

# ГРАВИРАЗВЕДКА

**Гравитационная разведка (гравиразведка)** — это геофизический метод исследования строения литосферы, поисков и разведки полезных ископаемых, базирующийся на изучении гравитационного поля Земли. Основным измеряемым параметром этого метода является **ускорение свободного падения**.

Хотя поле силы тяжести ученые изучают давно, например, Г.Галилей в 1590 г. первый получил ускорение свободного падения, наблюдая за падением тел, а М. В. Ломоносов разработал для его измерения идеи пружинного и газового гравиметров, однако **лишь в 30-40-х годах XX столетия необходимая точность измерений была технически реализована в гравиметрах, маятниковых приборах, а также в вариометрах и градиентометрах.**

Эти приборы предназначены для измерения **ускорения свободного падения и его градиентов.**

При измерении параметров гравитационного поля в воздухе, на земной поверхности, акваториях морей и океанов наблюдают их изменения, обусловленные в основном двумя причинами.

1. Планетарные особенности Земли (скорость вращения, масса, форма поверхности, внутреннее строение), создающими плавно изменяющееся поле, называемое **нормальным**.
2. Различие плотности горных пород и руд, связанным с плотностными неоднородностями среды, образующими **аномальное поле** силы тяжести.

В **задачи гравirazведки** входят измерения значений параметров поля силы тяжести, выделение аномальных составляющих гравитационного поля и их геологическая интерпретация.

От других геофизических методов гравirazведка отличается сравнительно **большой производительностью полевых наблюдений** и успешно применяется при решении самых различных геологических задач.

**Глубинность исследований** составляет от **нескольких метров** (при разведке окрестностей горных выработок) до **десятков километров** (при определении мощности земной коры и литосферы).

По изучаемым объектам (геологическим структурам) гравirazведка тесно связана с геологией и другими геофизическими методами, а используемые измерительные приборы, методы выделения и интерпретации аномалий опираются на достижения физико-математических наук.

## **Сила тяжести и ускорение свободного падения**

В основе теории гравиразведки лежит **закон всемирного тяготения** Ньютона, согласно которому две точечные массы (сосредоточенные в бесконечно малом объеме)  $m_1$  и  $m_2$ , расположенные на расстоянии  $r$  одна от другой, взаимно притягиваются с силой

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

где  $F$  — сила притяжения;  $m_1, m_2$  — взаимодействующие массы;  $r$  — расстояние между их центрами;  $G$  — коэффициент пропорциональности,

называемый **гравитационной постоянной**; в СИ  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{М}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$ .

**Сила притяжения**  $F$  — векторная величина, т.е. характеризуется численным значением и направлением в пространстве.

Сила притяжения всей массой Земли единичной массы  $m_1 = 1$  равна  $F = G \int_V \frac{dm}{r^2}$

где  $r$  — расстояние от притягиваемой единичной массы до элемента  $dm$  массы Земли,  $V$  — объем Земли.

В этом случае величина  $F$  численно равна **ускорению свободного падения**  $g = -G \frac{M}{R^2}$ ,

где  $M$  — масса Земли,  $R$  — расстояние от центра Земли до притягиваемой массы. Если точка лежит на поверхности Земли, то  $R$  — радиус Земли.

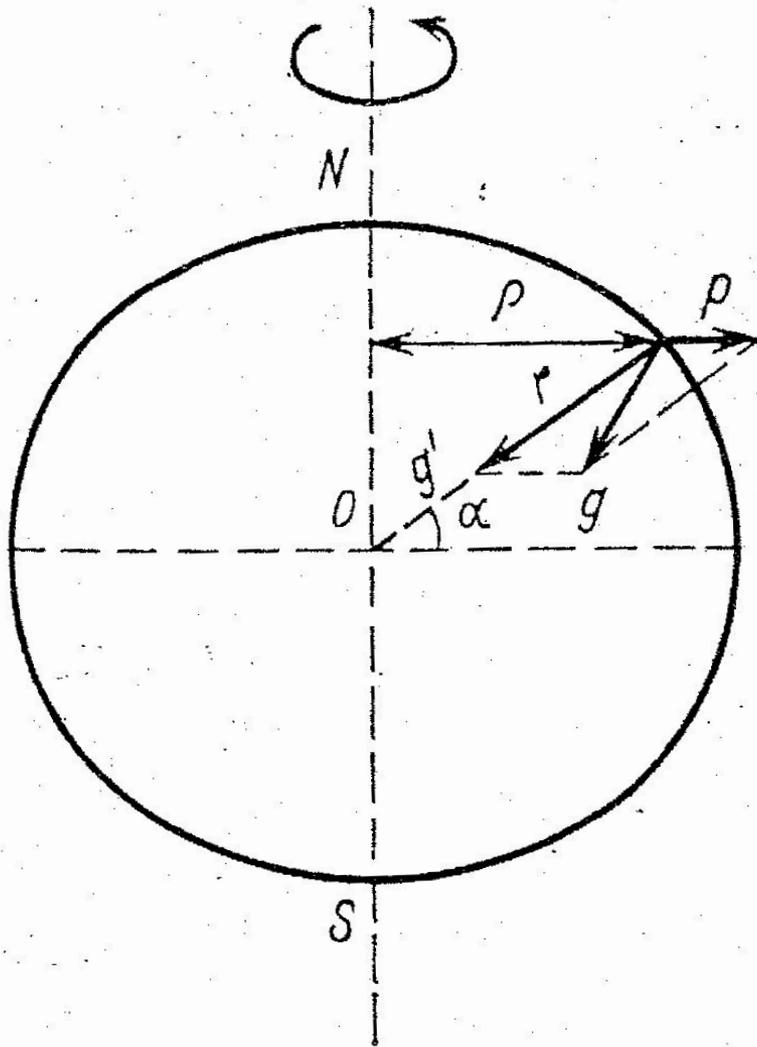
Кроме **силы притяжения** на массу  $m$  действует **центробежная сила**, возникающая вследствие суточного вращения Земли вокруг своей оси. Эта сила пропорциональна радиусу вращения  $\rho$  и квадрату угловой скорости  $\omega$ :

$$P = \rho \cdot \omega^2 \cdot m$$

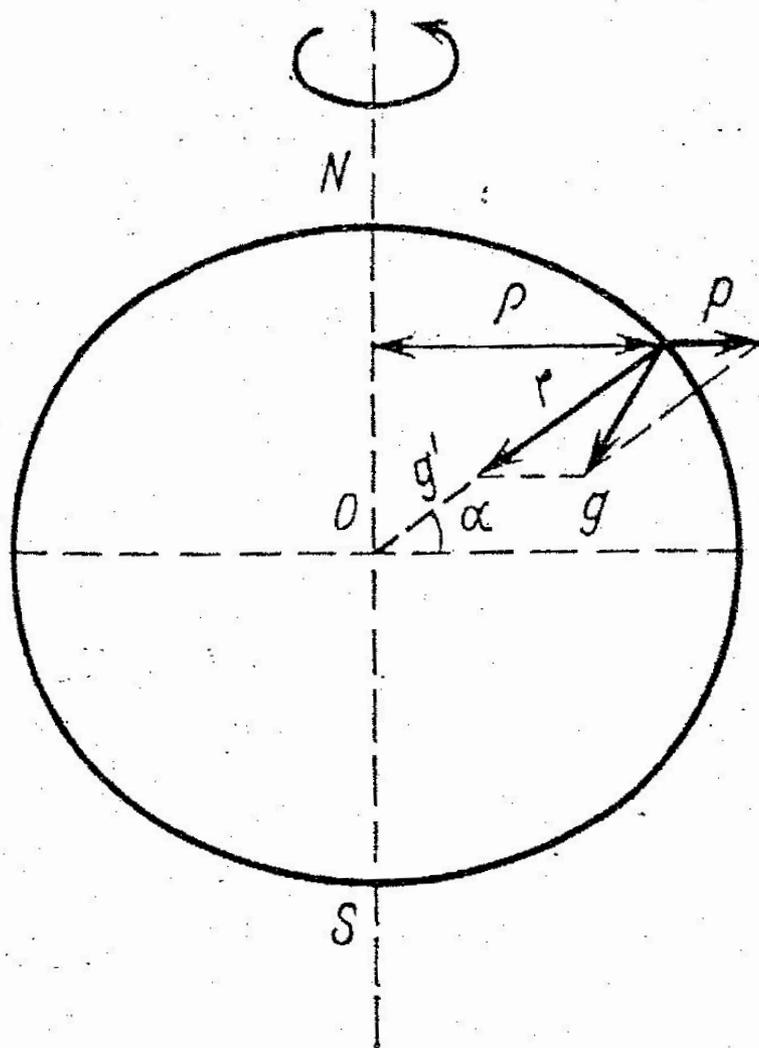
Относя ее к единичной массе, получаем ускорение центробежной силы, направленное по радиусу вращения от оси вращения,

$$p = \rho \cdot \omega^2$$

Отношение максимального значения ускорения центробежной силы (на экваторе) к минимальному значению ускорения притяжения составляет  $1/288$ , т.е. основной вклад в структуру гравитационного поля Земли вносит ускорение притяжения, поэтому можно считать  $g = g'$ .



Сила тяжести и ее составляющие



Сила тяжести и ее составляющие

Таким образом, равнодействующая ускорений притяжения  $g'$  и центробежной силы  $\rho$  есть ускорение свободного падения в данной точке земной поверхности  $g$ . Единицей ускорения свободного падения в СИ является метр на секунду в квадрате. В гравиразведке используют более мелкую

единицу —  $10^{-5} \text{ м/с}^2 = 10^{-3} \text{ см/с}^2 = \mathbf{1 \text{ мГал}}$ , которая получила свое название в честь

знаменитого итальянского ученого Галилео Галилея.

У поверхности Земли  $g$  изменяется от  $9,780 \text{ м/с}^2$  на экваторе до  $9,825 \text{ м/с}^2$  на полюсах при среднем значении  $9,810 \text{ м/с}^2$ .

Наблюдаемое уменьшение  $g$  от полюсов к экватору объясняют, с одной стороны, возрастанием ускорения центробежной силы, а с другой, — увеличением радиуса Земли примерно на 21 км, т. е. сплюснутостью Земли по оси вращения.

## Аномалии и редукции силы тяжести

**Нормальное гравитационное поле Земли** – рассчитанное поле на уровне поверхности теоретической Земли, представляющей собой сфероид – фигуру, очень близкую к эллипсоиду вращения.

Нормальное значение силы тяжести –  $\gamma_0$  рассчитывают для этой идеальной формы Земли, а **истинное значение силы тяжести  $g_{\text{набл}}$**  наблюдают на физической поверхности Земли, которая отличается от эллипсоида вращения и имеет форму «**геоида**».

Существует крылатое выражение; «Земля имеет форму саквояжа».

Отклонение наблюдаемого значения  $g_{\text{набл}}$  от нормального поля, теоретически рассчитанного для этой же точки называют **аномалией силы тяжести** или аномалией ускорения свободного падения (аномальным полем силы тяжести)  $\Delta g$ :

$$\Delta g = g_{\text{набл}} - \gamma_0$$

Для соблюдения корректности этой операции необходимо, чтобы нормальное поле соответствовало уровню (высоте) и условиям наблюдения. Поэтому в наблюдаемые значения силы тяжести вводят **поправки или редукции**, снимающие эти расхождения и приводящие наблюдаемые и теоретические значения к одной поверхности. Существует **три основные редукции**.

Поправка за свободный воздух (за высоту) учитывает разницу в уровне наблюдения и уровне геоида и рассчитывается по формуле (в мГал)

$$\delta g_{\text{св.возд}} = 0,3086 h,$$

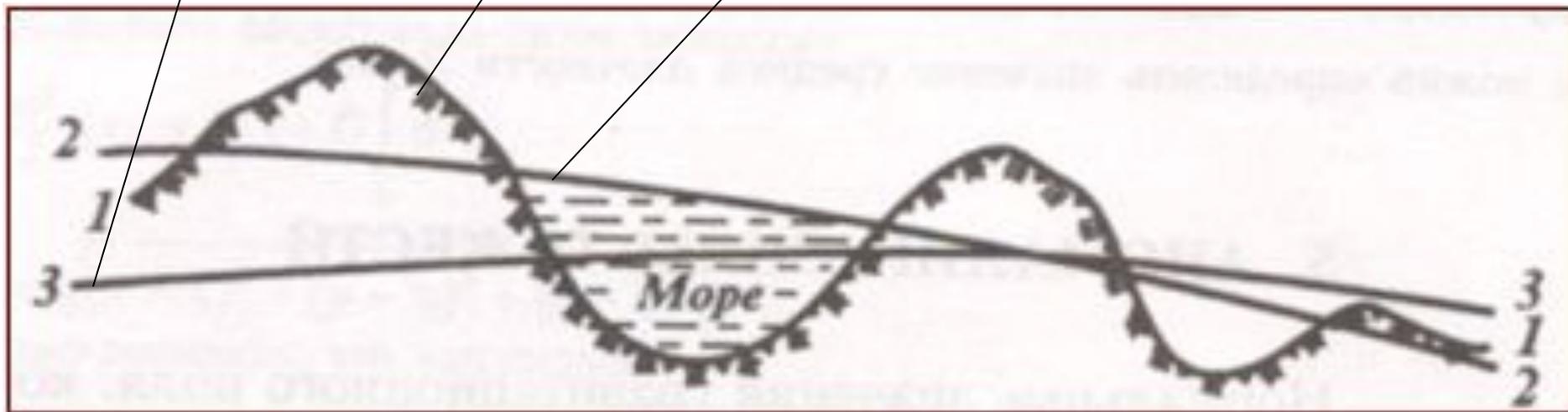
где  $h$  — высота точки наблюдения над уровнем моря, м.

## Уровенные поверхности. Геоид.

поверхность геоида

физическая поверхность Земли

поверхность сфероид



1. Физическая поверхность Земли
2. Сфероид
3. Геоид

Поправку за свободный воздух вводят в  $g_{\text{набл}}$  со знаком плюс, если наблюдения проводят над уровнем моря, и со знаком минус, если ниже. При погрешности относительных гравиметрических измерений  $\pm 0,01$  мГал разница в высотах должна быть известна с погрешностью не более 4 см. Аномалию  $\Delta g_{\text{ф}}$ , полученную с учетом различия высот точек наблюдения, называют

**аномалией Фая:**

$$\Delta g_{\text{ф}} = g_{\text{набл}} - \gamma_0 + \delta g_{\text{св.возд}}$$

Ее в основном используют в геодезической гравиметрии, а также при оценке геодинамического состояния земной коры и литосферы.

При наземных съемках на участках, приподнятых по отношению к уровню геоида, между поверхностью наблюдения и геоидом располагаются массы горных пород, которые при введении поправки за свободный воздух смещаются на величину  $h$  и накладываются на нижележащие массы, создавая как бы двойной плотностной эффект.

Для исключения влияния масс, расположенных между поверхностью наблюдения и геоидом, вводят поправку за промежуточный слой - **поправку Буге** –  $\delta g_B$ .

Для выровненного спокойного рельефа поверхности наблюдения, когда массы промежуточного слоя можно представить в виде плоскопараллельного горизонтального слоя мощностью  $h$ , эту поправку вычисляют по формуле (в мГал)

$$\delta g_B = - 0,0418 h \sigma$$

где  $\sigma$  — средняя плотность пород промежуточного слоя.

При превышениях высоты точки наблюдения над уровнем моря поправку  $\delta g_B$  вводят в наблюдаемые значения силы тяжести со знаком минус.

Если отклонения рельефа местности в районе наблюдения значительны (горные районы, переходные и рифтовые зоны и др.), то поправка за промежуточный слой должна учитывать влияние масс рельефа, окружающего точку наблюдения, т.е. масс, заключенных между уровенной поверхностью, проходящей через точку наблюдения (в ее ближайших окрестностях эта поверхность горизонтальна), и физической поверхностью. Массы рельефа, залегающие над этой горизонтальной поверхностью, создают вертикальную составляющую силы тяжести, направленную вверх, т.е. уменьшающую наблюдаемое значение. При опускании физической поверхности ниже горизонтальной создается недостаток масс рельефа (вместо горных пород нормальной плотности находится воздух), что также ведет к занижению наблюдаемых значений силы тяжести. Поэтому поправку за рельеф  $\delta g_p$  всегда вводят в  $g_{\text{набл}}$  со знаком плюс. Полная поправка за промежуточный слой

$$\delta g_b = - 0,0418 h \sigma + \delta g_p$$

В зависимости от точности наблюдений используют топографические карты различного масштаба, с помощью которых определяют влияние масс рельефа в области радиусом от точки наблюдения до 200 км и более. Причем для близко расположенных к точке наблюдения участков необходимы более точные карты рельефа местности.

## Аномалия Буге

$\Delta g_B$  представляет собой разность наблюдаемого и теоретического полей силы тяжести при введении соответствующих поправок за высоту и за притяжение промежуточного слоя:

$$\Delta g_B = g_{\text{набл}} - \gamma_0 + \delta g_{\text{св.возд}} + \delta g_B$$

Обычно в качестве начального значения плотности промежуточного слоя при расчете аномалий Буге выбирают значение  $2,67 \text{ г/см}^3$  — среднюю плотность горных пород земной коры. Для осадочных бассейнов она может составлять  $2,3 \text{ г/см}^3$ .

При высокоточных гравиметрических съемках необходимо вводить поправки за лунно-солнечные возмущения силы тяжести, связанные с различным расположением Солнца и Луны по отношению к точке наблюдения и достигающие  $0,3 \text{ мГал}$ .

Аномалия Буге представляет собой основной первичный гравиметрический материал при геологическом истолковании поля силы тяжести Земли, отражая главным образом влияние плотностных неоднородностей литосферы. Надо отметить, что в аномалию Буге входят и аномалии от глубинных плотностных границ, вплоть до внешней границы ядра Земли.

## Плотность горных пород

Для истолкования результатов гравirazведки необходимо знать плотность горных пород  $\sigma$ , поскольку это единственный физический параметр, на котором базируется гравirazведка.

**Плотностью породы** называют массу единицы объема породы:  $\sigma = m/V$ .

Плотность в СИ имеет размерность килограмм на кубический метр, но часто используют более привычную единицу — грамм на кубический сантиметр.

Обычно измеряют плотность образцов, взятых из естественных обнажений, скважин и горных выработок. Самый простой способ определения плотности образца состоит в его взвешивании в воздухе и в воде. На этом принципе построен денситометр — прибор, позволяющий определять  $\sigma$  с погрешностью 0,01

$$г/см^3$$

Но наиболее надежные и правильные данные о плотности горных пород получают при измерениях в естественных условиях залегания, для чего используют гамма-гамма- или мюонный методы.

При измерении плотности на образцах необходима достаточно представительная коллекция, содержащая не менее 50 образцов каждого литологического комплекса. Это требование обеспечивает исключение случайных ошибок, связанных с отбором образцов из обнажения или керна.

По многократным измерениям плотности образцов одного и того же литологического комплекса строят **вариационную кривую или график зависимости значений  $\sigma$  от числа образцов**, обладающих данной плотностью. Максимум этой кривой характеризует наиболее вероятное значение плотности для данной породы.

**Плотность горных пород и руд главным образом зависит от химико-минерального состава и пористости.**

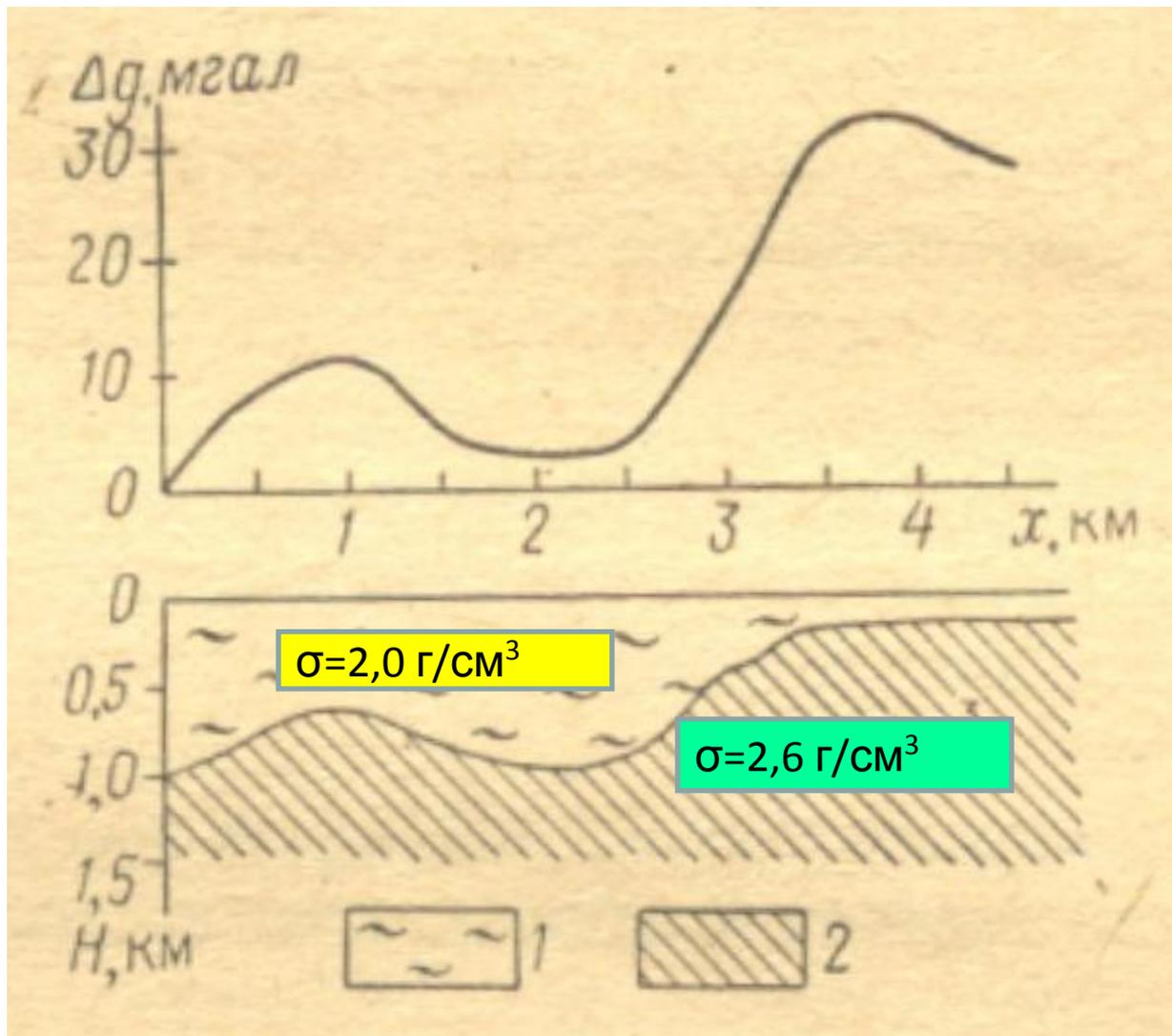
Плотность изверженных и метаморфических пород определяется в основном минеральным составом и увеличивается при переходе от пород кислых к основным и ультраосновным в соответствии с увеличением железосодержащих минералов.

Для осадочных пород плотность определяется прежде всего пористостью, водонасыщенностью и в меньшей степени минералогическим составом.

**Плотность некоторых веществ, основных пород, минералов и оболочек Земли**

Вещество, порода, минерал	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	Вещество, порода, минерал	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>
Нефть	0,8—1,0	Габбро	2,8—3,1
Вода	1,0	Базальт	2,7—3,2
Уголь	1,1—1,4	Перидотит	2,8—3,4
Почва	1,13—2,0	Медный колчедан	4,1—4,3
Песок	1,4—1,7	Магнетит, гематит	4,9—5,2
Глина	2,0—2,2	Верхняя часть земной коры (средняя)	2,67
Песчаник	1,8—2,8		
Известняк	2,3—3,0	Земля (средняя)	5,52
Гранит	2,4—3,0	Ядро Земли	12,0
Гнейс	2,6—2,8		

## Плотность горных пород



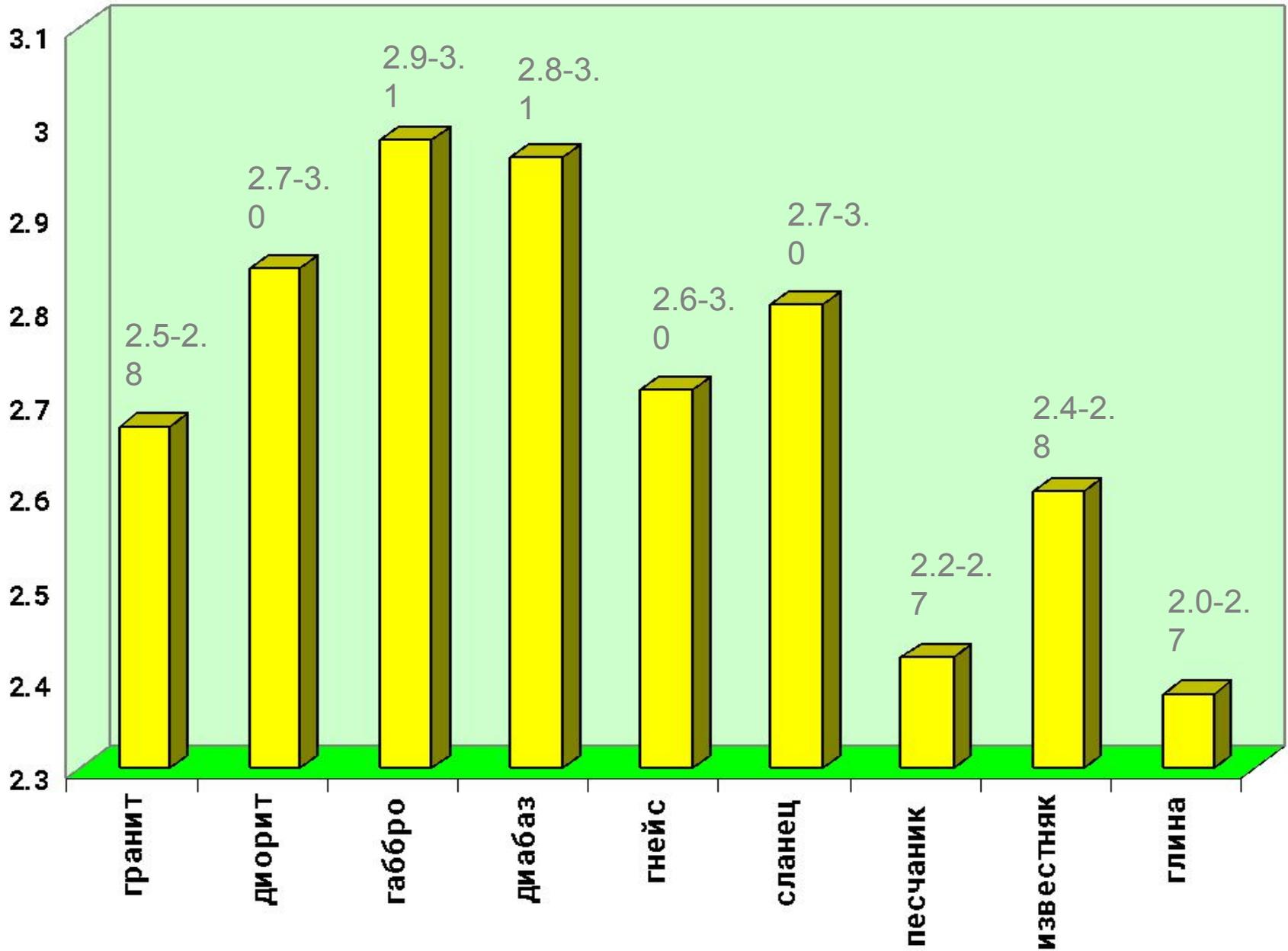
$$\sigma = \frac{M}{V}$$

где  $\sigma$  - объемная плотность  
горной породы  
 $M$  - масса образца  
 $V$  - объем образца

Размерность:  
СГС-  $\text{г/см}^3$   
СИ-  $\text{кг/м}^3$

# Плотность пород

Плотность, г/см<sup>3</sup>



Из теории аномального гравитационного поля следует, что изменение (аномалия) силы тяжести обусловлено размерами и формой возмущающего геологического объекта, его глубиной залегания и величиной так называемой избыточной или эффективной плотности  $\Delta\sigma$ , представляющей собой разность плотности пород аномалообразующего объекта (структуры) и вмещающих пород:  $\Delta\sigma = \sigma_{стр} - \sigma_{вм}$ .

В зависимости от геологической обстановки избыточная плотность  $\Delta\sigma$  обычно изменяется в пределах нескольких десятых грамма на кубический сантиметр и имеет различный знак. Например, разница значений плотности между кристаллическим фундаментом и осадочным комплексом и соответствующий перепад плотности на границе поверхности фундамента составляет 0,1—0,3 г/см<sup>3</sup>.

Одна из самых резких плотностных границ находится между земной корой и мантией (граница Мохоровичича), где фиксируется перепад плотности 0,3 — 0,6 г/см<sup>3</sup>. Избыточная плотность соленосных пород по отношению к вмещающим осадочным породам составляет около - 0,2 г/см<sup>3</sup>, что предопределяет возникновение над соляными куполами отрицательных аномалий силы тяжести.

Теоретически и практически интенсивность аномалий силы тяжести  $\Delta g_B$  от геологических объектов составляет от долей до первых десятков миллигал, что составляет  $10^{-5}$  —  $10^{-7}$  от силы притяжения Земли. Поэтому в гравirazведке для выявления таких тонких гравитационных эффектов от геологических структур разработана специальная высокочувствительная аппаратура и методика полевых работ.

## ***Принципы измерения силы тяжести***

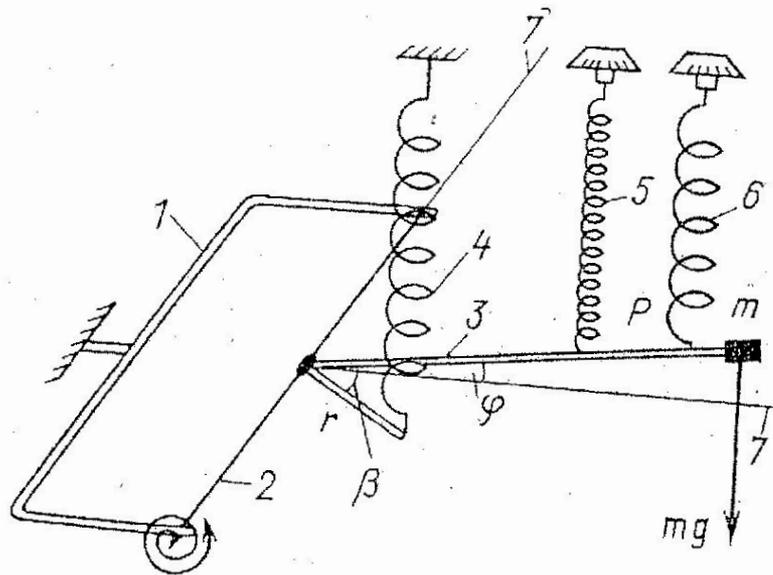
Для измерения силы тяжести можно использовать любые физические явления, которые зависят от нее: качание маятника, растяжение пружин с грузом, падение тел в пустоте. Методы измерения силы тяжести подразделяют на динамические, в которых наблюдают движение груза в поле тяжести, и статические, в которых измеряют растяжение упругого элемента с грузом. Определения могут быть ***абсолютными*** и ***относительными***.

К **абсолютным** относятся такие методы, в которых на каждой точке получают абсолютное, полное значение  $g_{набл}$ .

К **относительным** относят методы, в которых на каждой точке определяют приращения или разности по отношению к некоторой исходной точке  $\Delta g_{набл}$ .

В гравиразведке для абсолютных измерений используют **маятниковые приборы**, а для относительных — **маятниковые приборы и гравиметры**.

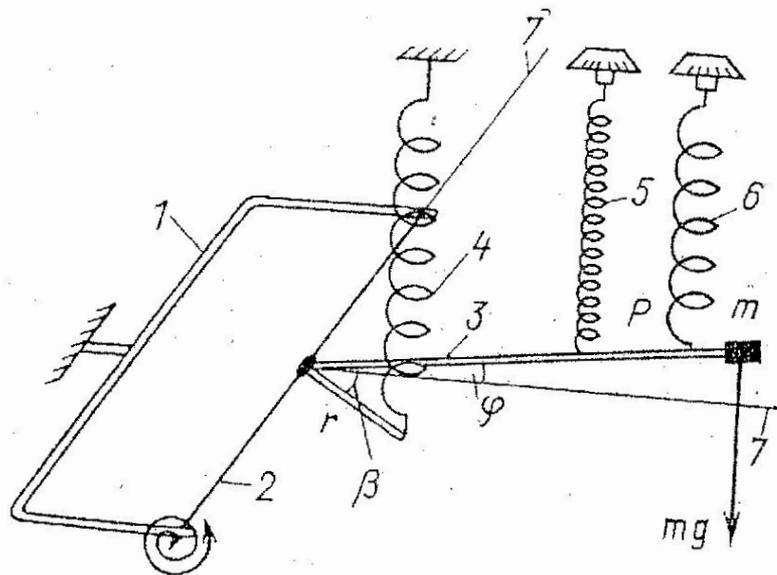
## Гравиметры



Принципиальная схема чувствительной системы гравиметра.

1 — рамка; 2 — упругая нить; 3 — рычаг; с грузиком; 4 — главная пружина; 5 — измерительная пружина; 6 — диапазонная пружина; 7 — линия горизонта

В практике гравиразведки широкое применение получил относительный способ измерения силы тяжести, т. е. измерения приращений в двух точках с помощью гравиметров — приборов, в которых сила тяжести сравнивается с силой деформации упругих материалов. Большинство гравиметров построено по принципу пружинных весов, где в качестве уравнивающей силы используют силу кручения горизонтальной нити, на которой укреплен рычаг - маятник с массой  $m$ . В точке наблюдения момент силы тяжести уравнивается моментом сил кручения, рычаг отклоняется от горизонта на угол  $\varphi$ . Для повышения чувствительности гравиметра при малых изменениях  $\Delta g$  используют **астазирование**, т.е. применение упруго-возбужденной системы, состоящей из дополнительного рычага и главной пружины 4, которые приводят к увеличению угла наклона  $\varphi$  за счет неустойчивого равновесия.



Принципиальная схема чувствительной системы гравиметра.

1 — рамка; 2 — упругая нить; 3 — рычаг; с грузиком; 4 — главная пружина; 5 — измерительная пружина; 6 — диапазонная пружина; 7 — линия горизонта

При измерении силы тяжести используют **компенсационный метод отсчета**, при котором микрометрическим винтом меняют натяжение измерительной пружины 5 таким образом, чтобы привести рычаг-маятник 3 в горизонтальное положение. Число оборотов микрометрического винта  $\Delta n$  определяют по специальной шкале с помощью оптической системы. С помощью диапазонного винта и соответствующей пружины 6 перестраивают диапазон прибора, что позволяет расширить интервал измерения в 10 раз и более.

Чувствительная система основных отечественных гравиметров ГНУК-А, В, С, ГНШК -А, В, С и других выполнена из плавленного **кварца**, хотя некоторые, в основном зарубежные, гравиметры имеют металлическую пружину. Материал пружин подбирают таким, чтобы колебания температуры и другие факторы сказывались наименьшим образом на величине отсчета.

Несмотря на специально принимаемые меры по термостатированию чувствительной системы (помещение ее в сосуд Дюара, изоляция от внешней среды и т. д.), влияние внешних факторов, как и внутренние процессы в упругих элементах системы, приводит к изменению показаний прибора во времени.

Поэтому все гравиметры характеризуются дрейфом, или смещением нуля-пункта прибора, который достигает нескольких миллигал в сутки.

Время установки и измерения с помощью гравиметра при наземной съемке составляет 2—5 мин. Погрешность измерений  $\Delta g$  разными типами гравиметров составляет 0,01—0,5 мГал.

Для изучения силы тяжести на море применяют сильнозатушенный морской бортовой гравиметр (например, ГМН), в котором кварцевую астазированную систему помещают в жидкость с повышенной вязкостью. Высокочастотные изменения  $\Delta g$ , связанные с качанием подвижного основания, отфильтровывают путем взятия среднего отсчета за интервал времени  $t$ .

Существуют также гравиметры для аэрогравиразведки и измерений силы тяжести по стволу скважины.

## Вариометры и градиентометры

Для измерения вторых производных гравитационного потенциала служат **гравитационные вариометры** I рода, регистрирующие  $W\Delta$  и  $WXY$ , II рода ( $WXZ$ ,  $WYZ$ ,  $W\Delta$ ,  $WXY$ ) и **градиентометры**, позволяющие определять  $WXZ$  и  $WYZ$ .

Основным чувствительным элементом вариометров и градиентометров служат **крутильные весы**, представляющие собой коромысло с равными грузами на концах, подвешенное на упругой нити.

Под воздействием неравномерного поля тяготения, обусловленного наличием близко расположенных аномальных по плотности геологических объектов, на них действуют различные по величине составляющие поля силы тяжести. Вследствие **этого коромысло поворачивается на угол, пропорциональный степени изменения силы тяжести** вдоль направления этих составляющих. Для определения различных вторых производных гравитационного потенциала чувствительную систему устанавливают по нескольким (трем — пяти) азимутам.

**В градиентометрах** отсчеты проводят визуально, и они длятся на каждой точке не более 15 мин.

**В вариометрах** отклонение коромысла автоматически фиксируется для дальнейшей обработки, а замеры в разных азимутах выполняются в течение 30 — 60 мин на каждой точке.

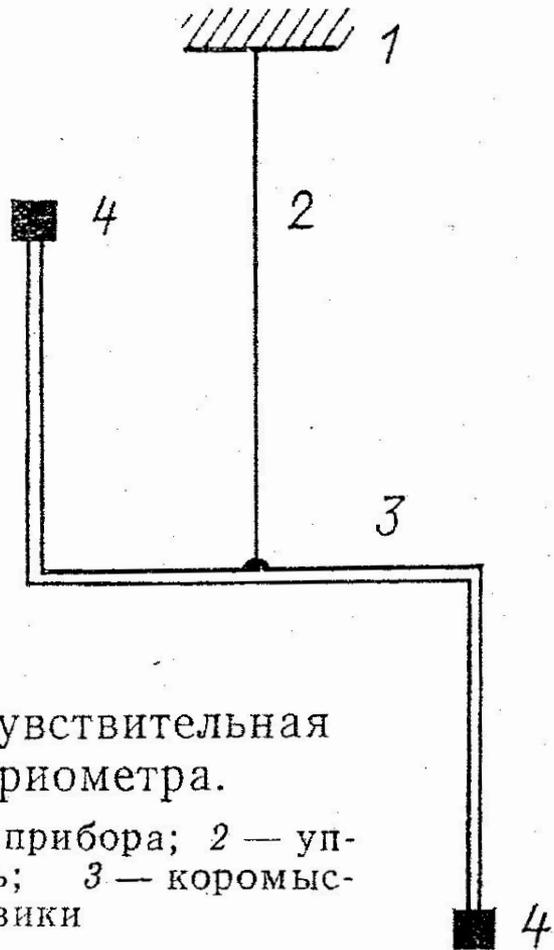


Рис. 3. Чувствительная система вариометра.

1 — корпус прибора; 2 — упругая нить; 3 — коромысло; 4 — грузики

## **Методика гравirazведки**

Под методикой гравirazведки понимают выбор метода и аппаратуры, осуществление комплекса мер и операций для изучения поля силы тяжести с такой кондицией, которая обеспечила бы выявление ожидаемых аномалий и решение поставленной геологической задачи.

**Основным в методике гравirazведки является**

1. выбор метода и аппаратуры;
2. характер, вид съемки и система наблюдений;
3. погрешность съемки и правила обхода точек наблюдений;
4. первичная обработка материала и форма его представления.

**По технологии работ и типу носителя аппаратуры гравirazведку**  
подразделяют на

1. полевые (наземные),
2. морские, воздушные,
3. подземные и скважинные гравиметровые, а также
4. вариометрические наблюдения.

**По решаемым геологическим задачам и масштабу съемок различают**

- региональную гравirazведку, проводимую на суше и море в масштабах 1:200000 и мельче, предназначенную для получения сведений о глубинном строении крупных территорий, и
- детальную (поисково-разведочную), выполняемую в масштабах от 1:100000 до 1:10000, направленную на выявление структур, перспективных на те или иные полезные ископаемые, поиск и разведку месторождений.

## Полевая гравиметрическая съемка

Основным методом гравиразведки является полевая (наземная, сухопутная) гравиметровая съемка, проводимая с помощью разного рода гравиметров. Полевые гравиметровые съемки бывают пешеходными и автомобильными, изредка используется авиотранспорт. В зависимости от масштаба съемки и способа транспортировки гравиметров наблюдения выполняют в нескольких десятках пунктов за смену.

**Выбор характера, вида съемки и системы наблюдений.** По характеру расположения точек наблюдения на исследуемой площади гравиметрическая съемка может быть профильной (маршрутной) и площадной. Маршрутную съемку выполняют по отдельным профилям (маршрутам), которые задают вкrest предполагаемого простирания структур. Ее применяют при рекогносцировочных, поисковых работах и при отработке интерпретационных профилей.

Основным видом гравиметрических съемок является площадная съемка, при которой весь район исследований более или менее равномерно покрывают гравиметровыми наблюдениями.

Точки наблюдения при этом задают обычно по системе профилей, которые, как правило, должны быть прямолинейными, ориентированными вкрест предполагаемого простирания изучаемых структур, иметь протяженность, в 5 — 10 раз превышающую поперечные размеры искомых объектов.

Расстояния между профилями  $d$  должны быть, по крайней мере, в 3 раза меньше продольных размеров  $L$  разведываемых структур и объектов ( $d < 0,3L$ ) для того, чтобы аномалия гравитационного поля от них фиксировалась на трех и более соседних профилях. Это позволяет в дальнейшем по аномалиям в плане установить простирание искомых объектов.

Шаг по профилю  $\Delta x$ , т. е. расстояние между соседними точками наблюдения, задают, исходя из поперечных размеров разведываемых объектов и структур  $l$ , и он должен составлять  $\Delta x < 0,3l$ , что необходимо для получения четкого аномального эффекта не менее чем на трех точках каждого профиля.

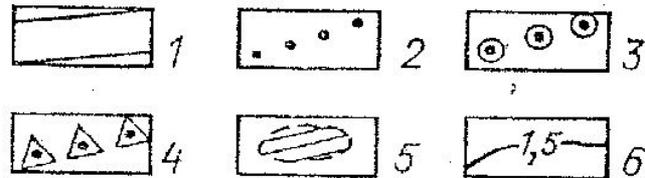
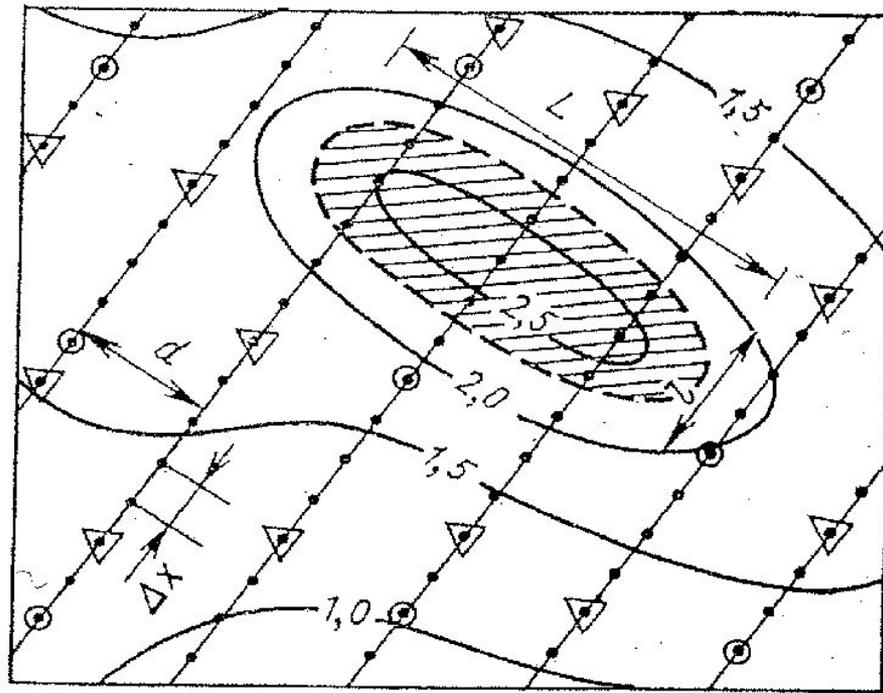


Схема расположения точек наблюдения и карта аномалий при гравиметрической съемке.

1 — профили; 2—4 — рядовые, опорные и контрольные точки наблюдения; 5 — предполагаемое простирание искомого геологического объекта; 6 — изоаномалы  $\Delta g$

Площадная съемка может быть **равномерной** (расстояния между профилями и пунктами наблюдения по профилю примерно одинаковы), если изучаемые структуры или объекты изометричны в плане, или **неравномерной**, если они вытянуты (двумерны).

**Масштаб гравиметрической съемки** определяется прежде всего густотой точек наблюдения и предельными расстояниями между ними.

**Максимальное расстояние между пунктами наблюдения**, соответствующее расстоянию между профилями, не должно превышать 1 см результирующей карты, что и задает масштаб съемки.

Например, при съемке масштаба 1:100000 расстояния между профилями на местности должны составлять примерно 1 км.

## ***Погрешность съемки***

**Проектную погрешность съемки** (среднюю квадратическую погрешность определения  $\Delta g$ ) выбирают в зависимости от **масштаба съемки и интенсивности предполагаемых аномалий  $\Delta g$**  над искомыми геологическими структурами или объектами.

**Проектная погрешность** при поисково-разведочной съемке не должна превышать  $1/5$ , а при региональной —  $1/3$  минимального значения интенсивности (амплитуды) локальных аномалий  $\Delta g$ . На интерпретационных профилях, где предполагается **детальное изучение** параметров аномалообразующих объектов, погрешность работ должна быть еще меньше.

**Исходя из величины погрешностей съемок**, выбирают гравиметрическую аппаратуру, определяют погрешность топогеодезической привязки, т.е. получения высотных отметок точек наблюдения (для введения редуций) и вычисления координат (для учета нормального значения ускорения свободного падения); степень учета смещения нуля-пункта. Соотношение между перечисленными параметрами системы наблюдений при полевых гравиметрических съемках приведены в таблице.

**Соотношения между масштабом гравиметрической съемки,  
густотой сети и погрешностью гравиметрических наблюдений**

<i>Масштаб отчетных карт и графиков</i>	<i>Погрешность топопривязки м</i>	<i>Густота сети</i>		<i>Погрешность определения аномалий Буге, мГал</i>	<i>Погрешность наблюдений, мГал</i>	<i>Сечение изомал на картах, мГал</i>
		<i>Число пунктов на 1 км<sup>2</sup></i>	<i>Расстояние между пунктами км.</i>			
1:500 000	±5	0,04-0,1	2-5	±1,5	±0,5	5
1:200 000	±2,5	0,1-0,25	1-2	±0,8	±0,4	2
1:100 000	±1,2	0,25-0,1	0,5-1	±0,4	±0,3	1
1:50000	±0,7	2-30	0,1-0,5	±0,2	±0,15	0,5
1:25000	±0,35	12-60	0,05-0,25	±0,1	±0,06	0,25
1:10000	±0,2	20-100	0,02-0,1	±0,08	±0,05	0,2
1:5000	±0,05	50-250	0,01-0,05	±0,04	±0,03	0,1

## ***Система обхода точек наблюдений.***

После проектирования системы наблюдений на исследуемой площади и выбора гравиметров с соответствующей погрешностью можно приступить к самой съемке.

Обязательным требованием при работе с гравиметрами является то, что **исходное и заключительное наблюдения каждого гравиметрического рейса**, т.е. совокупность последовательных замеров, выполняемых, как правило, в течение 2 — 8 ч, **должны проводиться или на одном и том же пункте**, или на пунктах с известными значениями  $g$ . Выявившиеся при этом изменения отсчетов гравиметра относят за счет **смещения нуля-пункта прибора**.

Считается, что характер смещения нуля-пункта линеен во времени и его разбрасывают пропорционально времени наблюдений по всем пунктам данного рейса.

Необходимо помнить, что гравиметр — это прибор, позволяющий выполнять наблюдения **только за короткое время**, и поэтому необходимы точки для постоянной коррекции его показаний.

Такие точки называют **опорными**, а их систему — **опорной сетью**. Кроме того, они служат для привязки относительных наблюдений к абсолютному уровню поля силы тяжести.

Таким образом, при съемке с гравиметрами измеряют относительные значения силы тяжести последовательно во всех пунктах по отношению к одной исходной или опорной точке района исследований.

В исходной точке, как правило, определяют абсолютное значение силы тяжести путем переноса с помощью высокоточных гравиметров силы тяжести с ближайших обсерваторий и опорных пунктов региональной съемки страны.

Абсолютные значения силы тяжести в каждой точке могут быть получены путем алгебраического сложения абсолютного значения силы тяжести в исходной точке с относительным значением силы тяжести в данной точке.

Практически при гравиметрической съемке больших площадей **сначала разбивают сеть полевых опорных точек** для создания жесткой системы значений силы тяжести, привязанной к опорным точкам региональной съемки страны.

**Затем выполняют рядовые наблюдения** во всех пунктах изучаемого района. Опорные точки размещают в местах, удобных для опознавания, и более или менее равномерно по изучаемой площади, а их число должно быть в 5—10 раз меньше, чем число рядовых пунктов наблюдений.

Опорная сеть должна отличаться **пониженной погрешностью измерений** значений силы тяжести, что достигается проведением **одновременных замеров несколькими высокоточными гравиметрами**, увеличением **быстроты съемки** (применение для передвижения вертолетов и автомобилей).

Выполнение работ в сжатые сроки способствует малому смещению нуля-пункта гравиметров. При создании опорной сети от 50 до 100 % всех наблюдений составляют контрольные измерения.

Наблюдения на опорной сети начинают и заканчивают в исходной точке, по отношению к которой рассчитывают приращение силы тяжести.

После замыкания полигона получают невязку, которую разбрасывают так же, как и при нивелировке.

## ***Представление результатов гравиметрической съемки.***

1. В результате съемки с гравиметрами строят прежде всего **графики (кривые) аномалий Буге  $\Delta g_b$** : по горизонтали в масштабе съемки откладывают пункты наблюдения, а по вертикали — значения  $\Delta g_b$  в таком масштабе, чтобы 1 мм примерно составлял  $3\varepsilon$ . Изредка строят карты графиков  $\Delta g_b$ : вдоль профилей наблюдений в масштабе съемки проставляют точки наблюдения, а перпендикулярно к профилям откладывают  $\Delta g_b$  (в масштабе  $1 \text{ мм} \approx 3\varepsilon$ ).
2. Однако **основным результатом гравиметрической съемки являются гравитационные карты**: на карте расположения точек наблюдения (в масштабе съемки) проставляют значения  $\Delta g_b$  и проводят **изолинии равных значений  $\Delta g_b$  или изоаномалы** [сечение изоаномал должно соответствовать  $(2—3)\varepsilon$ ].
3. Таким образом, масштаб полевой гравиметрической съемки, ее точность и сечение изоаномал жестко связаны. Например, при укрупнении гравиметрической съемки от масштаба 1:500000 до масштаба 1:5000 погрешность определения  $\Delta g_b$  уменьшается от  $\pm 1,5$  до  $\pm 0,04$  мГал, а сечение изоаномал — от 5 до 0,1 мГал.