблюдаемых аномалий стали использовать Тренд-анализ (*Понятие тренда карты почти «эквивалентно» термину «Региональный фон»*)

Из других способов выделения и прослеживания слабых аномалий, основанных на стохастическом анализе изучаемых полей, заслуживающими внимания являются:

- метод обратных вероятностей;
- самообучающиеся системы, основанные на примерах многомерного статистического анализа.

Интересным представляется использование методов фильтрации геофизических и прочих полей.

Выбор оптимальных параметров фильтрации физических полей может быть сделан на основе анализа их корреляционных свойств в предположении, что измеренное поле есть реализация некоторого случайного процесса, основными статистическими характеристиками которого служит АКФ (автокорреляционная функция).

На практике чаще всего применяют нормированные АКФ<sub>n</sub> и ВКФ взаимно корреляционные функции (Тархов А.Г., Никитин А.А.):

- 1) анализ форм АКФ «шумов» и «полезного сигнала» позволяет выбрать оптимальный способ фильтрации исходных данных.
- 2) знание радиуса корреляции позволяет подбирать размер «окна осреднения».
- 3) корреляционные функции используют непосредственно для обнаружения и прослеживания от профиля к профилю слабых аномалий.

*(Независимо от способа трансформации исходного поля, на точность выделения региональной составляющей сильно влияют «ураганные» значения пикового характера - они дают на трансформированном графике как бы «эффект размазывания», искажая как региональную составляющую, так и локальные аномалии).*

### **РАЗДЕЛЕНИЕ (КЛАССИФИКАЦИЯ) АНОМАЛИЙ НА ПЕРСПЕКТИВНЫЕ И НЕПЕРСПЕКТИВНЫЕ (ЭТАП II).**

Классификация геологических объектов (в т.ч. и аномалий) и выделение из их числа перспективных – является одной из самых сложных проблем интерпретации.

Ее актуальность определяется необходимостью повышения экономической эффективности ГРП за счет сокращения затрат на проверку, оценку и разведку аномалий и рудопроявлений, а также: нецелесообразность заверки и нерентабельность последующей разработки которых обоснованы с достаточной надежностью.

Сравнительную оценку перспективности аномалий, выделенных по итогам комплексных геофизических и геохимических исследований – выполняют с помощью статистической (информационной) теории интерпретации (начало в работе Л.А. Халфина), давшего информационную трактовку известного и математической статистике Байесовского критерия.

Здесь построение любого алгоритма интерпретации выполняют на основе модельного подхода путем обобщения и формализации априорных представлений об объекте поисков.

Словом, понятие о ФГМ объекта геофизических поисков является определяющим не только на этапе проектирования, но и на стадии их интерпретации.

Основными направлениями статистической теории интерпретации являются логические методы распознавания образов, применение корреляционного и многомерного регрессионного анализа, методы, основанные на расчете коэффициента правдоподобия, а также на вычислении комплексных показателей, интегрировано обобщающих данные нескольких методов.

Существующие методы решения задач диагноза способами распознавания образов (хорошо отражены у Ю.А. Воронина, Ш.А. Губермана).

К наиболее широко используемым программам относятся «линейная решающая функция» («Одуванчик») – позволяющая разделить аномалии с помощью дискриминантного анализа и др. «Нелинейная решающая функция» («Эдельвейс»), «Кора – 3», «Тест – 2», «Энтропия–1,3.» «Голотип – 1», «Потенциальные функции», «Образ – 3», «Тау» и мн. Другие. (Однако направление ждет дальнейших более совершенных разработок) т.е. получаются не полностью идентичные решения....).

Многообещающим является использование для целей комплексной интерпретации геофизических данных аппарата корреляционного и многомерного регрессионного анализа.

Заслуживающая внимания является методика и комплексной интерпретации, основанная на байесовских аспектах теории статистических решений.

Постановка задачи в случае двух альтернатив приводит к сравнительно двух гипотез:  $H_1$  – гипотезы о наличии объекта первого класса (например, аномалия – перспективна);

$H_2$  – гипотезы о наличии объекта второго класса (аномалия неперспективна).

Оценку надежности интерпретации проводят путем интегрирования коэффициента правдоподобия. (Например, с использованием теоремы гипотез Бейеса при выделении с помощью геофизических методов разрывных тектонических нарушений, контролирующих размещение некоторых типов рудных тел).

Одним из путей решения задач диагноза в разведочной геофизике и прикладной геохимии является вычисление комплексных показателей.

интегрировано обобщающих результаты измерений несколькими поисковыми методами одновременно.

Например, методика расчета и построения функции комплексного показателя, так называемого ФКП, основанная на стохастическом анализе наблюдаемых физических полей.

Обобщенная функция комплексного показателя  $\theta$  представляет результат смешения сигналов любого числа разных методов, измерения которыми выражены в цифровой метрической форме, она служит для:

- 1) для свертывания информации, полученной несколькими методами исследований;
- 2) приведения наблюдений к уровню нормального поля;
- 3) выделения слабых аномалий, в т.ч. скрытых за уровнем помех;
- 4) разделения выявленных комплексных аномалий на перспективные и неперспективные;

Исходную геохимическую и геофизическую информацию более рационально изображать в виде ФКГФП, расчет которой предусматривает предварительный перевод результатов всех частных методов в равнозначные безмерные величины показателей контрастности  $\delta_j$ , а также строгую статистическую оценку значимости конечного результата.

В основе способа – преобразование данных каждого метода по формуле:  $\gamma_{ji} = A_{ji} \cdot \overline{A_j} / S_j$ ,

где

$\gamma_{ji}$  - показатель контрастности;

$S_j$  - стандартное отклонение;

$\overline{A_j}$  - среднеарифметическое (фоновое) значение измеренного признака;

$A_{ji}$  - значение измеренного признака  $j$  – метода в  $i$  – той точке профиля.

Это выражение справедливо в случае нормального закона распределений значений измеренного поля в нормальной области при логарифмическом законе

$$\gamma_{ji}^* = \lg A_{ji} - \lg \overline{A_j} / \lg \varepsilon_j$$

Значения признака в нормальном поле, преобразование по этим (двум последним) формулам, будут распределены по закону Гаусса с нулевым средним и стандартом, равным единице.

Способ нормирования величин, распределенных по законам, отличающихся от нормального и логнормального, (способ Г.А. Вострокнутова) характеризуется тем, что зависимость между ( $\gamma$ ) и преобразуемым признаком аппроксимируется не линейными функциями, а полиномами более высоких порядков. Использование безразмерных величин ( $\gamma$ ) позволяет оценивать значимость получаемого результата. Для аномальных интервалов величина ( $\gamma$ ) характеризует контрастность аномалий, с её помощью можно: рассчитать сравнительную эффективность конкурирующих методов.

Вид ФКП выбирают над эталонным («Рудным») объектом по материалам натурального моделирования, исходя из конкретной геологической задачи и представлений о ФГМ объекта геофизических поисков с таким расчетом, чтобы добиться максимальной контрастности комплексных полезных аномалий ФКП при одновременном подавлении аномалий ФКП над «объектами-помехами».

При этом необходимо, чтобы формула для вычислений ФКП была по возможности простой, но достаточно строгой для статистической оценки значимости конечного результата.

Словом, данная методика сочетает эвристический подход на первом этапе распознаваний при подборе вида обобщающей функции оценкой значимости итога.

Для изображения и интерпретации результатов многоэлементных геохимических съемок предложены способы построения аддитивных и мультипликативных ореолов (С.В. Григорян), вычисления энергии рудообразования (Н.И. Сафронов и др.), построения карт суммарного привноса элементов (Н.Н. Сочеванов).

Аддитивные ореолы получают сложением нормированных по фону концентраций нескольких элементов (объединенных в группы согласно их расположению в ряду зональности данного типа месторождений). Мультипликативные ореолы – перемножением содержаний элементов в пробе, что равносильно аддитивным ореолам логарифмов концентраций.

Существенное повышение эффективности комплексной интерпретации геолого-геофизических данных видится не столько в совместном рассмотрении результатов отдельных методов, а сколько в попытках вычислять некоторые общие их интегральные показатели – учи-

творяющие вклад в наблюдаемый и регистрируемый эффект действий (сил) сразу нескольких методов геолого-геохимических и геофизических исследований, обусловленных различными факторами, и создающими каждое свое физическое, химическое и геологическое поле.

На геофизическое поле определенной природы (гравитационное, магнитное, электрическое, тепловое, ядерных излучений и пр.) на одной и той же территории, в большей или меньшей степени, существенное влияние оказывают различные элементы геологического строения участка (рудные участки, вмещающая среда, ореолы рассеяния разных химических элементов, элементы тектоники, окружающие образования и т.д.). Поэтому для возможного нахождения перспективных рудоносных зон следует перейти от качественных (визуальных) характеристик к количественным показателям, например, к вычислению аддитивных, мультипликативных и их комплексных числовых показателей...

Причем, эти показатели могут быть показателями как простого (упрощенного) вида, так и довольно сложными, в т.ч. и многозвенными...

Например, на каждой точке измеряемого геолого-геофизического профиля могут быть получены сведения различных физико-химических полей, и тогда вычисление может свестись к определению аддитивного показателя ( $\alpha$ ),

$$\alpha = \sum_{i=1}^N A_i$$

где  $A_i$  — нормированные значения любого геофизического ( $A_{Gr}/\sigma_{Gr}$ ) + геохимического поля ( $D_{Gch}/\sigma_{Gch}$ ) в определенной точке рабочего профиля

Существенно большими вычислительными возможностями может обладать определение мультипликативного показателя ( $\beta$ ):

$$\beta = \prod_{i=1}^N A_{Gr}/\sigma_{Gr} \cdot \dots \cdot D_{Gch}/\sigma_{Gch}$$

где  $A_{Gr}/\sigma_{Gr}$  — нормированные значения любого геофизического ( $A_{Gr}/\sigma_{Gr}$ ) + геохимического поля ( $D_{Gch}/\sigma_{Gch}$ ) в определенной точке рабочего профиля

приводящее к существенному усилению выявляемых комплексных геофизических аномалий, в т.ч. и соединении их результатов с геохимическими данными. Еще более значимыми вычислительными способ-

ностями могут обладать расчеты разветвленного аддитивно - мультипликативного показателя ( $\gamma$ ):

$$\gamma = \frac{A_i^{Mr}}{B_i^{Gr}} \cdot kCA_i^{Mr}$$

где  $A_i^{Mr} / B_i^{Gr}$  - отношение нормированных показателей одного поля (магнитного) к аналогичным значениям другого поля (например гравитационного),

$k$  и  $C$  - коэффициенты пропорциональности, учитывающие вклад каждого отдельного поля в итоговый комплексный показатель

В результате таких вычислений ослабевает действие случайных и малозначимых факторов, и усиливается роль основных, сил, главных - ведущих (прежде всего, несущих рудную минерализацию), тем более что при разбавке выявленных аномалий определенного типа не последнюю роль могут сыграть геохимические и геологические методы, которые также дополнительно могут включены в состав информативных показателей (аддитивного и мультипликативного характера).

Возможность совместного учета данных методов различной физико-полевой природы обусловлена тем, что эти данные (параметры) как бы приводятся к «общему знаменателю» путем расчета не абсолютных и/или относительных значений параметров каждого конкретного метода, а их нормированных (отношение величины определенного параметра поля к его среднеквадратичной ошибке наблюдений) показателей, либо величин геофонов ( $\Gamma_f$ ), т.е. отношения величин тех или иных параметров конкретного геофизического поля к аналогичному значению величин его нормального поля.

Использование в практике вычислений многовидовых показателей, учитывающих влияние геополей различной физико - химико- биологической природы может привести к эффекту известному в экспериментальной науке, как эффект рандомизации, т.е. превращению (опасной при интерпретации) систематической ошибки в ошибку случайную. Что в конечном итоге, повысит надежность выделения положительного эффекта от полезного сигнала слабой мощности, на фоне постоянно действующих помех различной геолого-полевой природы [Рис..24.1].

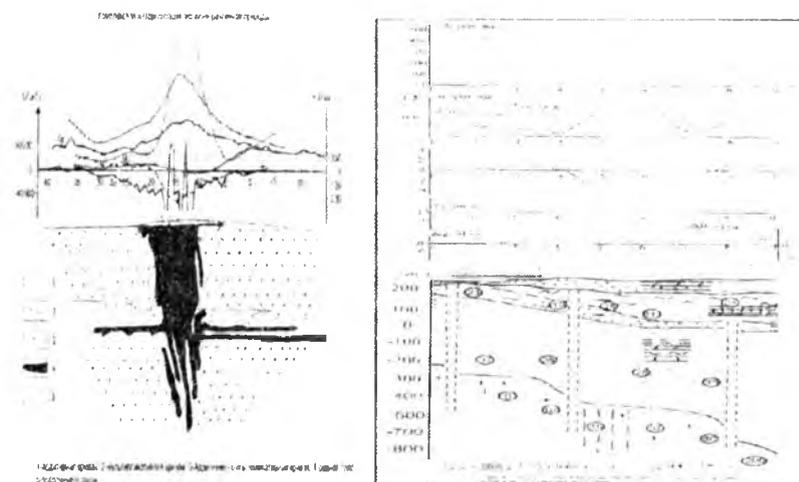


Рис.24.1 Графические представления аддитивно-мультипликативных показателей над а) рудным объектом, б) урановой минерализацией

### КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АНОМАЛИЙ (II ЭТАП)

Общий методический подход истолкования полученных данных заключается (при количественной интерпретации) -- в оценке прогнозных запасов в контуре перспективных аномалий.

При обилии аномалий (полученных геофизическими и геохимическими методами) количественные расчеты сосредоточенных в них запасов металлов и оценка надежности этих цифр прямым образом сокращают неперспективных аномалий, существенно влияя в конечном итоге на экономическую эффективность поисковых работ. В качестве характеристик поля (исходя из концепции) его статистической природе используют различные параметры и трансформанты: изрезанность графиков, горизонтальные градиенты

#### Лекция 25

#### Заключение

Геофизические методы исследований, возникшие в начале XX века (Предпосылки для создания геофизики как отдельной отрасли геологической науки были заложены в XVII-XIX вв.) и не насчитывающие еще свою столетнюю историю, доказали свою достаточно высокую эффективность при решении широкого круга геологических задач ( как поис-

ково-разведочного характера, так и при изучении глубинного строения Земли и её отдельных её слоев).

Со временем геофизические методы получили широкое распространение в различных областях науки, техники, производства и самых различных областях человеческой деятельности.

Сегодня трудно представить ту или иную сферу человеческой деятельности, где бы в той или иной мере не использовались геофизические методы и отдельные её способы, приемы, операции как при регистрации физических параметров всех известных к настоящему физических полей, так и способы обработки и истолкования получаемых данных.

Сегодня уже можно с уверенностью говорить, что геофизические методы оказались необходимыми в различных сферах человеческой жизни и нашли в них должное применение.

К таким сферам можно отнести:

- 1) .Геология (поиски и разведка полезных ископаемых ) практически *всех её видов*,
- 2) Сейсмология (прогноз землетрясений),
- 3) .Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии,
- 4) Военное дело,
- 5) Археология.
- 6) Энергетика,
- 7) Животноводство и сельское хозяйство,
- 8) Медицина

К настоящему времени большинство открытых и известных человеку месторождений было сделано с помощью геофизических методов или при их активном участии в других традиционных методах. Начиная с крупномасштабных и планомерных работ на КМА ( Курская магнитная аномалия) геофизические методы стали необходимым и наиболее прогрессивным направлением в современной геологоразведочной службе.

Велика роль геофизических работ при изучении глубинного строения Земли, выделения в ней разного рода неоднородностей и расчленяя её на отдельные составляющие (внутреннее и внешнее ядро, мантию, земную кору ) и определяя их физико-химические особенности.

Именно в результате геофизических работ геологи получили информацию, позволяющую теоретически предсказывать основные процессы и явления, происходящие в тех или иных геосферах и приводя-

щие к образованию месторождений полезных ископаемых определенного вида.

Велика роль геофизических методов в объяснении и предсказании грозных явлений природы (извержения вулканов, земле- и моретрясения, климатические катаклизмы и др.). Известны неодионочные предсказания землетрясений с высокой точностью и отнесение определенных территорий к площадям определенной балльности (микросейсмическое районирование). В сейсмологической практике нашли широкое применение мониторинги наблюдений сейсмо-, грави-, электро-, магнитных полей и их вариаций для предсказания возможных природных катаклизмов.

Особое место при изучении верхних частей Земли принадлежит инженерной геофизике, т.е. той её части, где в наибольшей степени проявляются природные, экзогенные геологические и антропогенно-техногенные процессы, геологи называют геологической средой, а геофизики – геофизической или геолого-геофизической средой (а также экзотехносферой). К малоглубинным геофизическим методам, используемым для изучения геологической среды, предъявляют специфические требования: высокая детальность изучения геологической среды на сравнительно небольших глубинах (от нескольких единиц до десятков, реже первых сотен метров) с изменяющимися в пространстве и во времени физическими свойствами, а значит, литологией, водно-физическими характеристиками, с широким проявлением природных процессов и инженерно-хозяйственной деятельности человека; использование высокопроизводительных методов и облегченных измерительных установок для ускорения, удешевления геофизических работ и возможности проведения повторных наблюдений; применение нескольких (до 3–4) геофизических методов разной физической природы для повышения точности получаемой информации; широкое использование буровых скважин и горных выработок, проходка которых несложна при небольших глубинах разведки.

Инженерная геофизика в широком смысле может быть подразделена на гидрогеологическую, почвенно-мелиоративную, инженерно-геологическую, мерзлотную, гляциологическую, а также техническую и археологическую. Геофизические методы с успехом используют для решения следующих гидрогеологических задач: гидрогеологических съемок разных масштабов; поисков и разведки грунтовых, пластовых, трещинно-карстовых и артезианских вод; изучения динамики подземных вод; выяснения условий обводнения месторождений полез-

ных ископаемых и объектов строительства или реконструкции; определения минерализации грунтовых и подземных вод; проведения гидромелиоративных и почвенно-мелиоративных исследований. Методы решения этих и других задач исследований подземной гидросферы иногда объединяют в гидрогеологическую геофизику, выделяя в ней почвенно-мелиоративное направление.

**Поиски и разведка пресных подземных вод.** С увеличением водонасыщенности горных пород увеличивается их электропроводность и скорости распространения упругих волн, меняются электрохимическая активность и поляризуемость, поэтому методы электроразведки и сейсморазведки давно используются при поисках и разведке подземных вод. Основными методами поисков и предварительной разведки месторождений пресных, пластовых и грунтовых подземных вод являются вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ, ВЭЗ-ВП) и сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ), а при изучении глубоких артезианских бассейнов – сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ) и электроразведка (ДЗ, ЗСБ). Трещиноватые обводненные зоны выявляют с помощью методов электромагнитного профилирования. Детализацию выявленных зон с трещинно-карстовыми водами осуществляют методами кругового профилирования (КЭП) и кругового вертикального зондирования (КВЗ). Сеть наблюдений зависит от масштаба съемок и сложности гидрогеофизических условий. Геолого-гидрогеологическое истолкование геофизических данных осуществляется на основе вероятностно-статистических связей между геофизическими параметрами и геофильтрационными свойствами в массиве горных пород, определяемыми по данным опытно-фильтрационных работ и геофизических исследований в скважинах.

**Изучение условий строительства инженерных сооружений.** Расчленение поверхностных и коренных отложений и изучение оснований проектируемых наземных и подземных инженерных сооружений (промышленных, гражданских, гидротехнических, транспортных и др.) проводят для оценки несущей способности и устойчивости массивов горных пород на конкретных строительных площадках. Эти работы характеризуются большой детальностью (масштаб исследований от 1 : 10 000 до 1 : 1000). Геофизические методы используют для картирования рыхлых отложений и определения глубины залегания коренных скальных пород, детального расчленения верхней части разреза, оценки физико-механических и водно-физических свойств пород в их естественном залегании, изучения трещиноватости и нарушенности массивов.

ва, определения уровня грунтовых вод и их динамики. В задачи геофизических методов входит также изучение напряженного состояния коренных пород, выявление геодинамических явлений и сейсмичности (карст, суффозия, оползни, обвалы, просадки и др.), представляющих опасность для будущего строительства, проведение мониторинга за работой ответственных сооружений и изучение их влияния на геологическую среду. Для этого применяют комплекс методов, состав которого в значительной степени аналогичен используемому на ключевых участках, но ведущими в комплексе являются сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ), а также электромагнитные зондирования (ВЭЗ, В'ЭЗ-ВП или ЗСБ), которые дополняются, по возможности, микромагнитной, эманационной, гамма-съемками. Применяют также сейсмоакустическое и электромагнитное межскважинные просвечивания. Изучение физико-геологических явлений и процессов. Из всех физико-геологических явлений и процессов геофизические методы чаще всего используют при изучении карста и оползней. Карст (наличие пустот и трещин в растворимых породах) активно изучается геофизическими методами, так как растворимые породы (карбонаты, соли) отличаются по физическим свойствам от нерастворимых (глины, песок, изверженные) горных пород. Методика геофизических работ и состав методов определяются особенностями закарстованной территории. Например, при изучении поверхностных карстовых форм (воронок, впадин, понор), заполненных глинистым материалом и перекрытых рыхлыми отложениями небольшой мощности, используются методы электроразведки (ВЭЗ или ЕП, ЭП); можно применять тепловую съемку, высокоточную гравиразведку. Изучение глубинных карстовых форм представляет собой сложную задачу. В этом случае, наряду с методами электроразведки (ВЭЗ, ЭП), можно использовать сейсморазведку (МПВ), гравиразведку, ядерно-физические и скважинные методы. Для детального изучения зон закарстованности используются круговые установки зондирования и профилирования. По ориентировке большой оси диаграмм КС можно определить направление трещиноватости, а по величине отношения больших осей диаграмм к малым – оценить ее интенсивность. Предпосылки применения геофизических методов при изучении оползней заключаются в дифференциации физических свойств залегающих на склонах коренных пород и оползневых накоплений. В теле оползня появляются дополнительные границы, связанные с поверхностью фильтрационного потока

За последние годы сформировались два новых направления инженерной геофизики: **археологическая и техническая геофизика**, которые предназначены для выявления в верхней части геологического разреза (ВЧР) искусственных древних и современных сооружений, погруженных в землю, как правило, на небольшую глубину. Культурный слой – это, с одной стороны, исторически сложившаяся система многовековых напластований, образовавшихся в ходе жизнедеятельности древних людей, а с другой стороны, это могут быть современные антропогенные и техногенные осадки, появившиеся как результат накопления отходов производства при эксплуатации промышленных объектов и перепланировки местности при строительстве. Мощность культурного слоя может составлять от первых десятков сантиметров до 10–15 м.

**Археологическая геофизика.** Археологическая геофизика изучает скрытые под поверхностью земли объекты историко-культурного наследия:

- археологические объекты и комплексы, содержащиеся внутри культурных напластований, например гончарные и металлургические печи;
- археологические памятники и комплексы, утратившие внешние отличительные признаки; грунтовые могильники или фундаменты несохранившихся архитектурных сооружений;
- древние гидросооружения в виде заполненных грунтом каналов или подземных тоннелей и каналов, а также объекты, затонувшие на дне рек, озер, болот и морей;
- умышленно спрятанные объекты-склады и другие сокрытия.

Геофизические методы исследований являются неразрушающими, что позволяет создавать кадастры археологических памятников и карты охранных историко-археологических зон без вскрытия. Следует иметь в виду, что тотальные археологические раскопки приводят, как правило, к полному разрушению археологического памятника, поэтому сочетание результатов геофизических исследований с раскопками небольшой его части позволяет законсервировать культурный слой на большей территории для будущих более совершенных методов исследований. Элементарные расчеты показывают, что даже комплексные, дальнейшие, многогодные геофизические исследования являются во много раз более дешевыми, чем археологические раскопки. Актуальность проведения геофизической разведки особенно возрастает

при экстренных исследованиях большой территории перед застройкой или в процессе строительства. Основными методами археологической геофизики являются магниторазведка, электроразведка, георадар, гравиразведка, сейсморазведка и ядерно-физические методы. Хорошо зарекомендовали себя в археологии каппаметрия (изучение магнитных свойств верхнего слоя грунта) и металлоискатели – приборы, аналогичные армейским миноискателям.

**Экологическая геофизика.** Главная особенность экогеологии и экогеофизики состоит в организации мониторинга, т. е. слежения за изменением состояния геологической среды с целью определения места и времени как быстрых (катастрофических), так и медленных (эволюционных) отклонений от нормального устойчивого состояния. Эти отклонения сказываются на функционировании природно-техногенных (технических) систем (ПТС), таких, например, как крупные электростанции, отдельные природно-техногенно социальные объекты (ПТСО), хранилища ядерных отходов, и особенно природно-техногенных процессов (ППП). К последним относятся естественные и искусственно вызванные землетрясения, горные удары, оползни, сели, взрывы и т. п. . Биосфера состоит из естественной природной среды, занимая часть атмосферы, гидросферы, литосферы. Деятельность людей, находящихся в биосфере, создает искусственную антропогенно-техногенную среду, называемую социосферой. Она, в свою очередь, состоит из техносферы, включающей искусственно созданные объекты инженерно-хозяйственной деятельности людей (агломерации, сельхозугодья, а также водохозяйственные, транспортные, энергетические, промышленные и другие сооружения), и ноосферы, связанной с преобразующей ролью человеческой цивилизации. Влияние техносферы на природную среду и биосферу настолько велико, что можно говорить о биотехносфере как окружающей среде обитания человека и биоты.

В связи с возрастающими темпами роста населения Земли, интенсивным использованием природных ресурсов и загрязненностью природной среды человечество вступило в противоречие с ней. Судьба цивилизации окажется под угрозой, если не будет преодолено нарушение естественного экологического равновесия.

**Геофизические методы** нашли должное применение в военной сфере, прежде всего в тех родах войск, которые имеют дело с ядерным оружием, а также различными установками, где в качестве горючего используется радиоактивное топливо ( ядерные реакторы, силовые уста-

новки и пр.). Особая роль этих методов достигается при анализе местности, подвергнутой ядерным бомбардировкам и ракетным поражениям, а также возможным авариям и катастрофам, произошедшим на различных ядерных объектах, в т.ч. и на атомных электростанциях.

Особая роль в военном деле принадлежит, так называемому геофизическому оружию - оружию небывалой разрушительной силы. *Под геофизическим оружием понимается оружие, поражающее действие которого основано на использовании в военных целях природных явлений и процессов, вызываемых искусственным путем.*

В зависимости от среды, в которой происходят эти процессы, оно подразделяется на **атмосферное, литосферное, гидросферное, биосферное и озонное**. Средства, с помощью которых стимулируются геофизические факторы, могут быть различными, но энергия, затрачиваемая этими средствами, всегда значительно меньше энергии, выделяемой силами природы в результате вызванного геофизического процесса.

**Атмосферное (погодное) оружие** - наиболее исследованный на сегодня вид геофизического оружия. *Применительно к атмосферному оружию его поражающими факторами являются различного рода атмосферные процессы и связанные с ними погодные и климатические условия, от которых может зависеть жизнь, как в отдельных регионах, так и на всей планете.*

**Литосферное оружие** основано на использовании энергии литосферы, то есть внешней сферы «твердой» Земли, включающей земную кору и верхний слой мантии. *При этом поражающее действие проявляется в виде таких катастрофических явлений, как землетрясение, извержение вулканов, перемещение геологических образований.* Источником выделяющейся при этом энергии является напряженность в тектонически опасных зонах. Проведение рядом исследователей опытов показало, что в некоторых сейсмоопасных районах Земли с помощью наземных или подземных ядерных взрывов относительно малой мощности можно инициировать землетрясения, которые могут привести к катастрофическим последствиям.

**Гидросферное оружие** основано на использовании в военных целях энергии гидросферы. Гидросфера - это прерывистая водная оболочка Земли, располагающаяся между атмосферой и твердой земной корой (литосферой). Она представляет собой совокупность океанов, морей и поверхностных вод. Использование энергии гидросферы в военных целях возможно при воздействии на гидроресурсы (океаны, моря, реки, озера) и гидросооружения не только ядерных взрывов, но и крупных зарядов

обычного взрывчатого вещества. Поражающими факторами гидросферного оружия будут сильные волны и затопления.

**Биосферное оружие** (экологическое) основано на катастрофическом изменении биосферы. Биосфера охватывает часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы, которые взаимосвязаны сложными биохимическими циклами миграции веществ и энергии. В настоящее время имеются химические и биологические средства, применение которых на обширных территориях может уничтожить растительный покров, поверхностный плодородный слой почвы, запасы продовольствия и др. Искусственно вызванные эрозия почвы, гибель растительности, непоправимый ущерб флоре и фауне вследствие применения различного рода химических средств, зажигательного оружия может привести к катастрофическому изменению биосферы и, как следствие, массовому поражению людей.

**Озонное оружие** основывается на базе использования энергии ультрафиолетового излучения, испускаемого Солнцем. Экранирующий озоновый слой простирается на высоте от 10 до 50 км с максимумом концентрации на высоте 20–25 км и резким убыванием вверх и вниз. В нормальных условиях поверхности Земли достигает незначительная часть УФ-излучения с  $\lambda = 0,01—0,2$  мкм. Основная ее часть, проходя через атмосферу, поглощается озоном, рассеивается молекулами воздуха и частицами пыли. Озон – один из наиболее сильных окислителей, убивает микроорганизмы, ядовит. **Его разрушение ускоряется в присутствии ряда газообразных примесей, в особенности брома, хлора, фтора и их соединений**, которые могут быть доставлены в озоновый слой с помощью ракет, самолетов и других средств. Частичное разрушение озонового слоя над территорией противника, искусственное создание временных «окон» в защитном озоновом слое может привести к поражению населения, животного и растительного мира в запланированном районе Земного шара за счет воздействия больших доз жесткого УФ-излучения и других излучений космического происхождения.

**Отдельные геофизические методы** могут быть реализованы в сельском хозяйстве. Так было отмечено использование радионуклидов в сельском хозяйстве - при борьбе с различными видами сорняков и вредителями растений. Особое место в сельскохозяйственной практике занимают методы, ориентированные на выведение новых сортов полезных растений и животных

## Назначение геофизических методов в сельскохозяйственной сфере

Геофизический метод	Сельскохозяйственное направление	Источники
Метод сопротивления	Картирование и классификация почвенных систем	Klavchenko и др. 2002
Метод сопротивления	Визуализация разломов и трещин	Semenovskii и др. 2003
Электромагнитная индукция (ЭМИ / ЭМН), Много-частотное индукционное зондирование (EMFTS / МЧЗ)	Определение глубины типичного слоя	Sorokin и др. 1994 Sudolnik и др. 2010
ЭМИ, МЧЗ	Картирование почвенного слоя на полях границах дренажами	Kitchan и др. 1995
ЭМИ, МЧЗ	Съемка корневых систем и распределения влажности в почве	Julius и др. 1995
ЭМИ, МЧЗ	Мониторинг лизиса тяжелых веществ после воздействия удобрений	Eisenberg и Neisobar, 1998 Eisenberg и др. 2002; 2010 Woodbury и др. 2010
Георадиолокация, GPR - Георадар, МЧЗ	Локализация уровня грунтовых вод на территории	Free-end и др. 1998 Maraton и др. 2010
Георадар	Георадарная оценка плодородности почвы	Soosik и др. 1994
Георадар	Съемка биомассы корневой системы деревьев	Vulpi и др. 2001; 2003 Barton и Montagu, 2004 Konstantinovich и др. 2007; 2008
Сейсмика	Определение потенциала грунтовых вод	Sh и Chavhan, 2009
Сейсмика	Определение плотности почвы	Sh и др. 2004
Метод сопротивления, ЭМИ, МЧЗ	Локализация трещинных линий в уплотненных почвах	Ortiz et al и др. 2002 Munjalal и др. 2007
Метод сопротивления, Сейсмика	Визуализация поврежденного значающей стволов деревьев	W Nagay, 2007

Масштаб величин, получаемых геофизическими методами в сельском хозяйстве, может быть очень незначительным, порядка сантиметров, как, например, в случае исследования болезней ствола дерева (Хагрей, 2007) или визуализация развития корнеплодов под землей (Константинович и другие, 2008). Геофизические исследования почвы часто сосредотачивается для слоя - от поверхности земли до глубины 2-х метров.

Этот глубинный интервал содержит подробную информацию о профиле почвы, включая корневую систему посевов (Allred и другие, 2008).

Следует отметить, что при небольшой глубине исследований площади сельскохозяйственных геофизических исследований почв могут варьироваться достаточно широко: от экспериментальных точек измерения (10-100 квадратных метров) до фермерских полей (от 10 до сотни гектаров), а также теоретически до границ водоразделов (от 10 до 1000 квадратных километров). Что касается использования методов геофизики в сельском хозяйстве - в основном это методы, обеспечивающие небольшие глубины исследований. При этом существует много параллельных задач, которые требуют возможности проводить исследования на глубинах, превышающих 5 м, например для картирования уровня грунтовых вод и пр. на более чем одной частоте; а также аппаратуру реализующую методы сопротивлений,

В будущем для сельскохозяйственных целей должны развиваться системы, базирующиеся на нескольких геофизических методах. Эти системы могут быть непосредственно интегрированы с сельскохозяйственной техникой, что позволит оперативно принимать точные сельскохозяйственные решения.

Известно применение методов геофизики и отдельных препаратов (радионуклидов) в медицине и ветеринарии, как одно из эффективных способов борьбы с трудноизлечимыми болезнями.

**Медицинская геофизика** - это раздел экологической геофизики, предназначенный для исследования влияния естественных (природных) и искусственных (техногенных) геофизических полей на здоровье людей. Она близка к *медицинской физике*, которая может быть определена как комплекс знаний об использовании физических полей для диагностики и лечения. Корни медицинской физики и геофизики уходят в отдаленное прошлое. Еще в XVI в. известный врач Парацельс (1493 - 1541) писал: "Тому, кто изучил ветры, молнию и погоду, известно происхождение болезней". Наш великий соотечественник М.В. Ломоносов (1711 - 1765) видел причины многих заболеваний в воздействии неблагоприятных атмосферных факторов, особенно температурных. Однако фактически медицинская физика и геофизика стали формироваться в XX в., когда научно были обоснованы представления о воздействии физических полей на сложные биогеохимические процессы в организме человека. Было показано, что физические поля могут влиять на вырабатываемые организмом *биологически активные вещества* (эндогенные лекарства - интерфе-

роны, антибиотики, эндорфины и др.). При этом жизнь и здоровье людей зависят как от *естественных геофизических*, так и от накладывающихся на них *искусственных физических полей*. В том случае, если известна направленность влияния этих полей, можно применять с лечебными целями, специально создаваемые *управляемые физические поля*. Изучение *геопатогенной* (вредной) и *витагенной* (полезной) роли геофизических и физических полей является целью и основной задачей медицинской физики и геофизики.

**Магнитные бури и земные электрические токи** тоже имеют непосредственное отношение к жизни и работе человека. Его деятельность и здоровье во многом зависят от ритма и силы этих, казалось бы, чисто геофизических явлений. Исследования последнего времени показали, что человеческий организм, как и любое живое создание, не является закрытой системой. Более того, будучи порождением Вселенной, космоса, биосферы Земли, человек является частицей окружающего мира, глубоко зависимой от течения внешних процессов. И поэтому только гармония внутренних процессов организма с ритмами внешней среды, природы, космоса может быть твердой основой стабильной жизнедеятельности человеческого организма, то есть базисом его здоровья и хорошего самочувствия.

О влиянии погоды и космоса на здоровье писали великие умы человечества: Лейбниц, Гете, Ломоносов, Аккерман, Боткин, Чижевский и многие другие. В своих лекциях Г.А.Захарьин (1885) утверждал, что практически нет таких заболеваний, в возникновении которых климатические и метеорологические условия не играли бы важной роли. Сегодня уже окончательно ясно, что именно природные процессы задают нашему организму способность противостоять многочисленным экстремальным факторам. А социальная деятельность человека становится таким же мощным стрессорирующим элементом, если ее ритмы не подчиняются биосферным и космическим колебаниям, и, особенно тогда, когда осуществляется массивная длительная попытка подчинить жизнедеятельность человека, его биологические часы, искусственно придуманным социальным ритмам.

В настоящее время на первый план проблем для здоровья населения выходят именно патологические расстройства, обусловленные несоответствием наших социальных преобразований законам природы. Эти расстройства влекут за собой психические расстройства, алкоголизм, наркоманию, рост сердечнососудистой, онкологической, иммунной патологии; увеличение женской патологии, туберкулеза, венерических бо-

лезней, числа самоубийств и убийств. А одним из главных механизмов развития социопатии оказывается нарастающая под действием социальных факторов дисгармония внутри организменных процессов с изменяющимися условиями природной среды. Этот механизм и есть неадекватная реакция дезориентированного дефектным социумом организма на метеорологические, климатические, геофизические, космические флуктуации.

## **ИНФОРМАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **Литература**

#### **Основная**

1. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов: учебник для вузов. – Тверь: ООО Издательство ГЕРС», 2004. – 294 с.
2. Бродовой В.В. Комплексирование геофизических методов. Учебник для вузов. - М.: Недра . - 1991. - 330 с.
3. Комплексирование методов разведочной геофизики. Справочник геофизика (под редакцией В.В. Бродового и Никитина А.А.).- М.: Недра, 1984 – 384 с.
- 4 Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач / Под ред. В.Е. Никитского и В.В. Бродового. - М : Недра. 1987. – 472 с.
5. Тархов А.Г., Бондаренко В.М.Никитин А.А. Принципы комплексирования в разведочной геофизике М., Недра, 1977.

#### **Дополнительная**

1. Бондаренко В.М., Демура Г.В., Савенко Е.И. Общий курс разведочной геофизики. - М., Недра, 1998.
2. Бродовой В.В. Стадийность и масштабность геофизических исследований в геологоразведочном процессе. Изв. вузов. Геология и разведка №1, 1998 г.
3. Бродовой В.В. Геофизические исследования в рудных провинциях М., Недра, 1984.
4. Вахромеев Г.С. Давыденко А.Ю. Моделирование в разведочной геофизике. - М.: Недра. 1987. – 190 с.

5. Вахромеев Г.С. Основы методологии комплексирования геофизических методов при поисках рудных месторождений. -М.: Недра, 1978. – 152 с.
6. Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых. Под ред. П.В.Вишневского, Г.С.Вахромеева, И.Л.Шаманского М., Недра, 1984.
7. Геофизические методы разведки рудных месторождений. Под ред. В.В.Бродового. - М.: Недра, 1990.
8. Комплексирование геофизических методов. В.В.Бродовой, М.Недра, 1991.
9. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов: учебник для вузов. – Тверь: ООО, изд. ГЕРС, 2004. -294.
- 10.Тархов А.Г., Бондаренко В.М.Никитин А.А. Принципы комплексирования в разведочной геофизике М., Недра, 1977.
11. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследований земной коры. Кн.2: Методы прикладной и скважинной геофизики. Учебное пособие. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека. 1999. - 184 с.

### **Справочная литература и инструкции**

1. Скважинная и шахтная рудная геофизика. Справочник геофизика. В 2-х книгах. Под ред. проф. В.В. Бродового. -М.: Недра, 1989.
2. Скважинная ядерная геофизика. Справочник геофизика. Под ред. О.Л.Кузнецова и А.Л.Поляченко.- М., Недра, 1990
- 3..Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. Под ред. А.П.Соловова. М., Недра, 1990. .
4. Комплексирование методов разведочной геофизики. Справочник геофизика. Под ред. В.В.Бродового, и А.А.Никитина. М., Недра, 1984.с
5. Инструкция по геофизическим методам поисков рудных месторождений. М., Недра, 1984.

### **Научно-популярная литература**

1. Вахромеев Г. С. Введение в разведочную геофизику М., Недра, 1988. .
2. Иванов А.Г. Физика в разведке земных недр. М., Недра. 1971.
3. Сазонов В.А., Сосик Д.И. Геофизика в маркшейдерском деле. М., Недра, 1989.

4. Темко С.В., Соловьев Г.А., Милантьев В.П. Физика раскрывает тайны Земли, М., Просвещение, 1976.
5. Филиппов Е.М. Популярно о геофизике. Киев, Наукова думка, 1989.
6. Фишман В.П., Урсов А.А. Приборы смотрят сквозь землю. М., Недра, 1987.
7. Франтов Г.С., Глебовский Ю.С. Занимательная геофизика. М., Недра, 1987.
8. Франтов Г.С., Пинкевич А.А. Геофизика в археологии. Л., Недра, 1966.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Геолого-геофизическая интерпретация, комплексная обработка геофизических данных, комплексирование методов, корреляционная зависимость геофизических параметров и геологических свойств среды, совокупность методов, физическое (геофизическое) поле, глубинное строение Земли и земной коры, параметры геофизического поля, физико-геологическая модель

## СПИСОК

### встречающихся сокращений

**АКФ** - автокорреляционная функция

**АСОиИ** - автоматизированная система обработки и интерпретации

**АФМАГ** - метод Афмаг — метод электроразведки, основанный на использовании естественных переменных магнитных полей звуковых и инфразвуковых частот. В настоящее время разработана аппаратура для воздушных и наземных работ этим методом

**БД** - блок детектирования

**БД** - банк данных

**ВКФ** - взаимокорреляционная функция

**ВМП** - волновой метод проводимости

**ВП** - вызванная поляризация (метод)

**ВСП** - вертикальное сейсмическое профилирование

**ВЭЗ** - вертикальное электрическое зондирование

**ГГК** - гамма-гамма-каротаж

**ГГК-Н** - гамма-гамма-каротаж плотностной

**ГГК-С** - гамма-гамма-каротаж селективный

**ГГМ** - гамма-гамма метод

**Г<sub>г</sub>И** - геологическая информация

**Г<sub>ф</sub>И** - геофизическая информация

- Г<sub>ф</sub>Р - геофизические работы
- ДИП - дипольное индуктивное профилирование
- ДЭЗ - дипольное электрическое зондирование
- ДЭП - дипольное электрическое профилирование
- ЕП - естественного поля метод
- КМПВ - корреляционный метод преломленных волн
- КСПК - контактный способ поляризационных кривых
- КЭП - комбинированное электро- профилирование
- «МАРС» система - радионавигационная система
- ММЗ - метод микросейсмического зондирования
- МОВ - метод отраженных волн
- МПП - метод переходных процессов
- МТЛ - магнитотеллурическая лаборатория
- МТЗ - магнитотеллурическое зондирование
- МТП - магнитотеллурическое профилирование
- МК - магнитный каротаж
- МЭП - метод электродных потенциалов
- МЭД - мощность экспозиционной дозы гамма (рентгеновского) излучения
- НАМ - наведенной активности метод
- НГК - нейтронный гамма каротаж
- НК - нейтронный каротаж
- ННА - нейтрон - нейтронный анализ
- ПЭЭП - подземная модификация метода естественного электрического поля
- ПРКИ - метод подземной регистрации космического излучения (моонный метод)
- ПЭМ - пьезоэлектрический метод
- РРМ - рентгено-радиометрический метод
- СГ - скважинная геофизика
- СГ - срединного градиента метод
- СДВР - сверхдлинноволновой вариант метода радиоклип
- СКАТ - станция комплексная авиационная трехкомпонентная
- СЭП - симметричное электрическое профилирование
- ТТ - метод теллурических токов
- УЭС - удельное электрическое сопротивление
- ФГМ - физико-геологическая модель
- ЦГО - целевой геологический объект
- ЦЭС - цифровая электроразведочная станция

**ЭМН** - электромагнитное поле

**ЭРСУ** - электроразведочная станция универсальная

**ЭП** - электропрофилирование

**ЭТМ** - эманационный трековый метод

**ЯГР** - метод ядерного гамма-резонанса ( Мёссбауерский метод )

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ

**Амплитуда** - размах колебания, наибольшее отклонение колеблющегося тела (величины) от положения равновесия ( нулевого положения).

**Анализ поверхности тренда** - аппроксимация наблюдаемых данных, зависящих от двух переменных (например, от географических точек наблюдений).

**Анизотропия** – зависимость физических свойств среды от направления их измерения; характерна для слоистых горных пород и руд, у которых физические свойства наиболее сильно различаются при измерении по напластованию и перпендикулярно к нему.

**Аномалия** - отклонение от нормы, от общей закономерности.

**Априори** – Априори - (от лат. *apriori* - из предшествующего) - понятие логики и теории познания, характеризующее знание, предшествующее опыту и независимое от него;

**Апостериори** - (от лат. *aposteriori* - из последующего) - происходящее из опыта: понятие теории познания, противоположное априори.

**Астеносфера** – предполагаемый слой мантии, подстилающий литосферу. Средняя глубина залегания её кровли 100 – 200 км, под срединно-океаническими хребтами - 30 -50 км. Астеносфера характеризуется пониженными скоростями распространения упругих волн и повышенной электропроводностью.

**База данных** – 1. совокупность данных, необходимая и достаточная для решения определенной задачи обработки и/или интерпретации материалов по участку профиля или площади, приведенная к виду, удобному для использования в машинной обработке. 2. совокупность описания структуры данных, единиц измерения для количественных признаков или соглашения о кодировании качественных признаков, а также собственные данные ( например, значения признаков).

**База знаний** - набор правил для преобразования исходных или ранее преобразованных данных. База знаний – одна из основных частей экспертных систем.

**База наблюдения** - интервал профиля, в пределах которого измеряется поле.

**Банк данных** – 1. совокупность упорядоченных данных, хранимых на долговременных носителях (например, на магнитной ленте), снабженная хранимыми отдельно каталогами и описаниями, а также системой оперирования данными (поиск, сортировка, пополнение, уничтожение, слияние, выделение части и т.п.). 2 – предприятие (или его часть), располагающее вычислительной техникой, с накопителями на магнитных дисках и лентах, математическим обеспечением и опытом сбора исходных данных, их контроля и загрузки в базу данных, поддержания базы в рабочем состоянии, выборки данных по определенным поисковым признакам и типовых видов обработки этих данных.

**Территориальный банк данных** - банк данных, обслуживающий данную территорию.

**Вектор** - 1. отрезок определенной длины и направления. 2. массив, представляющий собой последовательность дискретных величин (например, последовательность дискретных выборок сигнала через эквидистантные интервалы времени).

**Влагомер шпуровой нейтронный** – прибор для определения влажности нейтрон-нейтронным методом, датчик которого (содержащий источник нейтронов), детектор и помещенный между ними экран располагаются при измерении в шпуре.

**Волновод** - слой с пониженной скоростью распространения сейсмических волн по сравнению со скоростью в покрывающем и подстилающем слое; волна распространяется вдоль тонкого слоя за счет полного внутреннего отражения от его кровли и подошвы.

**Восприимчивость** - а) магнитная - способность горных пород намагничиваться под действием внешнего магнитного поля и сохранять данное состояние после прекращения его действия. б) электрическая - отношение электрической поляризации к величине электрического поля, определяющее степень поляризации диэлектрика.

**Выход керна** – отношение длины извлеченного керна к длине пробуренного ствола скважины.

**Гальванометр** – прибор для измерения слабых токов.

**Генерализация** – обобщение, подчинение частных явлений какому-либо общему принципу.

**Геологическая интерпретация геофизических данных** – извлечение геологической информации из геофизических материалов, установление геологической природы геофизических полей и их аномалий. Основана на закономерной связи аномальных геофизических полей с геологическими факторами.

**Геотермия** – раздел геофизики, изучающий тепловое поле Земли, её данные используются для решения ряда проблем геотектоники и магматизма, поисков и разведки полезных ископаемых.

**Геотраверс** – геолого-геофизический разрез, глубинное сечение земной коры и верхней мантии, проходящее через окраинные моря, островные дуги и глубоководные желоба на стыках континентальных и океанических литосферных плит.

**Геофизика поисково-разведочная** – прикладная наука о Земле, изучающая строение земной коры физическими методами с целью поисков и разведки полезных ископаемых, решения многообразных инженерно-геологических, горнотехнических и других задач.

**Геофизика рудная** – совокупность геофизических исследований, используемых для поисков, разведки и изучения рудных месторождений и провинций, является подотраслью поисково-разведочной геофизики.

**Геофизика скважинная** – геофизические методы исследования с целью поисков и изучения рудных тел в около- и межскважинном пространстве.

**Геофизическая аномалия** – отклонение физического поля от его нормальных значений, характерных для данной площади. Различают магнитные, гравитационные, электрические и другие аномалии. В зависимости от размеров и распространения по площади аномалии могут быть региональными и локальными. ГА обусловлены составом горных пород и условиями их залегания.

**Глубина залегания пласта** – расстояние от устья скважины до кровли пласта, измеренное вдоль ствола скважины.

**Глубина истинная (залегания пласта)** – кратчайшее расстояние (по вертикали) от устья скважины до кровли пласта.

**Глубинность (геофизического метода)** – минимальная глубина от дневной поверхности, на которой может быть надежно обнаружен геологический объект минимальных размеров с помощью определенного геофизического метода и использования для этих целей наиболее высокочувствительной аппаратуры.

**Глубинность (радиометрического метода)** – толщина слоя вещества, прилегающего к детектору излучения, увеличение которой не вызывает приращения либо уменьшения показаний регистрирующей аппаратуры в пределах статистической погрешности измерений.

**Годограф** – кривая (либо поверхность), устанавливающая зависимость между временем прихода упругой волны в данную точку приема и её удалением от источника этих волн.

**Градиент** – векторная величина, характеризующая скорость изменения физического поля по определенному направлению. Градиент можно получить расчетным путем или измерить специальными приборами – градиентометрами.

**Градиентометр** – прибор (магнитный или гравитационный) для измерения горизонтальных и вертикальных компонент градиента магнитного поля или поля силы тяжести.

**Градуирование** – определение цены деления радиометрического прибора (при линейной зависимости) или установление зависимости между показаниями прибора и параметрами изучаемого радиационного поля.

**Граф обработки** – последовательность процедур преобразования сейсмической записи в процессе её обработки.

**Группа геофизических методов** – совокупность видов геофизических исследований, использующих для решения геологических задач одну из разновидностей физического поля.

**Группа источников** – несколько (иногда более 100) источников возбуждения, срабатывающих одновременно либо с задержками; используется для ослабления регулярных волн-помех и усиления сигнала.

**Густота сети наблюдений** – число точек наблюдений, приходящихся на единицу длины профиля или на единицу изучаемой площади.

**Данные** (входные и выходные) – факты и идеи, представленные в формализованном виде, позволяющем передавать или обрабатывать их с помощью некоторого процесса (и соответствующих технических средств).

**Датчик** – первичный приемник и преобразователь сигналов (электрических, акустических, тепловых и др.)

**Детектор** – чувствительный элемент, обеспечивающий возможность измерения геофизических полей.

**Деформация** – изменение положения, объема и формы слагающих упругую среду частиц в результате приложенных к ней сил (напряжений).

**Диаметр (номинальный) скважины** - диаметр, соответствующий диаметру долота или коронки.

**Диапазон измерений** - область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений.

**Диапазон измерений динамический** - соотношение между максимальными и минимальными амплитудами сигналов, воспринимаемых, регистрируемых, воспроизводимых аппаратурой, выражаемое в децибелах.

**Диполь** - система двух разноименных равных по величине зарядов (электрических или магнитных), находящихся в непосредственной близости друг от друга.

**Дискретизация** - преобразование непрерывно изменяющегося аналогового сигнала в последовательность мгновенных его значений через равные либо неравные интервалы времени или расстояния (шаг квантования, или шаг дискретизации).

**Дисперсия** - рассеяние, дробление.

**Дисперсионный факторный анализ** - факторный анализ оперирующий факторами, подразделяемыми на качественные категории.

**Доза излучения** - величина, характеризующая степень воздействия излучения на вещество.

**Документ** - 1. материальный носитель информации, зафиксированный вне памяти человека или ЭВМ; он может подвергаться процессам записи (преобразования), хранения, передачи, получения, сбора, поиска и чтения с целью обращения к информационной системе. -2. форма, в которой, по меньшей мере, часть признаков получила конкретные значения.

**Забой скважины** - нижняя часть скважины.

**Задача разведочной геофизики** - 1. (обратная) - определение по наблюдаемым геофизическим полям расположения возмущающих объектов, их геометрических и физических параметров. 2. (прямая) - определение аномалий (их величины и формы) от объектов заданной морфологии, положения и физических свойств.

**Зонд электрического каротажа** - скважинная установка для регистрации кривых кажущегося сопротивления (КС) и самопроизвольной поляризации (ПС).

**Зондирование** - исследование строения среды геофизическими методами в отдельных точках либо на отдельных профилях.

**Изотропность** - идентичность физических свойств в любых направлениях. Под воздействием определенных факторов (температуры, дав-

ления и др.) отдельные изотропные вещества становятся анизотропными.

**Инклинометрия** - определение искривления ствола скважины инклинометрами.

**Импеданс** - ( электрический) – комплексное сопротивление переменному току. аналогичное активному сопротивлению постоянному току. Характеризуется модулем  $Z$  и фазовым углом  $\Theta$ , зависящими от активного сопротивления  $R$ , реактивного индуктивного сопротивления  $\omega L$ , реактивного емкостного сопротивления  $1/\omega C$  и круговой частоты  $\omega$  переменного тока.

**Интенсивность (излучения)** – величина, пропорциональная числу частиц или гамма-квантов, испускаемых в единицу времени источником излучения либо регистрируемых в единицу времени в данной точке пространства.

**Интерпретация** -- геологическое истолкование результатов геофизических исследований.

**Информация** - одно из основных понятий кибернетики, означающее совокупность каких-либо сведений, данных и т.п. Понятие информация раскрывается указанием действий, в которых она участвует: передача, преобразование и хранение.

**Интерполяция** – нахождение по ряду замеренных величин их промежуточных значений.

**Интерпретация** -- геологическое истолкование результатов геофизических исследований.

**Информатика** – область знания, исследуемая принципы и методы оптимального сбора, хранения, поиска и обработки информации.

**Кабель** – специальный многожильный провод, предназначенный для изготовления многоэлектродных зондов электрического каротажа.

**Каверна** - 1. увеличение диаметра буровой скважины (преимущественно в глинистых породах). 2. пустоты, образованные процессами выщелачивания скелета горной породы.

**Кавернометрия** – метод каротажа, позволяющий измерить истинный диаметр ствола скважины.

**Калибровка** – снятие характеристик измерительного и регистрирующего тракта с помощью подачи на его вход сигналов заданной формы и амплитуды (для точного масштабирования измерений).

**Каротаж** – совокупность дистанционных методов изучения в стволе скважины физических свойств и химического состава горных пород.

**Карта графиков геофизических параметров** – топографическая либо геологическая карта, на которой изображены геофизические профили и графики изменения изучаемого геофизического параметра по этим профилям.

**Каталог** – совокупность фрагментов данных и упорядоченное по каким-либо поисковым признакам их описание для обеспечения доступа к каждому фрагменту.

**Квантование** - разбиение диапазона значений переменной на конкретное число (обычно равных) не перекрывающихся между собой интервалов (например, длительности сейсмического сигнала на отрезки времени в несколько тысячных долей секунды).

**Керн** - образец горной породы, отобранный в процессе бурения скважины.

**Классификация физико-геологических моделей** – распределение моделей по классам объектов исследований с отражением их размерности, стадии изучения, основных геологических и геофизических характеристик.

**Кодирование** – 1. запись алгоритма программы на языке программирования. 2. перевод аналоговой информации в цифровую форму. 3. кодирование графической информации.

**Коллектор** – горная порода с высокой пористостью и проницаемостью, содержащая извлекаемые количества полезного компонента (например, нефти и газа)

**Коллиматор** – устройство, обеспечивающее формирование направленных пучков излучения.

**Компаратор** – устройство, сравнивающее два сигнала и показывающее результат сравнения.

**Комплексирование** - совместное применение нескольких методов для решения определенной геологической задачи.

**Корреляция** - геологическая увязка отдельных слоев, горизонтов и других элементов разреза между выработками и скважинами.

**Коррелированность** - 1. статистическая зависимость данного отчета какой-либо последовательности от значений предыдущих отсчетов. 2. статистическая взаимосвязь, мера сходства процессов или последовательностей (например, сейсмических трасс).

**Линия связи** - 1. составная часть канала связи. 2. физическая среда, по которой передаются сигналы информации.

**Листинг** - 1. распечатка транслятором содержания текста программы. 2. печать на АЦПУ входных и/или выходных данных программы.

**Магнитная аномалия** – отклонения напряженности (магнитной индукции) магнитного поля от нормальных для данной местности его значений. Причина м.а. – изменение состава горных пород и условий их залегания. Создаются они неодинаково намагниченными породами, залегающими на разной глубине от поверхности Земли (до глубины нескольких километров).

**Магнитограмма** – совокупность сейсмических трасс, записанных в аналоговой форме на магнитную ленту и сгруппированных по тому или иному признаку.

**Магнитострикция** – изменение формы и размеров тела при намагничивании, характерное для ферромагнитных веществ.

**Магнитосфера** – область околоземного пространства, включая верхние слои атмосферы, в которой геомагнитное поле преобладает над магнитным полем других источников.

**Массив** – совокупность однотипных по структуре и способу использования записей, относящихся к определенному этапу управленческих работ, рассматриваемая как единое целое.

**Мера** – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

**Моделирование** – способ решения прямых и обратных задач геофизики на моделях, имитирующих натуральные объекты.

**Модель** – упрощенный образ реального объекта или явления с управляемыми исследователем параметрами.

**Модуляция** – процесс, в результате которого некоторые характеристики одного сигнала (несущего) изменяются в соответствии с характеристиками другого сигнала (информационного).

**Напряженность геофизического поля** – сила, действующая на единичный заряд в электрическом поле, на единичную магнитную массу (полюс) в магнитном поле, на единичную массу в гравитационном поле.

**Невязка** – погрешность, характеризующая несовпадение времени или глубин при прослеживании горизонта по замкнутому контуру либо в точках пересечения профилей.

**Номограмма** – графическое изображение функциональной зависимости между несколькими переменными величинами в заданной области их изменения; каждое из значений переменных в этой области изображено точкой или линией.

**Нормирование** – перевод измеряемых величин в безразмерные путем отнесения к некоторым стандартным значениям величин, имеющих ту

же размерность (например, изменение УЭС пород в долях УЭС промывочной жидкости).

**Оптимальность** (по Парето) – любое изменение, не дающее убытков и приносящее пользу.

**Накер** – один из элементов испытателя пластов на трубах, предназначенный для герметического перекрытия кольцевого пространства скважины.

**Палетка** – семейство теоретически рассчитанных кривых зависимости одной величины от другой при некоторых постоянных значениях третьей величины, являющейся параметром семейства.

**Петрофизика** – наука о физических свойствах горных пород, их классификации по комплексу физических свойств, определяемых по образцам, данным каротажа, наземных и аэрогеофизических съемок, с целью изучения истории геологического развития земной коры, геологического строения регионов, поисков и разведки полезных ископаемых.

**Пласт** – 1. минимальная, коррелируемая от скважины к скважине часть разреза. 2. участок разреза, вскрытого скважиной характеризующийся той или иной локальной геофизической аномалией, коррелируемой от скважины к скважине.

*Пласт большой мощности* – это пласт мощностью более 20 м.

*Пласт малой мощности* имеет мощность менее 6 м.

**Поле** – особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между источником поля и единичным зарядом той же природы.

**Поляризация** – нарушение симметрии в распределении ориентации возмущений ( смещений и скоростей) в упругой волне относительно направления её распространения.

**Помеха** – аддитивная или мультипликативная добавка к основному сигналу, не несущая полезной информации.

**Пористость** – наличие пустот в горной породе; количественно выражается коэффициентом пористости.

**Потенциал** – работа, которую необходимо затратить против сил поля источника для перенесения единичного заряда той же природы из бесконечности в данную точку пространства.

**Преобразователь** – устройство, преобразующее одну форму энергии в другую.

**Признак** – наименование тех или иных свойств (данных). Например: «пористости», «индекса насыщения», «описания керна» и т.д.

**Принцип измерений** – совокупность физических явлений, на которых основаны данные измерения.

**Проницаемость** – способность горной породы пропускать через себя жидкости и газы.

**Профилерование** – система наблюдений вдоль линии, при которой не изменяется взаимное положение источников и приемников зондирующей установки либо изменяется положение приемников относительно источника или наоборот.

**Профиль наблюдения** – совокупность точек наблюдения на профиле, проложенном на поверхности земли, в шахте, по стволу скважины, при морских, воздушных и космических съемках.

**Ранжирование** – расположение точек наблюдений по возрастанию или убыванию значений одного из признаков.

**Региональная аномалия** – аномалия геофизического поля, имеющая большие размеры (десятки и сотни километров), вызванная глубокозалегающими геологическими объектами.

**Регистрация** – запись в символической форме на материальном носителе значений измеряемых величин с целью их документирования, накопления и хранения.

**Регрессивный факторный анализ** – факторный анализ оперирующий факторами, охарактеризованными количественно

**Рейс** – совокупность последовательных измерений на опорных и рядовых пунктах (объединенных непрерывной кривой смещения нульпункта), в результате которых могут быть получены значения силы тяжести для всех пунктов рейса.

**Сигнал** – физический процесс (или явление), несущий сообщение (информацию) о каком-то событии, состоянии объекта наблюдения либо передающей команды управления и т.д.

**Система геофизических работ** – комплекс взаимодействующих геофизических методов и видов работ, применяемых для эффективного решения геологических задач, варьирующий в зависимости от стадии исследований.

**Соотношение сигнал/помеха** – отношение энергии полезного сигнала к энергии шума (помех).

**Спектр** (в физике) – совокупность всех значений какой-либо физической величины, характеризующей систему или процесс.

**Структура системы** –1. относительно устойчивая система связей элементов, образующих целое, совокупность устойчивых отношений

между элементами. 2. упорядоченность или композиция элементов, составляющих систему.

**Суперпозиция** – получение результирующего эффекта от одновременного воздействия ряда факторов, равного сумме эффектов от раздельного воздействия каждого фактора. Принцип суперпозиции справедлив для систем или полей, описываемых линейными уравнениями.

**Табулирование** – результат расчета значений функции для дискретных значений аргументов или задание функции в табличном виде.

**Телеметрия** – измерение на расстоянии физических величин, характеризующих некоторый процесс.

**Томография** – метод восстановления сечения (образа, разреза) по результатам измерения физического поля в тех случаях, когда измеряемые величины являются линейными интегралами восстанавливаемого параметра.

**Тренд** – региональная составляющая поля, полученная путем аппроксимации; аналитически тренд выражает главную (в той или иной степени сглаженную) компоненту поля.

**Тренд-анализ** – совокупность математических приемов аппроксимации наблюдаемых величин для выявления основных тенденций в характере их изменения на площади или в разрезе; используется для определения общей тенденции поведения данных и при интерполяции их значений между точками наблюдений.

**Факторный анализ** – статистический метод проверки гипотез о влиянии различных факторов на изучаемую случайную величину.

**Фильтрация** – процедура, направленная на повышение отношения сигнал/помеха или разделение входной записи на определенные компоненты.

**Флуктуация** – случайные отклонения от средних значений физических величин.

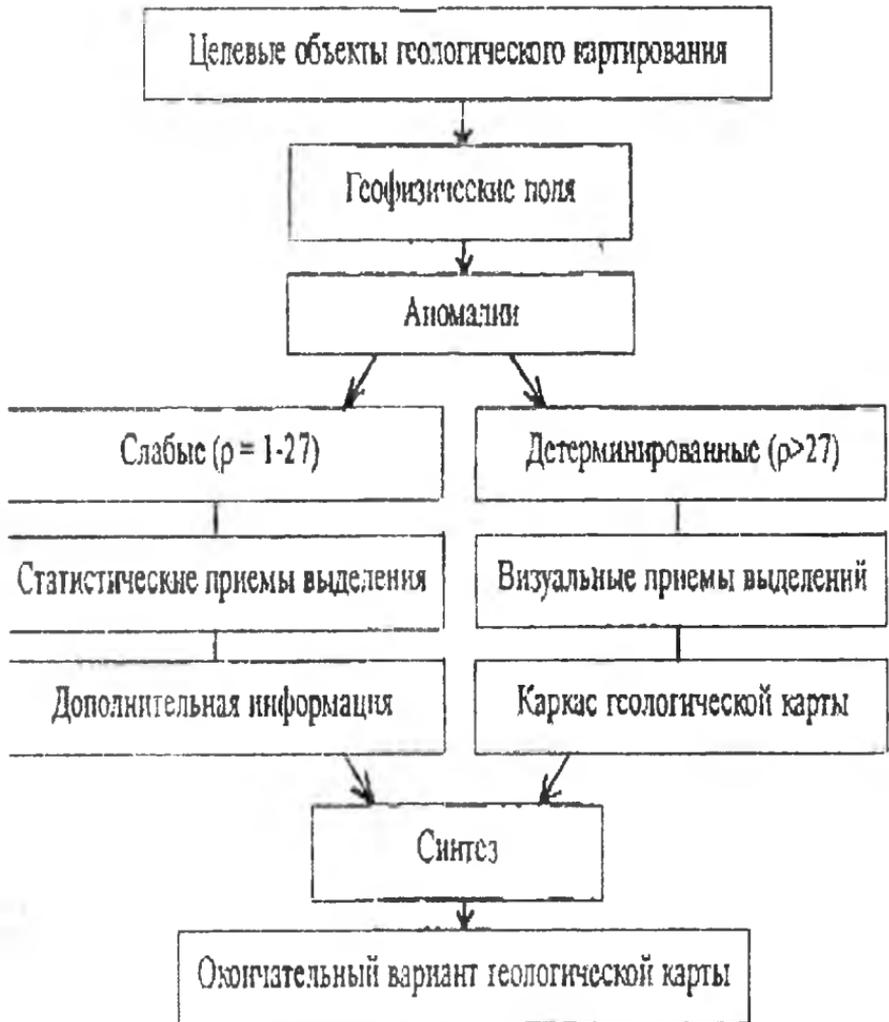
**Фон помех** – среднеквадратичный (абсолютный или относительный) уровень регулярных или случайных помех, на фоне которых регистрируются интерферирующие с ними полезные сигналы.

**Шаг квантования** – интервал времени между дискретными (мгновенными) значениями регистрируемого сигнала.

**Экстраполяция** – нахождение по ряду замеренных величин их значений, находящихся вне (за пределами) этого ряда.

**Энтропия** – мера неопределенности переданного сообщения. Если сообщение передано без информационных потерь, его энтропия равна нулю.

**БЛОК – СХЕМА ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ И  
ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**



## Содержание

Лекция 1.	Введение, общие положения науки.	3
Лекция 2.	Общие положения в практике «Комплексирования геофизических, геохимических, геологических методов».	13
Лекция 3.	Выбор рационального (оптимального) комплекса геофизических методов.	18
Лекция 4.	Особенности применения геофизических методов при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.	21
Лекция 5.	Принципы комплексирования и система геофизических исследований.	31
Лекция 6.	Роль и место моделирования в разведочной геофизике	41
Лекция 7.	Технологические комплексы геофизических методов	50
Лекция 8.	Поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых.	54
Лекция 9.	Месторождения черных металлов.	61
Лекция 10.	Месторождения цветных металлов.	64
Лекция 11.	Месторождения благородных металлов.	71
Лекция 12.	Месторождения радиоактивных элементов	80
Лекция 13.	Горно-химическое сырье	83
Лекция 14.	Горно-техническое сырье	86
Лекция 15.	Гидрогеология, инженерная геология	92
Лекция 16.	Поиски и разведка неметаллических полезных ископаемых.	101
Лекция 17.	Количественная комплексная интерпретация	103
Лекция 18.	Автоматизированные системы комплексной обработки данных	105
Лекция 19.	Комплексная обработка геофизических данных	107
Лекция 20.	Комплексная обработка при качественной интерпретации	108
Лекция 21.	Комплексная обработка при количественной интерпретации	112
Лекция 22.	Методические и математические основы геофизической и геологической интерпретации.	114
Лекция 23.	Геофизическая и геологическая интерпретация.	119
Лекция 24.	Основные принципы комплексной интерпретации геофизических и геологических данных.	122
Лекция 25.	Заключение	132
Литература		144
Ключевые слова		146
Список встречающихся сокращений		146
Список основных терминов		148

Редактор

Ахметжанова Г.М.

Корректор

Марданова Э.

Подписано к печати 28.12.2015 г. Формат 60x84 1/16.

Объем 9,3 п.л. Тираж 20 экз. Заказ № 6.