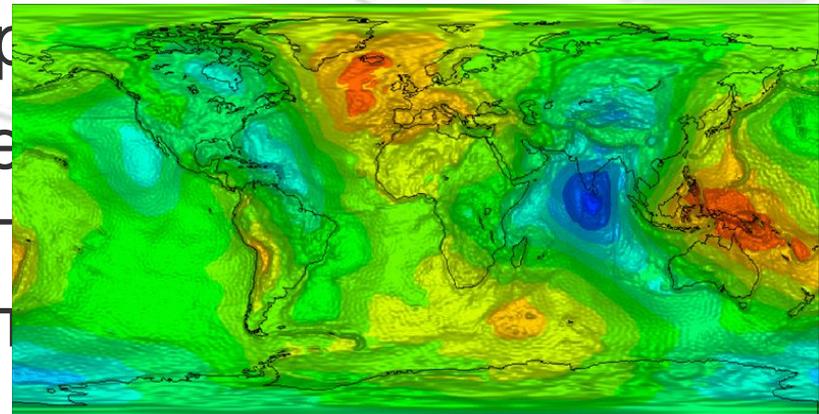


Гравиразведка



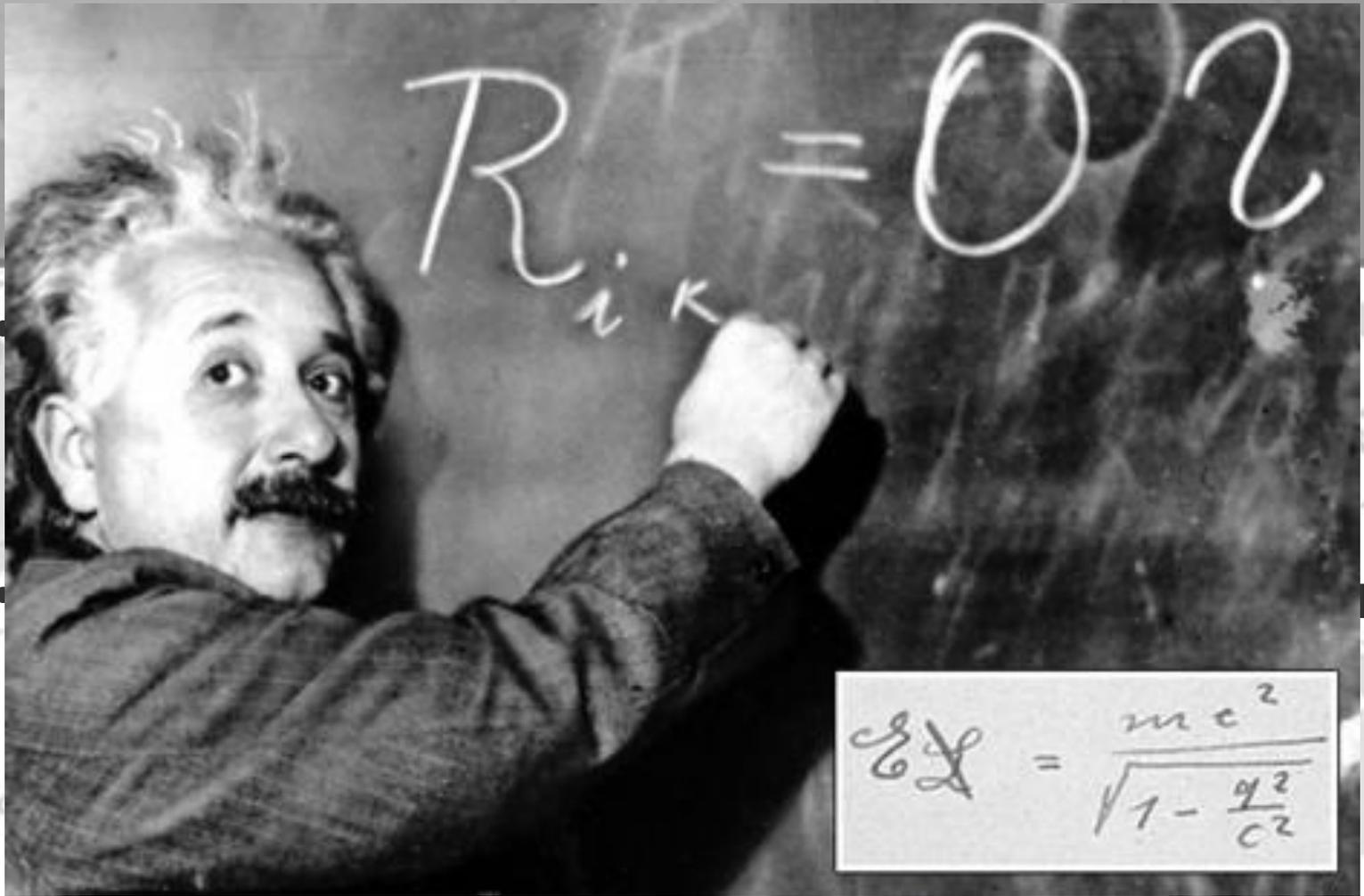
1. Гравиразведка

- **Гравиметрическая** или **гравитационная разведка** (сокращенно **гравиразведка**) – это геофизический метод исследования земной коры и разведки полезных ископаемых, основанный на изучении распределения аномалий поля силы тяжести Земли вблизи земной поверхности, акваторий и океанов.
- Гравиразведка является методом исследования геологического строения верхних частей Земли.



1. Гравиразведка

- По методу исследования (изучение гравитационного поля) гравиразведка является составной частью науки об измерении силы тяжести – **гравиметрии** (от латинского *gravitas* – тяжесть и греческого *metrew* – измеряю).
- Эффективность гравиразведки как разведочного метода обусловлена тем, что плотностные неоднородности в геологических средах находят свое отражение в гравитационном поле.



- Начало гравиметрии **Ньютона**, который в сформулировал зак тяготения.



нем **И.**

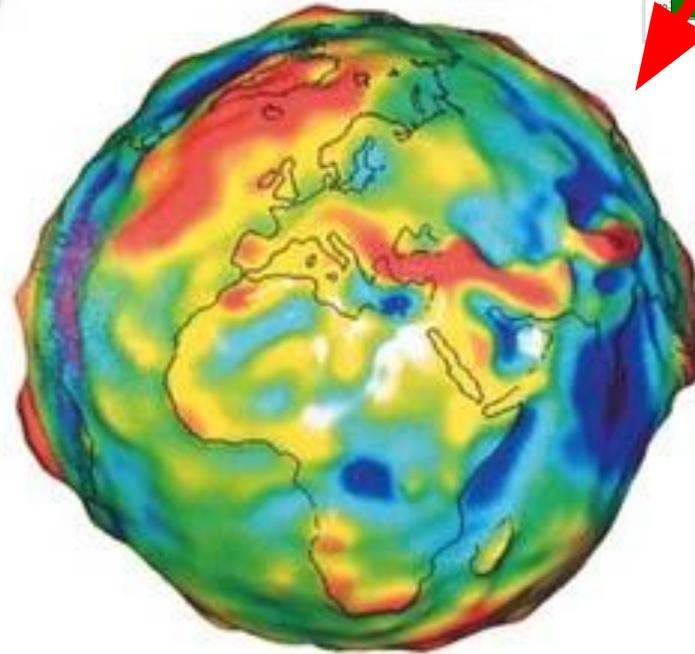
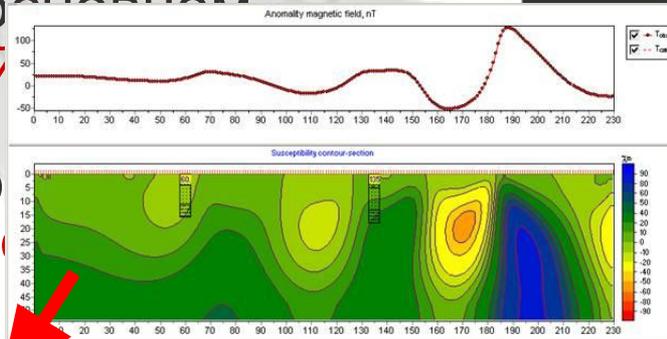
1.2. Теория гравиразведки



Поло сил тяжести
СКИМ
ИХ МА
НА Д
ЗЕМ



В ОСНОВНОМ
МЛЕЙ
ЕМЛЯ
Я, ТО
ПЯТО

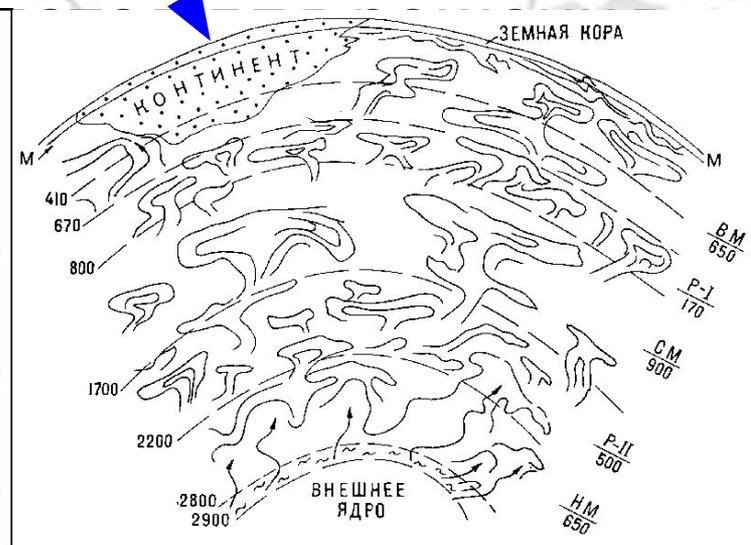
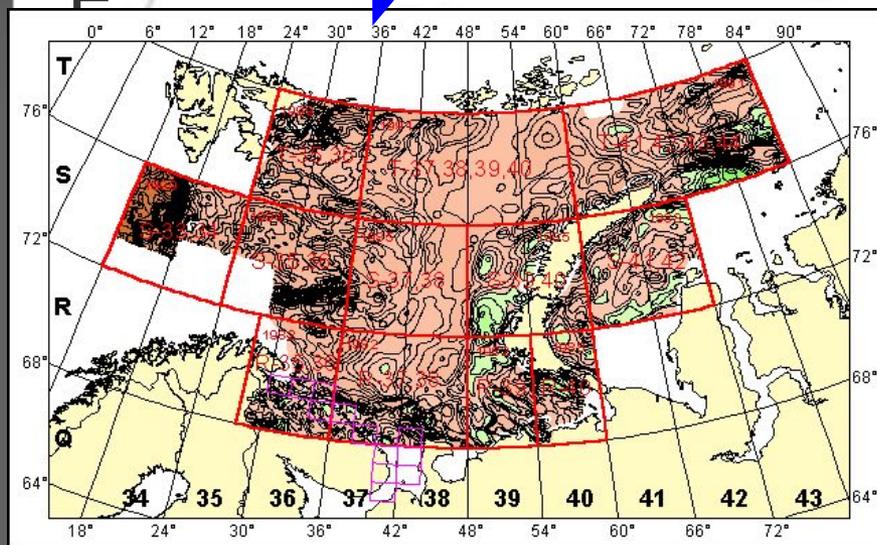


- Основными и гравитационными силами тяжести и гравитационными силами тяжести являются силы тяжести, обусловленные (нормальное неравномерность слагающих з...

х изучения.
и
ние силы
ения по
метров поля
I, от причин,
ием Земли
- от
I пород,
юле).

1.2.1. Возможности гравиразведки

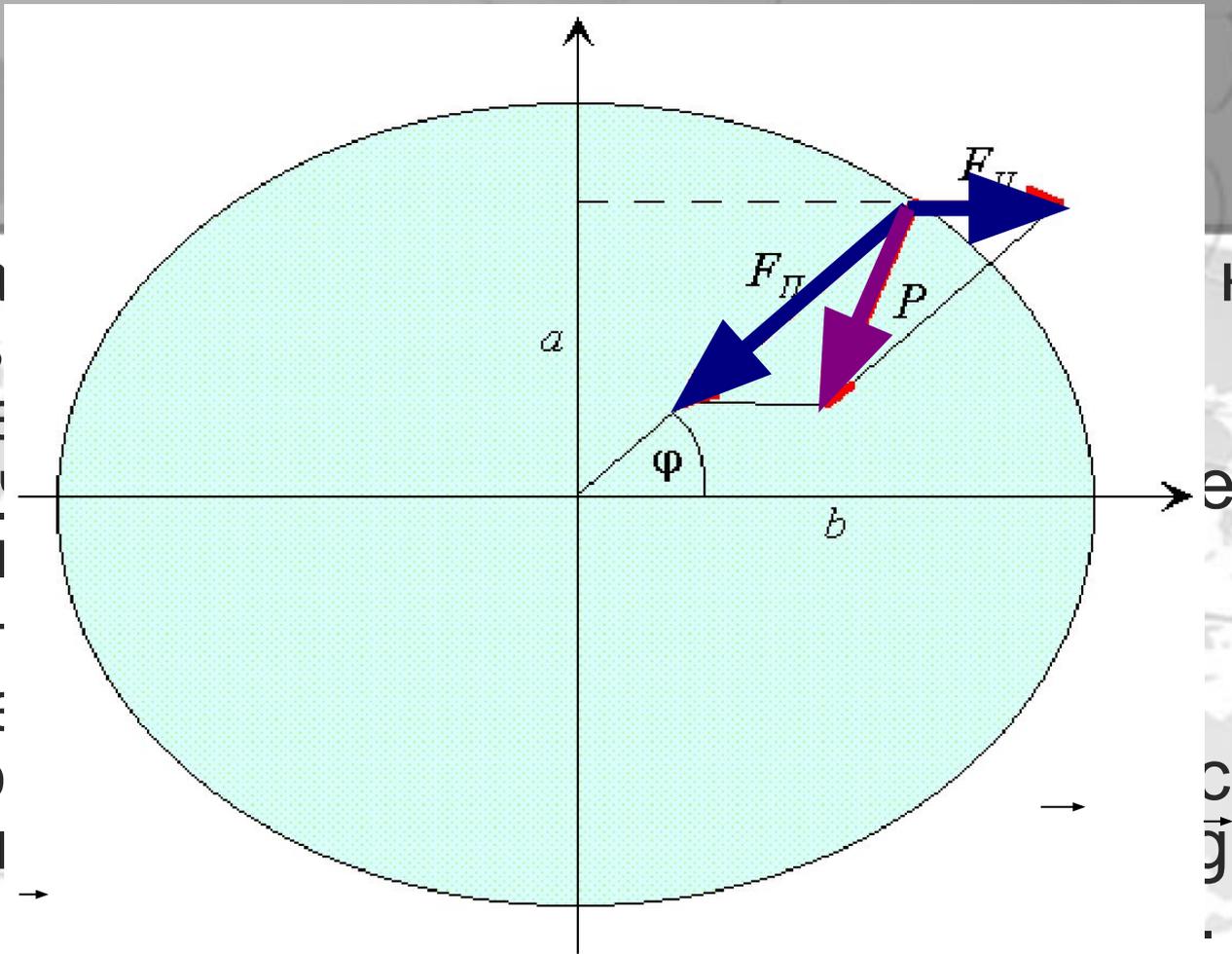
- От других методов разведочной геофизики гравиразведка отличается сравнительно большой производительностью полевых наблюдений и возможностью изучать горизонтальную (латеральную) неоднородность Земли.



- Знаков сферического тригонометрии

- Полное физическое описание где \vec{m}

- Сила \vec{P} представляет собой равнодействующую двух сил: силы притяжения \vec{F}_n и центробежной силы \vec{F}_c , то есть $\vec{P} = \vec{F}_n + \vec{F}_c$.



на

ССЫ

\vec{g} ,

.

1.2.2. Сила тяжести

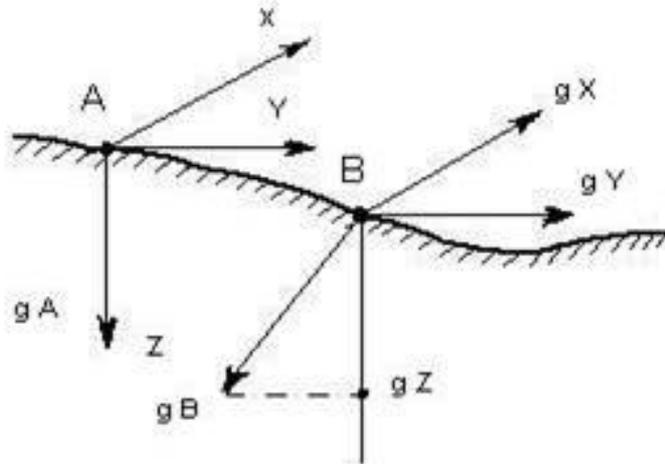
- Сила F_n определяется законом Ньютона и направлена примерно к центру Земли. Центробежная сила F_c , возникающая по причине вращения Земли, направлена перпендикулярно к оси вращения.
- **Ускорение силы тяжести** является основной измеряемой величиной и его называют сокращенно: **сила тяжести**. Сила, действующая на единичную массу, называется напряженностью поля. Из сказанного следует, что ускорение силы тяжести и напряженность гравитационного поля есть одна и та же физическая величина.

1.2.2. Сила тяжести

- Единицей ускорения в системе СИ является m/s^2 . В гравиметрии традиционно используют более мелкую единицу - Гал, равный $1\text{ см}/s^2$. В среднем на Земле $g=981$ Гал. В практике гравиразведки применяется величина в 1000 раз меньшая, получившая название миллигал (мГал).
- Ускорение есть векторная величина и имеет три компонента: x , y и z . Компоненты g_x и g_y называются горизонтальными, а g_z – вертикальной составляющими ускорения силы тяжести.

- Сила притяжения (М) определяется:

- где r - расстояние от центра Земли; G - гравитационная постоянная $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$. Сила притяжения $f = GM/r^2$ и

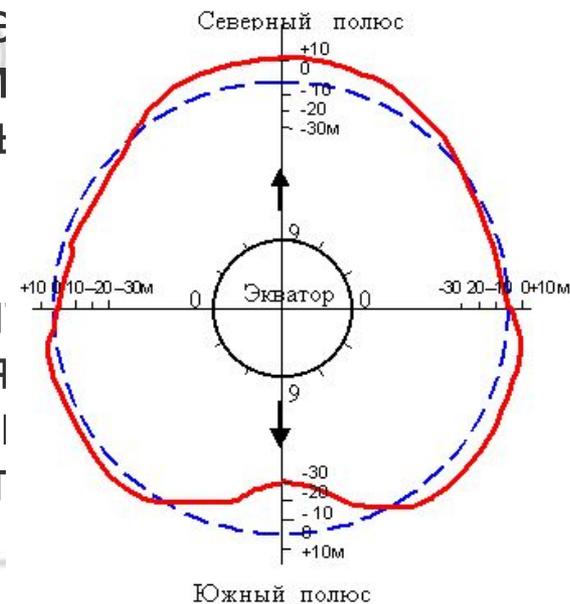
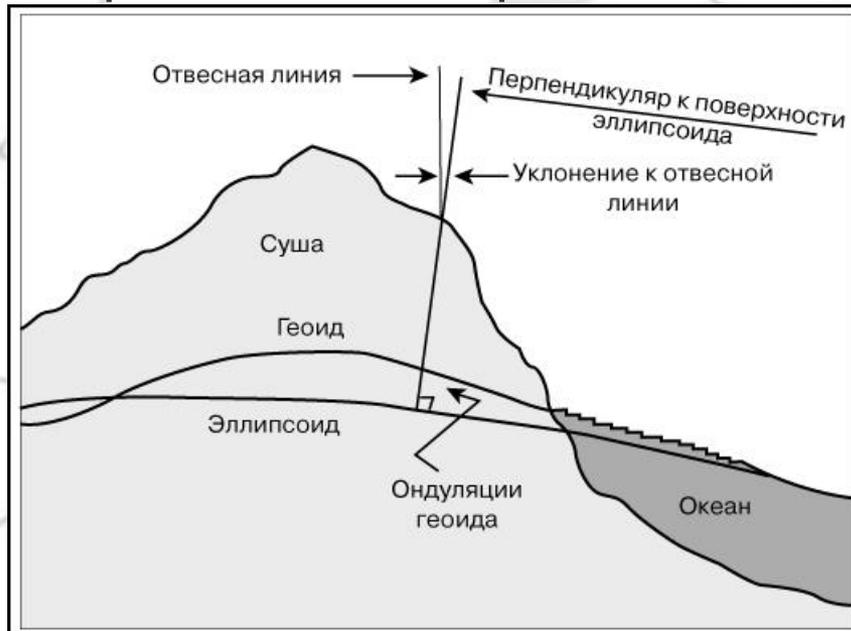


массой Земли M и радиусом Земли R по формуле Ньютона:

$f = G \frac{Mm}{R^2}$, т.е. радиус Земли $R=6370$ км ($m=1$) равна

1.2.3. Геоид

- В геологии за теоретическую поверхность Земли принята более сложная фигура, чем сфероид, названная **геоидом**.
- Геоид можно определить как одну из уровенных поверхностей потенциала силы тяжести. Поверхность геоида совпадает с поверхностью невозмущенного океана, в любой точке которого вектор силы тяжести нормален к поверхности воды.



1.2.4. Редукции и аномалии силы тяжести

Чтобы сравнить аномалию силы тяжести, нужно сравнить наблюдаемое поле с нормальным полем. Однако силу тяжести обычно наблюдают на физической поверхности Земли, а нормальное поле определено для поверхности сфероида, которая близка к уровню моря.

- Поэтому для решения этой проблемы прибегают к процедуре, которая называется **редуцированием силы тяжести**. Эта процедура включает в себя введение поправок за высоту, за притяжение промежуточным слоем и некоторых других поправок, в случае, если необходимо получить высокую точность измерений (поправки за рельеф, за лунные и солнечные приливы).

Поправка Фая

- Поправки за высоту вводят для того, чтобы **учесть разницу высот между точкой наблюдений и уровнем моря**.
- Обычно говорят, что нужно привести значения силы тяжести к их значениям на уровне моря, то есть нужно получить такие значения поля, которые бы мы имели на уровне моря.
- Данную поправку еще называют поправкой за свободный воздух, или поправкой Фая. Название «за свободный воздух» поправка получила за то, что в ней не учитывается влияние масс, расположенных между точкой наблюдений и уровнем моря, то есть точки наблюдений как бы «висят в воздухе».

Поправка Фая

Чтобы получить поправку Фая, необходимо проделать следующие расчеты. В грубом приближении (сферичность Земли) нормальные значения силы тяжести равно:

- где M – масса Земли,
- R – средний радиус Земли.

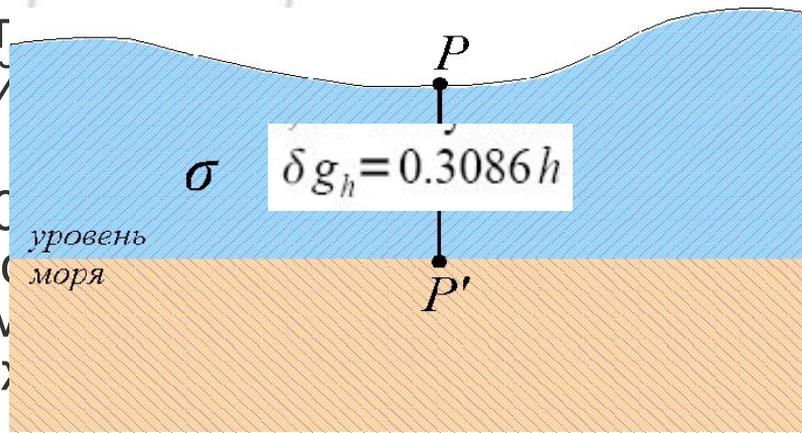
$$y = G \frac{M}{R^2}$$

- Пусть наша точка наблюдений P имеет превышение над уровнем моря в точке P' равное h . Значение поля силы тяжести в точке P будет равным:

$$y_2 = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

- Тогда поправка за высоту будет равна разности значений силы тяжести между точками P и P' .

- Если подст...

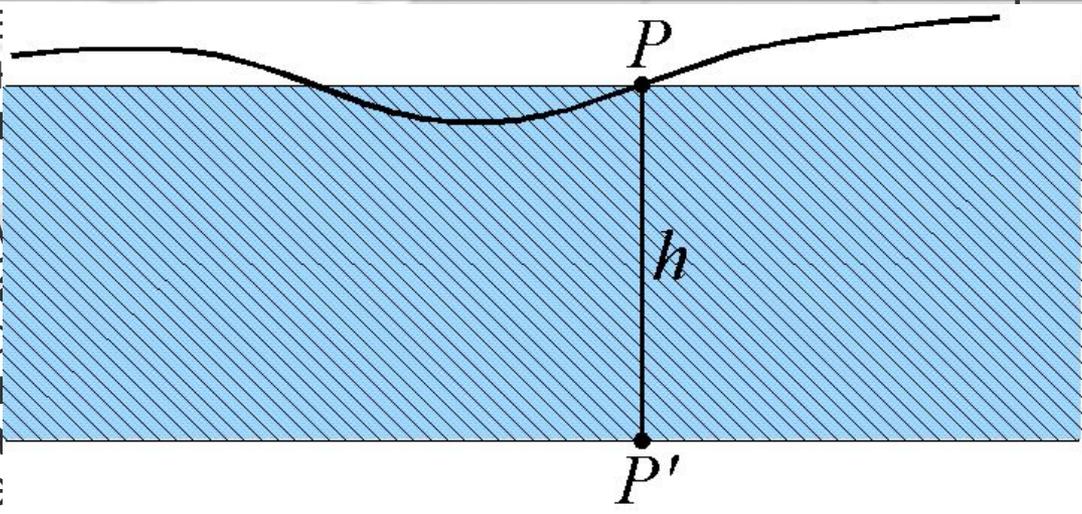


авитационной
олучим:

- Величина σ то есть по σ градиентом мГал на ка

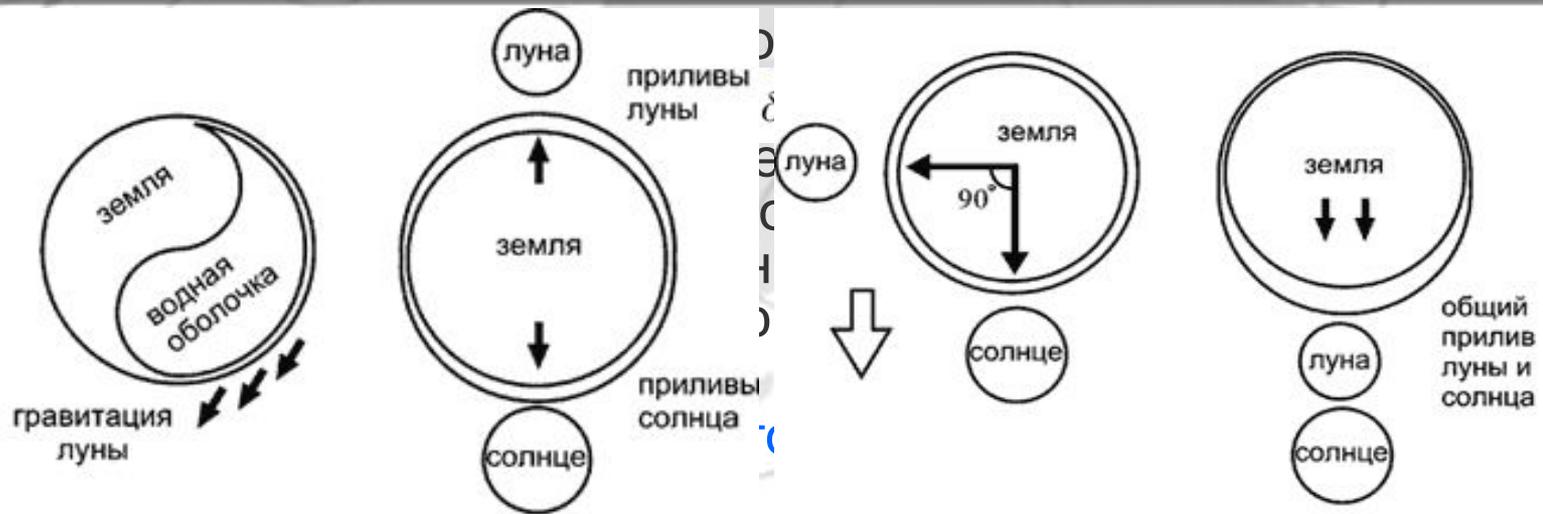
сть [мГал][м]⁻¹,
кальным
примерно на 0.3

Поправка за промежуточный слой

- Для учета рельефа поверхности и промежуточного слоя. 
- Чтобы учесть рельеф (рельеф разрешен в слое за допущением).

физической плотности промежуточный слой. Это не относится в пользу использования.
- ✓ Первое допущение заключается в том, что плотность в слое можно считать постоянной.
- ✓ Второе допущение заключается в том, что в расчетах поправки можно использовать модель горизонтального слоя, проходящего через данную точку наблюдений. Такое предположение вполне разумно, если физическая поверхность достаточно ровная, но становится недопустимым в противном случае (горные районы). Тогда вводят дополнительную поправку за рельеф.

Притяжение Луны и Солнца



- ✓ При высокоточной съемке возникает необходимость учета притяжения Луны и Солнца. Это дополнительное притяжение возникает при приливах в твердой оболочке Земли, и достигает максимальных значений в четверть метра.
- Влияние солнечно-лунного притяжения учитывают с помощью специальных графиков, полученных по астрономическим данным. Максимальное значение поправки для Луны – 0.25 мГал, для Солнца – 0.1 мГал.

1.2.5. Аномалия силы тяжести

- **Аномалией силы** тяжести называется разность между наблюдаемым (измеренным, g_n) и нормальным значениями силы тяжести:

$$\Delta g_a = g_n - \gamma_0$$

- Аномалия силы тяжести, при вычислении которой использовалась поправка Буге, называется аномалией в редукции Буге. Значения аномалий Буге вычисляют по формуле:

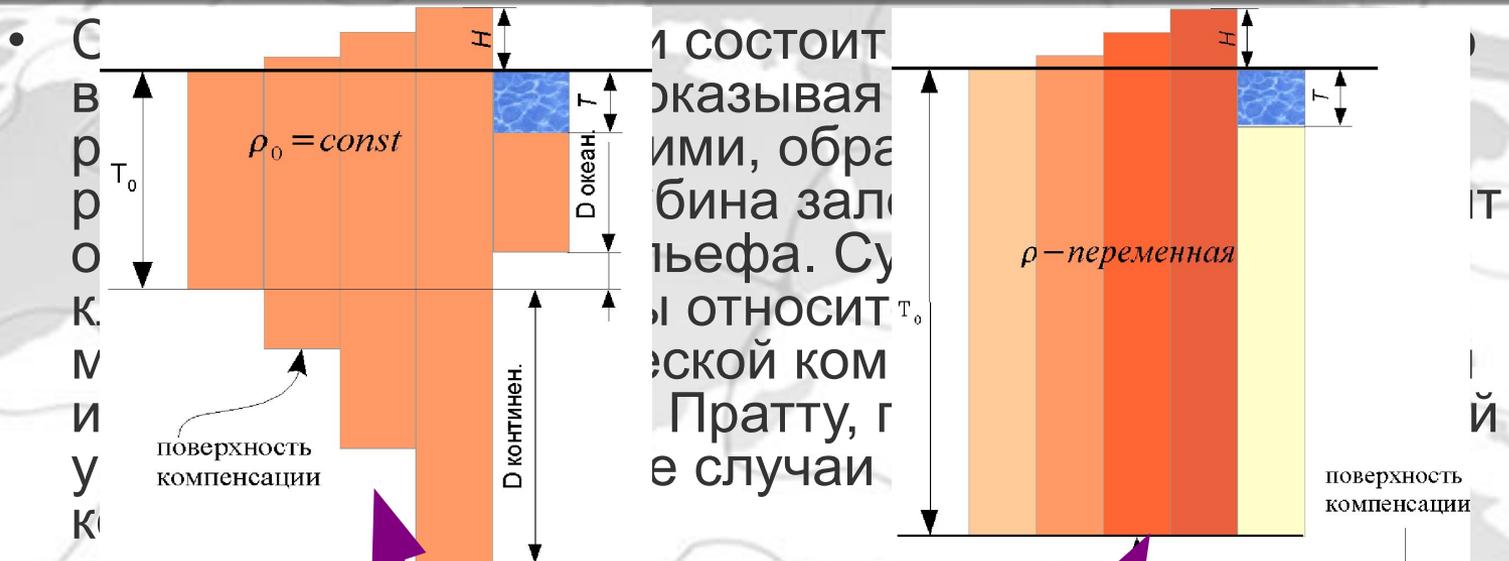
$$\Delta g_{aБ} = g_n - \gamma_0 + (0.3086 - 0.0419\sigma)h$$

- Большую роль при вычислении аномалий Буге играет правильный выбор плотности промежуточного слоя. При слишком завышенной, либо слишком заниженной плотности получается отрицательная, либо положительная корреляция поля и высотных отметок.

1.3. Изостазия и изостатические редукции

- Аномалии в редукции Буге в идеальном случае должны отражать только плотностные неоднородности в Земле. Однако анализ аномалий Буге свидетельствует об ощутимой корреляции между средними аномалиями Буге и средними значениями высотных отметок. Более того, такой зависимости не наблюдается для аномалий Фая.
- Массы, составляющие рельеф, не оказывают никакого притяжения, это связано с тем, что избытку масс над земной поверхностью соответствует недостаток масс под ними. И наоборот, для низменных областей существует избыток масс под ними.
- Наблюдение таких зависимостей привело к возникновению теории **изостазии**. Буквальный перевод этого слова – «равновесие».

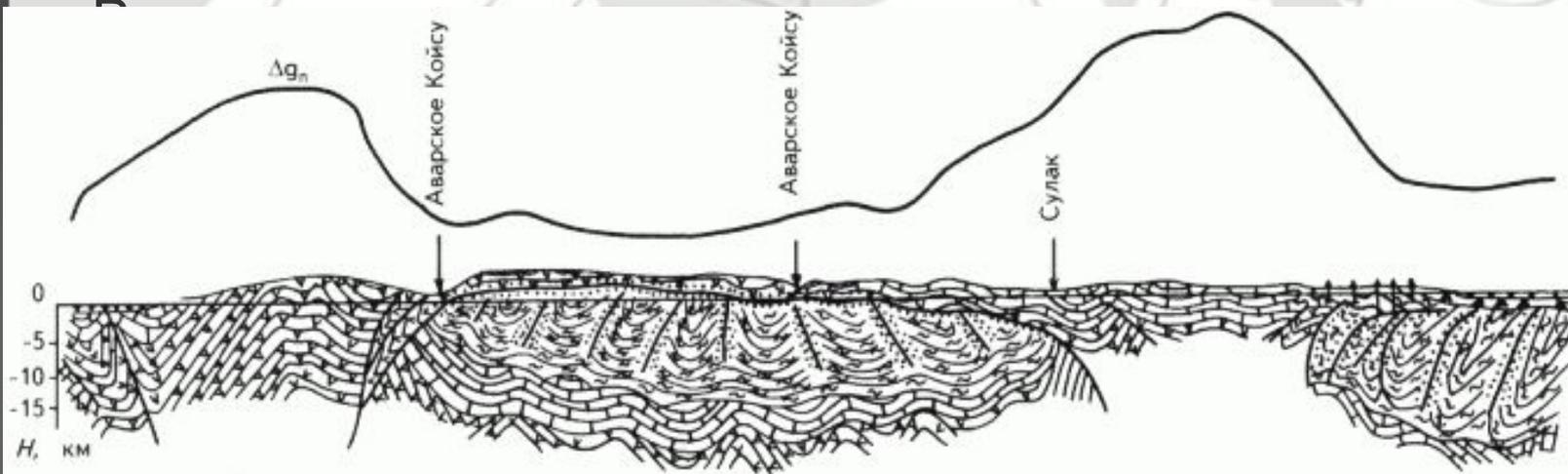
1.3. Изостазия и изостатические редукции



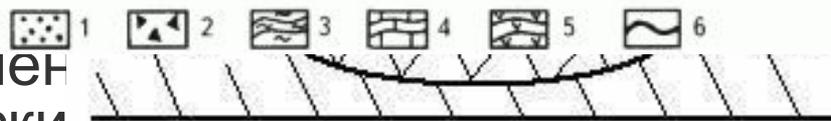
- Согласно модели по Эри, плотность блоков постоянна, но изменяется толщины земной коры, образуя «корни гор» и океанические «антикорни».
- Согласно модели по Пратту, глубина компенсации неизменна. Равновесие же достигается за счет латеральной изменчивости плотности блоков.
- ✓ Сейсмические наблюдения свидетельствуют о том, что в природе действуют оба механизма.

1.4. Плотность горных пород

- Гравитационные аномалии возникают только в том случае, если горные породы, слагающие земную кору, имеют неоднородности.



соотношен
физически
залегания:



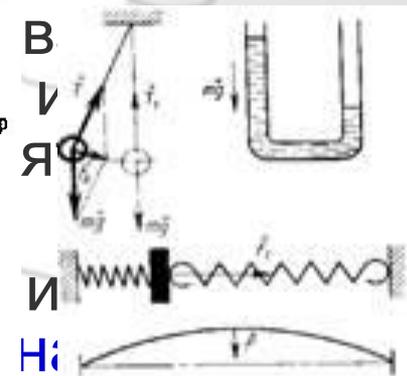
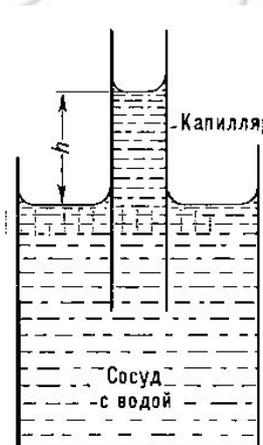
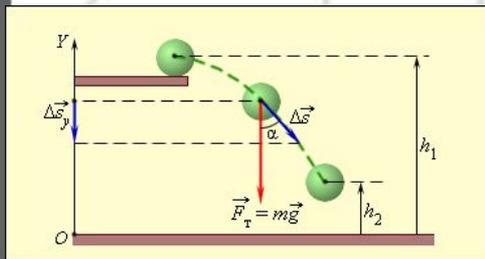
состоянием
его
плотность и т.п.

1.4. Плотность горных пород

- Плотность горной породы зависит от вещественного состава ее скелета, пористости, влажности и других факторов.
- Средняя плотность земной коры составляет 2.67 г/см^3 . В целом Земли – 5.52 г/см^3 . Как правило, плотность одних и тех же осадочных пород возрастает с увеличением глубины их залегания.
- Достоверные значения плотности можно получить только при ее измерении в условиях естественного залегания пород. Чаще всего плотность пород определяют по извлеченным на поверхность образцам. При этом нужно вводить поправки, приводящие значения плотности к тем физическим условиям, в которых залегают горные породы.

1.5. Классификация методов измерения силы тяжести

- Для измерения силы тяжести в принципе могут быть использованы самые разнообразные физические явления, связанные с действием гравитации. Например, падение тела под действием силы тяжести в воздухе или жидкости, качание маятника, поднятие жидкости в капиллярном сосуде, колебания струны или пружины, красное смещение э/м волн в гравитационном поле и т.д.

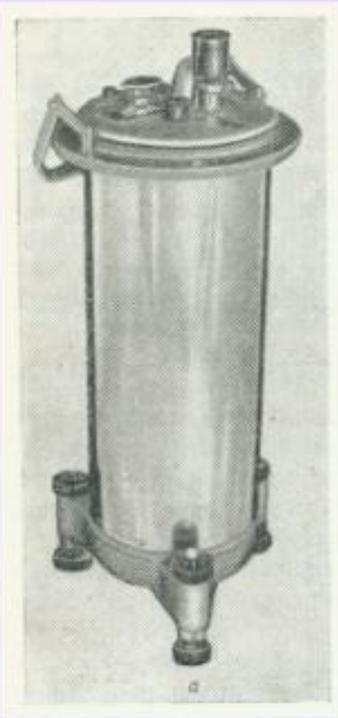


- Все существующие методы измерения силы тяжести могут быть поделены на **статические**.

1.5. Классификация методов измерения силы тяжести

- Динамические методы измерения силы тяжести основаны на наблюдении за движением тела под действием силы тяжести. При измерении силы тяжести динамическими методами используют приборы, предназначенные для относительных определений силы тяжести, называемые гравиметрами. В настоящее время статические гравиметры являются основными приборами для относительных определений силы тяжести.

Наземный гравиметр



Скважинный гравиметр



Морской гравиметр



при

и
щей
жин,

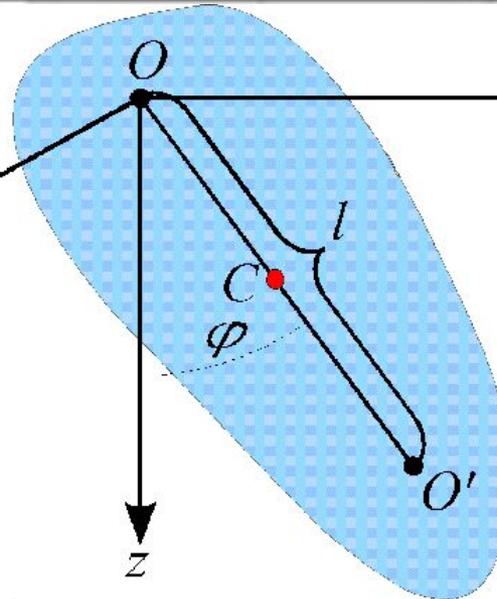
у
е

и

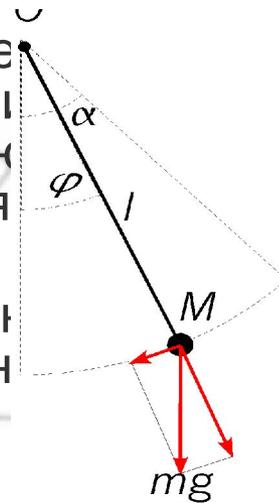
1.5. Классификация методов измерения силы тяжести

Основы маят

- Среди динамометров самым точным является маятник, долгое время доведенный к равновесию.
- **Маятник** - колебания маятника происходят с постоянной частотой, которая зависит от длины маятника и силы тяжести.
- Поскольку математический маятник является идеальной моделью, ее, как правило, используют в необходимых случаях для определения силы тяжести.
- Под физическим маятником понимают твердое тело, свободное для вращения вокруг горизонтальной оси.



сила тяжести
зависит от
длины маятника
и силы тяжести



маятник является идеальной моделью, которую можно реализовать с помощью физического маятника. Поэтому на практике пользуются физическим маятником.

маятник является идеальной моделью, которую можно реализовать с помощью физического маятника. Поэтому на практике пользуются физическим маятником.

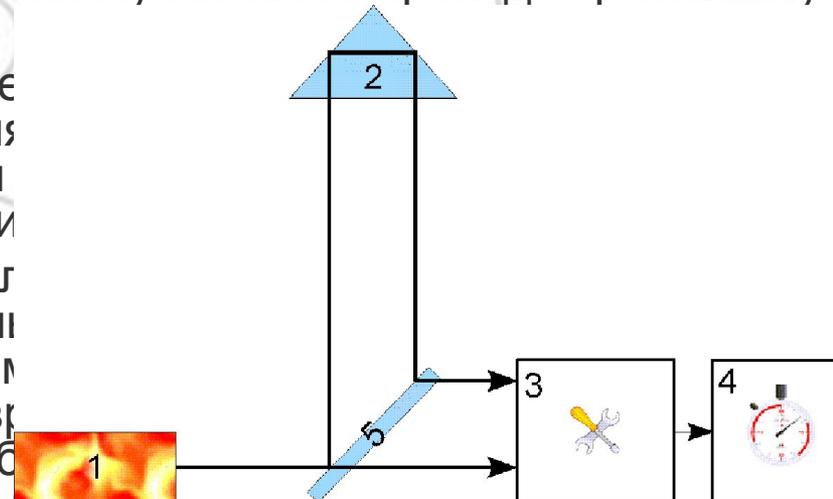
1.5. Классификация методов измерения силы тяжести

Баллистический метод

- В настоящее время измерения малых интервалов и времени падения тел достиг очень высокой точности, поэтому появилась возможность высокоточных абсолютных измерений силы тяжести способом падающего груза, или баллистическим способом. В вертикальной вакуумной камере высотой примерно 50 см в качестве падающего груза используется стеклянная призма. Путь падения призмы измеряют с помощью лазерного интерферометра, а время падения – с помощью атомных часов. Пучок когерентного света от лазера полупрозрачным стеклом разделяется на два пучка. Пучки света проходят разные пути, а затем сводятся вместе.

- В результате будет видна картина в виде чередования светлых и темных полос, ширина и частота которых зависят от скорости падающей призмы и частоты источника света и расстояния между фотоэлементами.

- ✓ Точность абсолютных измерений сегодня составляет около 1 микрогала (0.001 мкс/с²).
- ✓ В последнее время для транспортировки

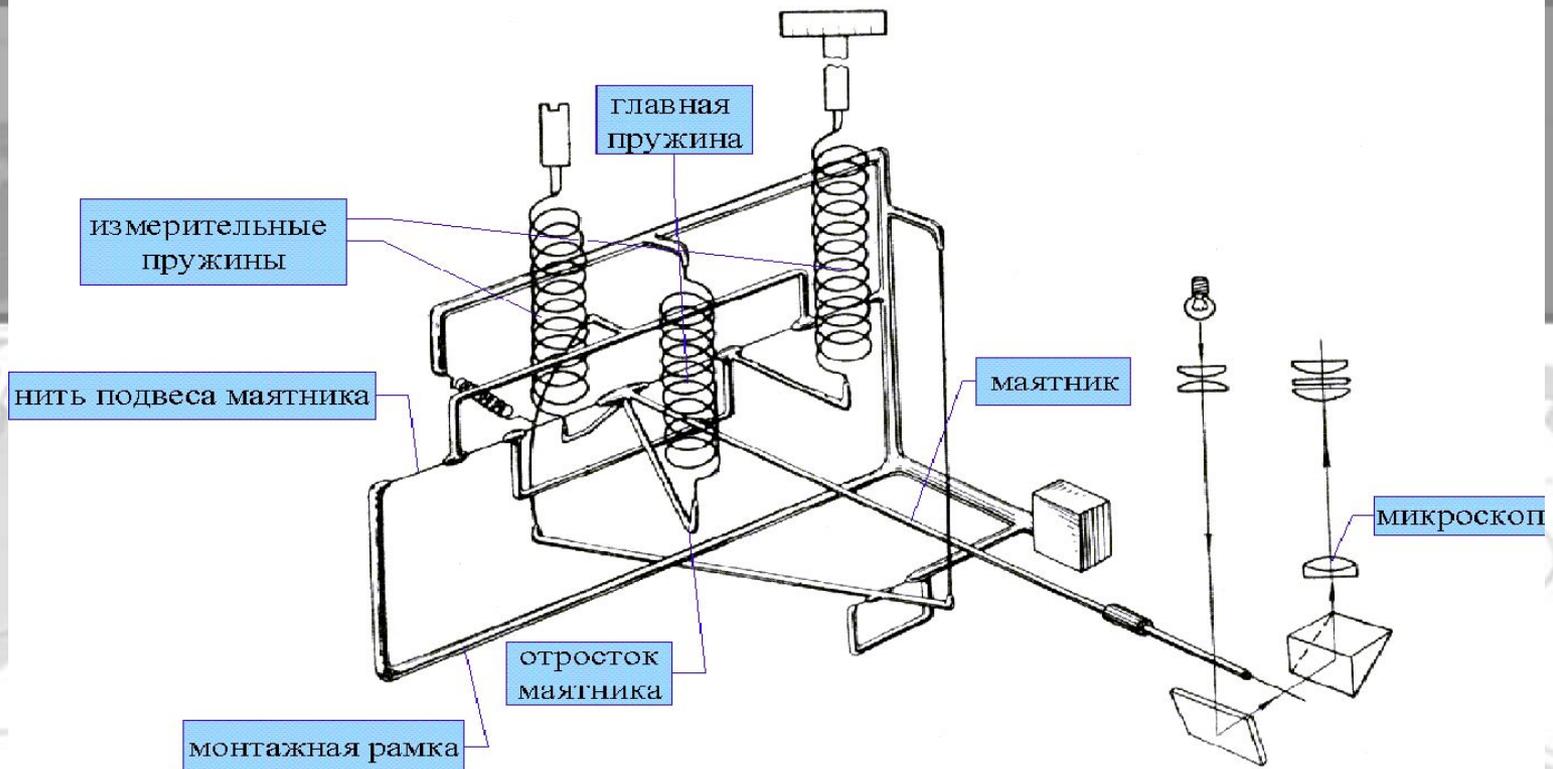


картина в виде чередования светлых и темных полос (интерференционная картина).
Частота фотоэлементов (пучков) зависит от скорости падающей призмы.
Время падения измеряется с помощью атомных часов.
Точность измерения времени около 10⁻¹¹ с.
Современные приборы

1.6. Измерение силы тяжести гравиметрами

В гравиметрах уравнивание измеряемой силы тяжести производится некоторой другой внешней силой: упругой силы пружины, упругими силами газа или жидкости, электромагнитными силами и т.п. По конструкции гравиметры чрезвычайно разнообразны и различаются по типу уравнивающей силы (пружинные гравиметры, газовые и т.п.), способу перемещения массы (вращательное, поступательное), материалу, из которого изготовлена упругая система (кварц, металл и т.д.) и некоторым другим особенностям.

- ✓ В гравиразведке в основном применяют гравиметры с пружинными чувствительными системами.
- ✓ По характеру действующих упругих сил гравиметры с такими системами подразделяют на приборы с поступательным движением грузика, прикрепленного к пружине (гравиметры первого рода) и приборы с вращательным движением рычага маятника (гравиметры второго рода).



- На тонкой нити, являющейся осью вращения, укреплен рычаг (маятник). Маятник удерживается в исходном положении силой натяжения главной (астазирующей) пружины, нижний конец которой через рычаг прикреплен к маятнику, и силой закручивания нити подвеса маятника. Вся эта чувствительная система гравиметра изготовлена из кварца.
- При изменении силы тяжести маятник прибора отклоняется от положения равновесия, растягивая главную пружину и закручивая нить подвеса до тех пор, пока момент силы тяжести не будет уравновешен моментом главной пружины и моментом закручивания нити подвеса.

Кварцевый гравиметр

- Для фиксации исходного положения маятника на нем есть индекс. Регистрация производится оптическим способом, при котором за отклонением маятника наблюдают в микроскоп с большим увеличением.

- Закручивая шпатель подвески, содержат индекс микрометра с делениями шпателя и берут по кины отсчет в

- ✓ Кварцевый гравиметр, то а находится в весия. жестки приводят к я в результате ся на достаточно большой угол.



1.6.1. Определение цены деления гравиметра

- Приращения силы тяжести вначале измеряют в делениях шкалы микрометра прибора. Затем отсчеты переводят в приращения силы тяжести в миллигалах. Для этого используют переводной коэффициент, называемый **ценой деления гравиметра**.
- Операция определения цены деления гравиметра называется эталонированием гравиметра.
- ✓ Цена деления гравиметра может быть найдена по наблюдениям на двух (или большем числе) пунктах, в которых известны значения силы тяжести, и способом наклона гравиметра.

1.6.1. Определение цены деления гравиметра

- Сущность определения цены деления первым способом заключается в следующем.
- Берут отсчеты n_1 и n_2 по счетчику измерительного устройства гравиметра в двух пунктах, для которых известно приращение силы тяжести $\Delta g = c(n_2 - n_1)$
- Цена деления шкалы (в мгал) гравиметра шкалы (мгал/дел) равна:
$$c = \frac{\Delta g}{n_2 - n_1}$$
- Цену деления способом наклона гравиметра определяют по результатам измерений на одном пункте при разных наклонах измерительной системы гравиметра.
- При определениях цены деления гравиметра способом наклона используют специальную эталонировочную наклоняющую плиту («экзаменатор») или наклоняют прибор с помощью установочных подъемных винтов.

1.6.2. Смещение нуля-пункта

- Если на одном и том же пункте наблюдений провести измерения силы тяжести в течение продолжительного времени (часа более), то отсчеты, взятые по микрометру гравиметра, будут разные. Разброс значений отсчетов может превосходить интересующие аномалии силы тяжести.
- Изменение во времени показаний гравиметра в одном и том же пункте наблюдений называется **смещением нуля-пункта гравиметра**.
- ✓ Смещение нуля-пункта гравиметра вызвано неидеальной упругостью измерительной системы: под нагрузкой упругие свойства материала изменяется во времени.
- В процессе полевых работ смещение нуля-пункта гравиметра тщательно изучают для последующего введения поправок в результаты полевых наблюдений. Графики смещению нуля-пункта обычно строят по результатам повторных наблюдений в одних и тех же пунктах в различные моменты времени в течение рабочего дня.

1.7. Классификация гравиметрических съемок

- Как правило, гравиразведка предшествует другим, более детальным методам полевой геофизики (сейсморазведка, электроразведка) и поисковому бурению. Гравиразведка сравнительно недорогой метод, и применение гравиразведки позволяет с меньшими экономическими затратами выделять наиболее перспективные участки для постановки более детальных исследований.
- Эффективность гравиразведки значительно повышается в том случае, когда она применяется в комплексе с другими геофизическими методами.

1.7. Классификация гравиметрических съемок

- В зависимости от характера геологоразведочных задач гравиметрические съемки подразделяют на **региональные, поисковые и детальные**.
- Региональные съемки выполняют для изучения общего характера гравитационного поля на обширных территориях. По этим материалам устанавливают общие закономерности гравитационного поля в пределах крупных регионов, выполняют тектоническое районирование.
- Поисковые съемки проводят на отдельных перспективных площадях, установленных по региональным работам. Цель поисковых съемок – выделение локальных структур, которые могут содержать полезные ископаемые (нефть, газ, и т.д.).
- Детальные съемки выполняют с целью изучения отдельных локальных структур.
- Данные детальной съемки могут использоваться для расчета глубины залегания и геометрии локальных структур.

1.7. Классификация гравиметрических съемок

- Гравиметрические съемки также подразделяют на площадные и профильные.
- Площадной называется съемка, в которой пункты наблюдений достаточно равномерно заполняют изучаемую территорию. Для площадной съемки строят гравиметрические карты.
- Профильная съемка выполняется по отдельным маршрутам (профилям). Результат такой съемки – графики аномалий силы тяжести.

Опорные пункты

- Гравиразведочные работы выполняют на опорных рядовых пунктах. Полевую сеть опорных пунктов создают в начале полевых работ. Полевую сеть ОП привязывают к ОП более высокого класса (первого или второго). Точность определения силы тяжести на ОП должна быть в 1.5 – 2 раза выше точности на пунктах рядовой сети. Повышенная точность достигается применением более точного гравиметра или многократными наблюдениями на одном и том же пункте одним или несколькими гравиметрами. ОП располагают в условиях наиболее ровного рельефа. Наблюдения на ОП ведут по замкнутым полигонам, то есть каждый рейс начинается и заканчивается в одном и том же пункте.

Опорные пункты

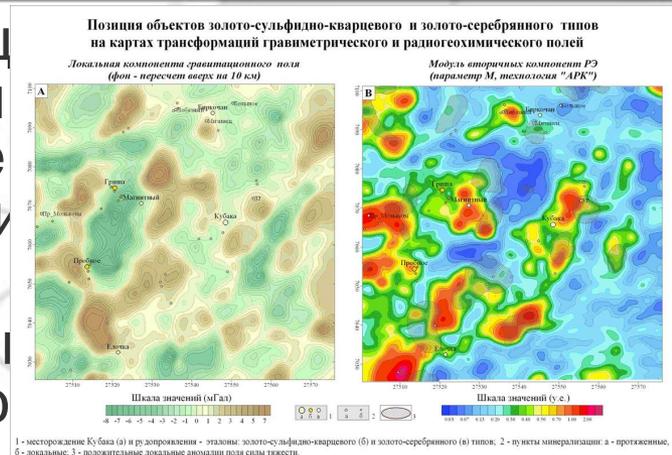
- После создания опорной сети проводят наблюдения на рядовых пунктах. Наблюдения для рядовых рейсов всегда начинаются и заканчиваются на ОП. Методики наблюдений в рядовых рейсах бывают различные. Наблюдения могут быть однократные, либо с повторением.
- При выполнении полевых работ необходимо знать географические координаты каждого пункта, а также его превышение относительно уровня моря. Эти определения составляют топографо-геодезические работы. Точность этих работ должна быть согласована с точностью измерений аномалий силы тяжести.

1.8. Интерпретация данных гравиразведки

Интерпретация в определении глубине зале установлении границами.

- Интерпретация подразделяю

- **Качественная интерпретация** заключается в анализе особенностей аномального поля. Основа метода качественной интерпретации – метод аналогий. Данные гравиразведки сравнивают с данными других геофизических методов, бурением, а также с данными гравиразведки на уже изученных территориях.
- По результатам качественной интерпретации составляют схему распределения аномалий для тектонического районирования территории.

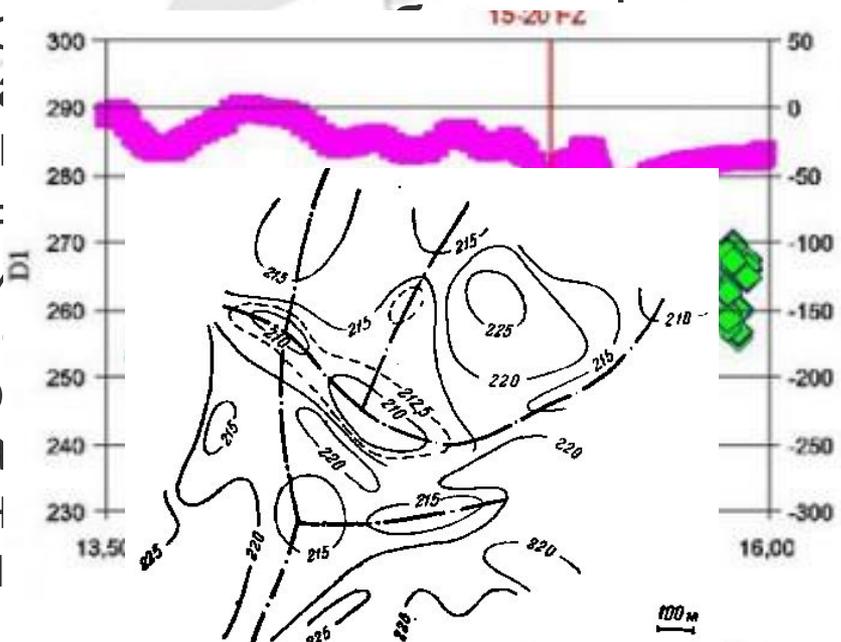


ки состоит в форме и иц и в ологических ки и численную.

1.8. Интерпретация данных гравиразведки

- Количественная интерпретация заключается в решении прямой и обратной задачи.
- Прямая задача сводится к вычислению гравитационного эффекта тел, составляющих модель. Для этого должны быть заданы форма, размеры, глубина залегания, плотность тел.
- Обратная задача сводится к определению

- параметры глубины залегания аномалия
- ✓ Прямая задача решения и гравиразведки устойчиво обратные задачи, за исключением единственной неустойчивой



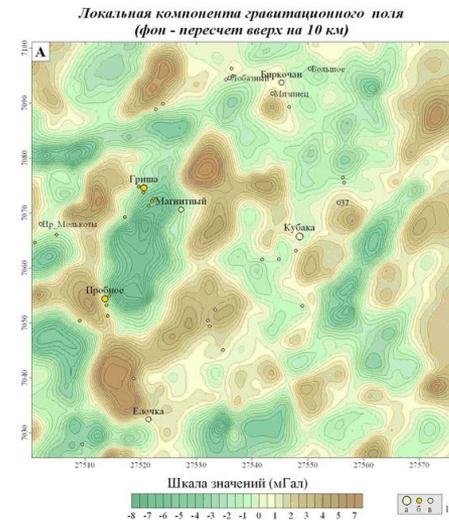
формы, аномалиям соответствуют, но их интерпретация обратные задачи, не имеют

Качественная интерпретация гравитационных аномалий

- В распределении аномалий силы тяжести на поверхности Земли обнаруживается следующая закономерность:
- В районах с сильно приподнятым над уровнем моря рельефом аномалии имеют большие отрицательные значения (до -400 мГал).
- В равнинных районах, где отметки рельефа не сильно отличаются от уровня моря, аномалии колеблются около нуля (± 100 мГал).
- На акваториях морей и океанов аномалии, как правило, положительные.
- В районах глубоководных океанических впадин аномалии достигают значений +400 мГал. Причина такой закономерности в следующем. Районы, где породы верхней мантии залегают наиболее близко к поверхности, наблюдаются большие положительные аномалии, и наоборот, там, где верхняя мантия погружена на большую глубину, аномалии имеют наибольшие отрицательные значения.

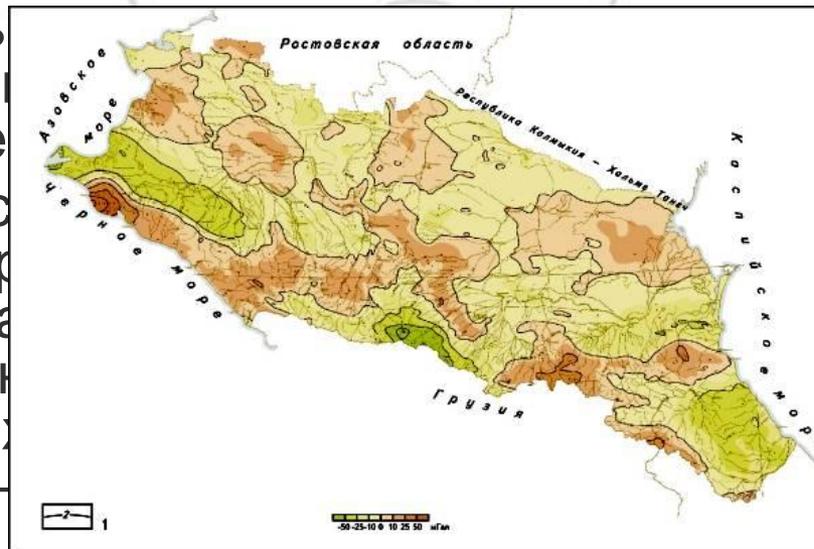
Аномалии силы тяжести

- Аномалии силы тяжести делят на региональные и локальные. Региональным аномалиям относятся с гравитационными аномалиями, превышающими 1000 мГал, размеры от долей тысяч до тысяч километров.
- ✓ Региональные аномалии связаны с крупными прогибами земной коры, также с петрографическими неоднородностями в блоках кристаллического фундамента.
- ✓ Локальные аномалии связаны с локальными структурными элементами земной коры, тектоническими нарушениями.
- В процессе анализа аномалий изучают общий характер и индивидуальные особенности региональных и локальных аномалий, их простирание и направление.



Локальные аномалии подразделяют на региональные и локальные. Региональным аномалиям относятся с гравитационными аномалиями, превышающими 1000 мГал, размеры от долей тысяч до тысяч километров.

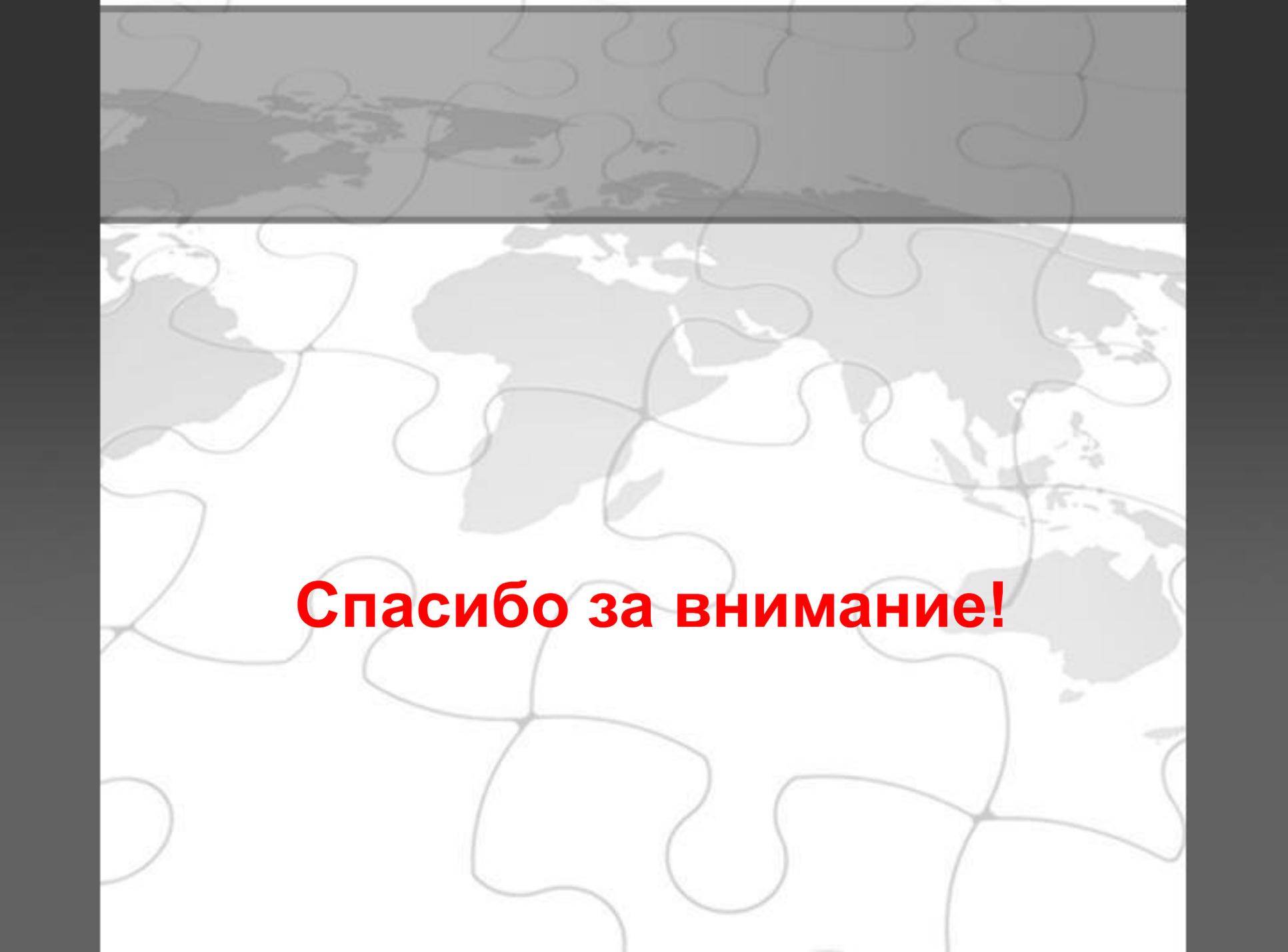
Локальные аномалии связаны с крупными прогибами земной коры, также с петрографическими неоднородностями в блоках кристаллического фундамента.



Локальные аномалии связаны с локальными структурными элементами земной коры, тектоническими нарушениями.

В процессе анализа аномалий изучают

общий характер и индивидуальные особенности региональных и локальных аномалий, их простирание и направление.



Спасибо за внимание!