



# ЛЕКЦИЯ 2

## ГРАВИРАЗВЕДКА

**Гравиметрическая, или гравитационная разведка (сокращенно гравirazведка)** – это геофизический метод исследования земной коры, поисков и разведки полезных ископаемых, основанный на изучении распределения аномалий силы тяжести на земной поверхности, акваториях, в воздухе.

Основными измеряемыми параметрами гравитационного поля являются **ускорение силы тяжести и градиенты** (изменения ускорения по разным направлениям).

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

В основе теории гравиразведки лежит закон Всемирного тяготения Ньютона

$$F_{np} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

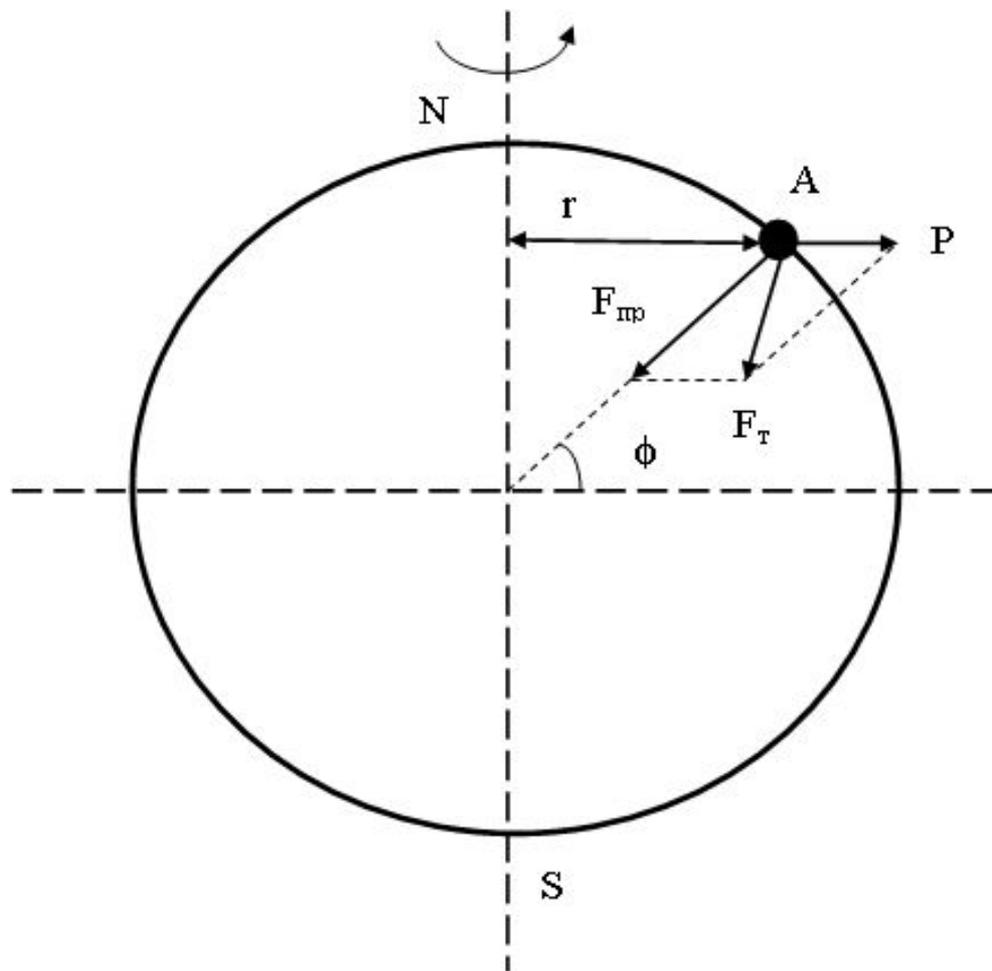
где  $G$  – гравитационная постоянная, равная  $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{K^2}$

Сила притяжения какой-либо массы ( $m$ ) массой всей Земли ( $M$ )

$$F_{np} = G \frac{M \cdot m}{R^2},$$

Сила притяжения единичной массы ( $m = 1$ ) равна  $f$  и направлена к центру Земли

$$f = G \frac{M}{R^2}, \quad \text{где } f \text{ - ньютоновское притяжение}$$



Сила тяжести и ее составляющие

Кроме силы притяжения на массы, расположенные на поверхности или в глубине Земли действует центробежная сила ( $P$ ), обусловленная вращением Земли и направленная по радиусу ( $r$ ), перпендикулярному оси вращения:

$$P = \omega^2 r m,$$

где  $r$  – радиус вращения (м);  $\omega$  - угловая скорость (рад/с);

Таким образом, сила тяжести ( $F_T$ ) равна геометрической (векторной) сумме силы притяжения ( $F_{пр}$ ) и центробежной силы ( $P$ )

$$\bar{F}_T = \bar{F}_{пр} + \bar{P}$$

Если силу тяжести ( $F_T$ ), силу притяжения ( $F_{пр}$ ) и центробежную силу ( $P$ ) отнести к единице массы, эти силы характеризуются ускорениями:

-силы тяжести  $g = F_T/m$ ;

-ньютоновское притяжение  $f = F_{пр}/m$ ;

-центробежное  $p = P/m$ .

Ускорение силы тяжести равно геометрической сумме ускорения притяжения и центробежного ускорения.

$$g = f + p$$

Обычно в гравиразведке, когда говорят «сила тяжести», подразумевают именно ускорение силы тяжести.

В системе СИ за единицу ускорения свободного падения принимается такое ускорение, которое испытывает масса в 1 кг по действием силы в 1 Н.

*Единицей ускорения в системе СИ* является  $\text{м/с}^2$ . В гравиразведке традиционно используют внесистемную единицу – *Гал*.

$$1\text{Гал} = 1 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$$

$$1\text{мГал} = 10^{-3} \text{Гал} = 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$1\text{мкГал} = 10^{-6} \text{Гал} = 10^{-8} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Отношение  $P/F_T \leq 1/288$ , поэтому сила тяжести почти целиком определяется силой притяжения, а ускорение силы тяжести практически равно ускорению притяжения

$$g \approx f \approx G \frac{M}{R^2},$$

Земля в первом приближении является эллипсоидом вращения, причем экваториальный радиус  $a = 6378$  км, а полярный  $c = 6357$  км,  $a - c = 21$  км. Разная величина радиуса Земли на полюсе и экваторе наряду с изменением центробежной силы приводит к увеличению  $g$  на полюсе по сравнению с  $g$  на экваторе.

$$F_T^{\text{эк}} = 9,78 \frac{M}{c^2} (978 \text{ Гал})$$

$$P^{\text{эк}} = 0,03 \frac{M}{c^2} (3,4 \text{ Гал})$$

$$F_T^{\text{полюс}} = 9,83 \frac{M}{c^2} (983 \text{ Гал})$$

$$P^{\text{полюс}} = 0$$

По известным  $g$  и  $R$  были определены масса Земли  $M = 5,98 \cdot 10^{24}$  кг и ее средняя плотность  $\sigma_3 = 5,51 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> (5,51 г/см<sup>3</sup>).

# ПЛОТНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД И СПОСОБЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

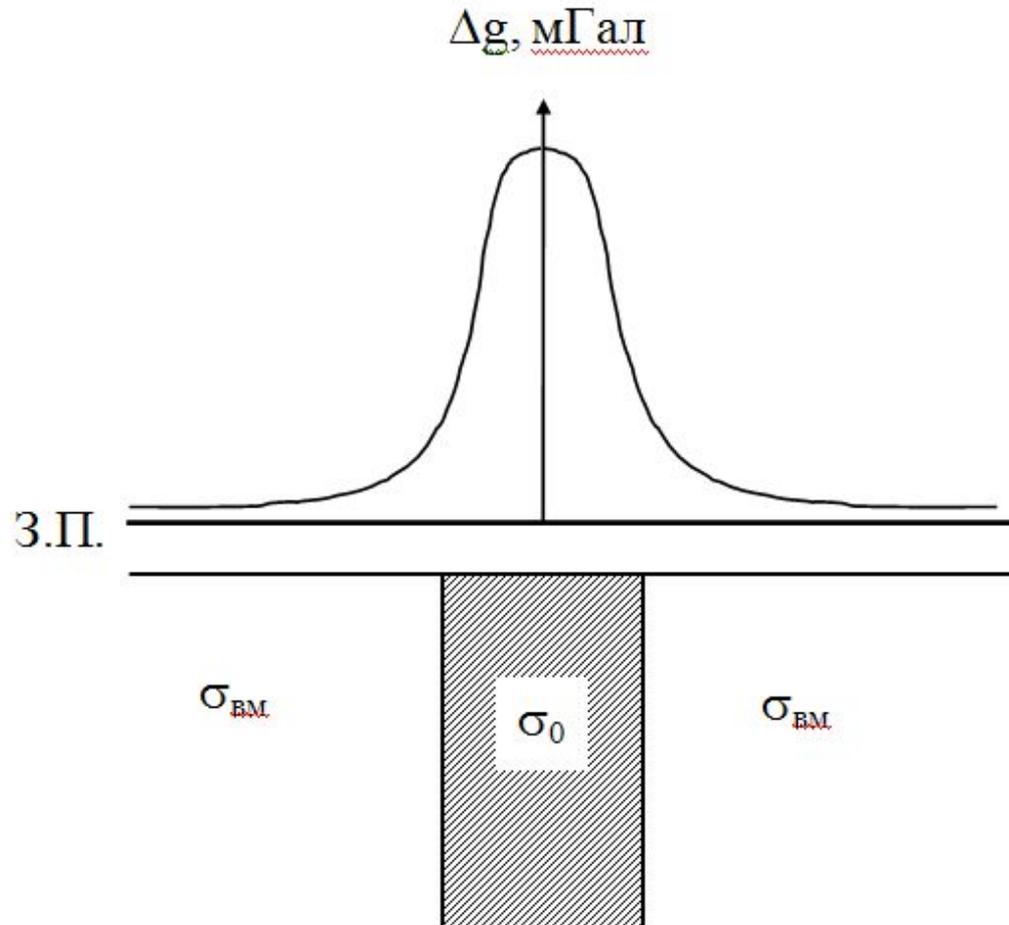
Плотностью горных пород ( $\sigma$ ) называется отношение массы горной породы ( $m$ ) к занимаемой ей объему ( $V$ ).

Геологической основой гравиразведки является **дифференциация (различие) горных пород по плотности.**

Гравитационный эффект от тела объемом  $V$  и плотностью  $\sigma$ , находящегося в среде с плотностью  $\sigma_0$  определяется избыточной массой  $\Delta m = (\sigma - \sigma_0)V$ , где  $\sigma - \sigma_0$  – избыточная плотность.

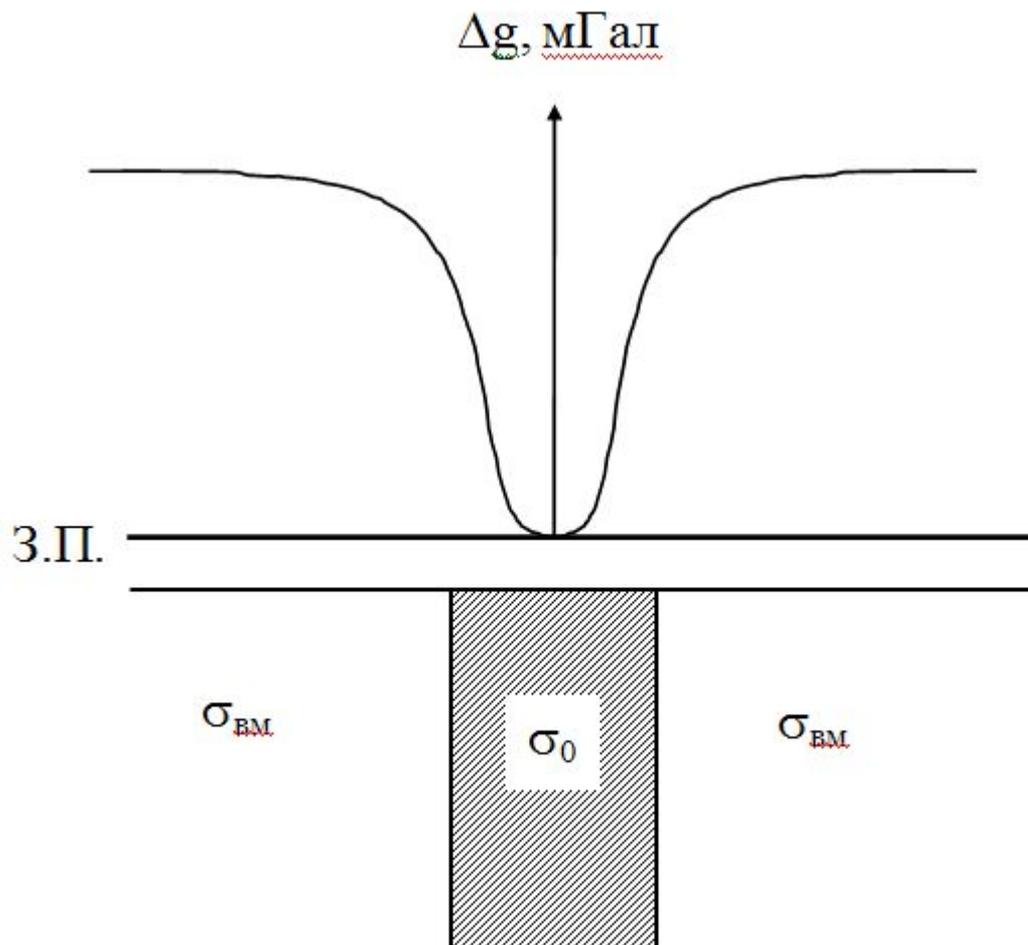
1. если  $\sigma - \sigma_0 > 0$ , то  $\Delta m > 0 \Rightarrow \Delta g > 0$  (аномалия силы тяжести положительная);
2. если  $\sigma - \sigma_0 < 0$ , то  $\Delta m < 0 \Rightarrow \Delta g < 0$  (аномалия силы тяжести отрицательная);
3. если  $\sigma - \sigma_0 \approx 0$ , то  $\Delta m \approx 0 \Rightarrow \Delta g \approx 0$  (аномалия отсутствует);

1) если  $\sigma_0 > \sigma_{\text{вм}}$ , то  $\Delta\sigma > 0$



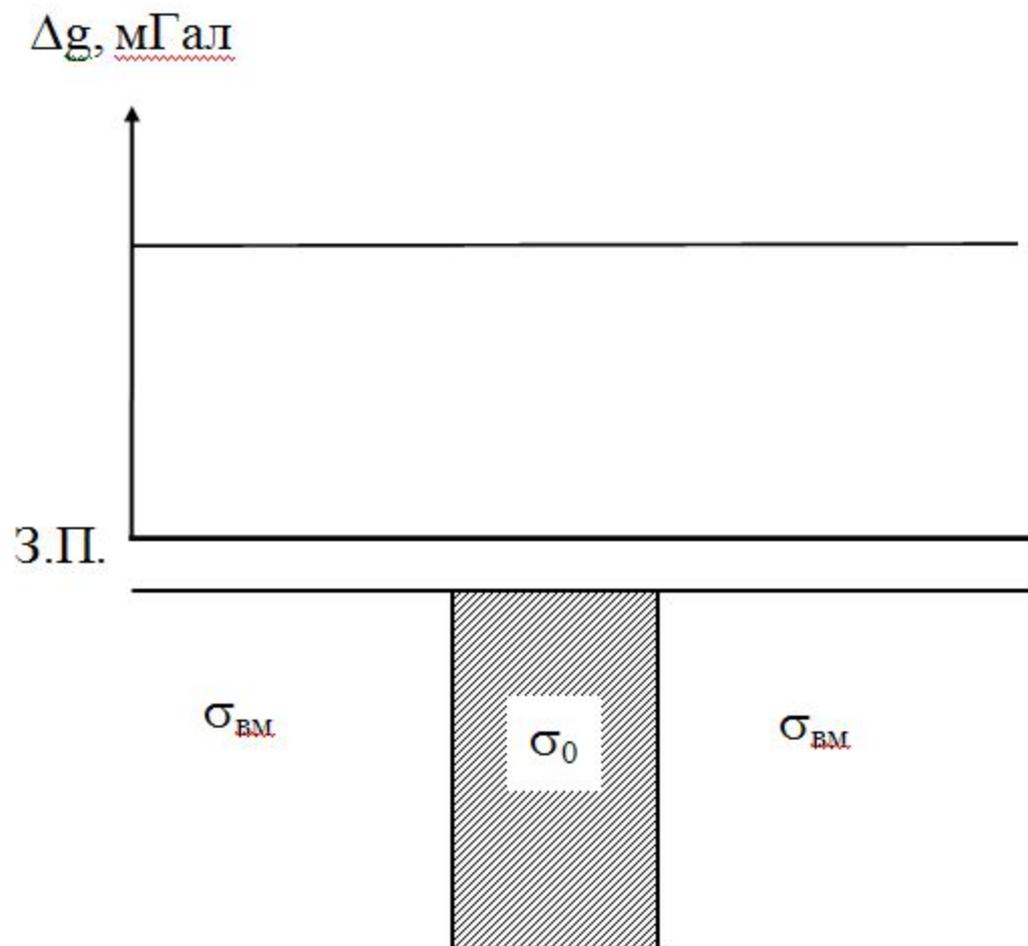
Положительные гравитационные аномалии наблюдаются на железно-рудных, меднокалчедановых, полиметаллических и других рудных месторождениях

2) если  $\sigma_0 < \sigma_{\text{вм}}$ , то  $\Delta\sigma < 0$

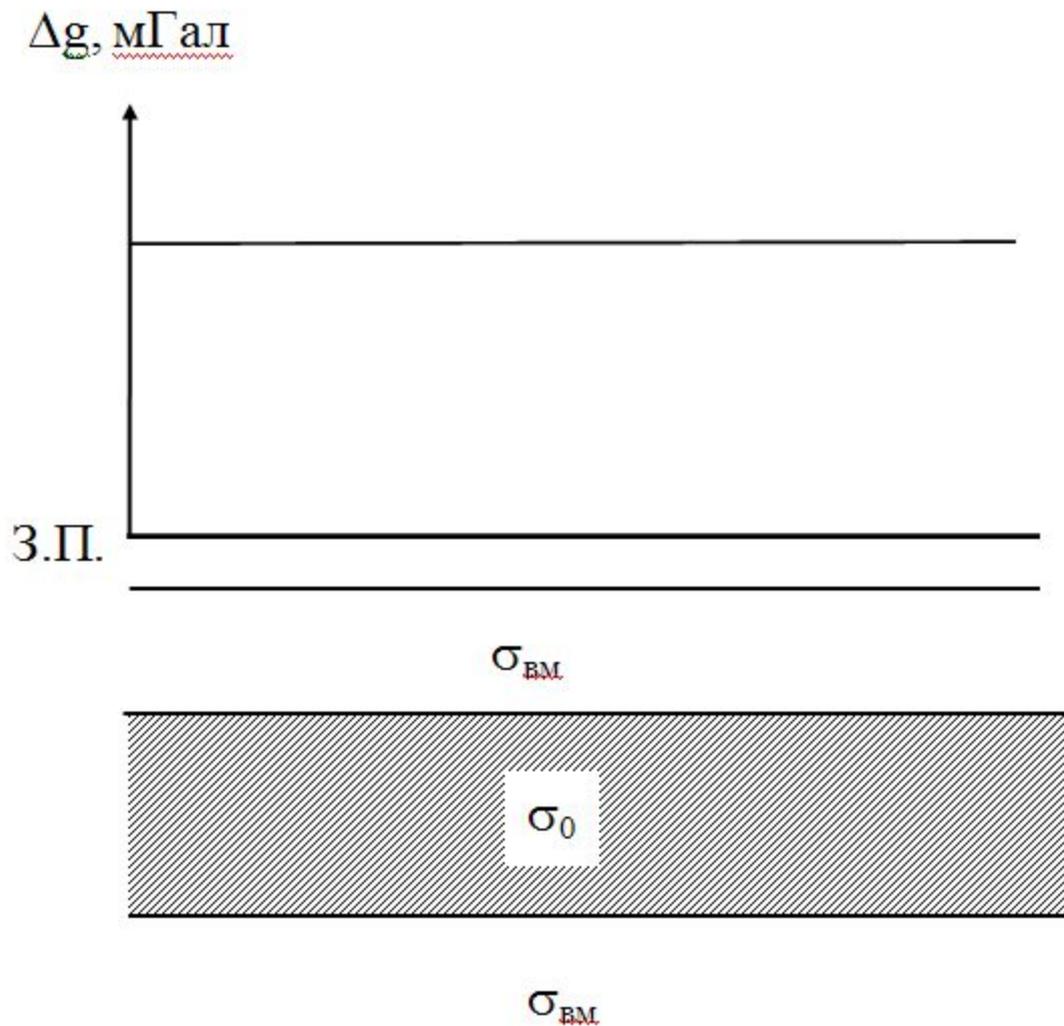


Отрицательные гравитационные аномалии наблюдаются над соляными куполами, месторождениями углеводородов, карстовыми полостями

3) если  $\sigma_0 \approx \sigma_{\text{вм}}$ , то  $\Delta\sigma \approx 0$



4) если  $\sigma_0 > \sigma_{\text{ВМ}}$ , при горизонтальном залегании



**Таблица значений плотности горных пород**

№	Название породы	Плотность, г/см <sup>3</sup>
1	<b>Эффузивные и интрузивные</b>	
	а) основные (габбро, базальты)	2,8 - 3,0
	б) ультраосновные (дуниты, перидотиты)	3,1 - 3,3
	в) кислые (граниты, гранодиориты)	2,5 - 2,7
2	<b>Метаморфические</b> (сланцы, гнейсы, мраморы)	2,6 - 2,9
3	<b>Осадочные</b>	
	а) терригенные	
	глина	1,5 - 1,9
	песок	1,4 - 2,0
	песчаник	2,1 - 2,8
б) органогенные и гидрохимические (известняк, доломит, ангидрит, гипс)	2,0 - 3,0	
4	<b>Некоторые полезные ископаемые</b>	
	Газ	0,002
	Нефть	0,7 - 1,1
	Уголь (бурый, каменный, антрацит)	0,8 - 1,5

<b>№</b>	<b>Название породы</b>	<b>Плотность, г/см<sup>3</sup></b>
	Торф	0,7
	Каменная соль (галит)	2,1 – 2,2
	Железные руды	3,7 – 4,3
	Хромиты	3,3 – 4,4
	Полиметаллические руды (свинец, цинк)	3,2 – 5,5
	<b>Разное</b>	
	Снег (рыхлый) – лед – вода	0,12 – 0,9 – 1,0
	Почва (рыхлая, утрамбованная)	1,12 – 2,2
	Верхняя часть земной коры	2,67
	Земля (среднее значение)	5,51
	Ядро Земли	12

# Способы определения плотности горных пород

1.  $\sigma = m/V$  (для тел правильной формы);

2. гидростатическое взвешивание  $\sigma = \frac{M_{\text{возд}}}{M_{\text{возд}} - M_{\text{жид}}} \sigma_{\text{жидк}}$

3. пикнометрический способ (для сыпучих горных пород)

$$\sigma = \frac{M_1 - M_0}{V - V_0} \begin{matrix} M_1 - \text{масса пикнометра с образцом} \\ M_0 - \text{масса пикнометра} \\ V - \text{объем пикнометра} \end{matrix}$$

4. по эмпирическим зависимостям плотности с другими физическими параметрами (например скоростью);

5. по результатам рассеяния и поглощения гамма-квантов (ГГК-П);

6. Подземная регистрация космического излучения (ПРКИ) (мюонный метод)

# ПРЯМЫЕ ЗАДАЧИ ГРАВИРАЗВЕДКИ

**Прямая задача гравirazведки** – это вычисление гравитационного поля от известных геологических тел определенной формы, размеров и плотности.

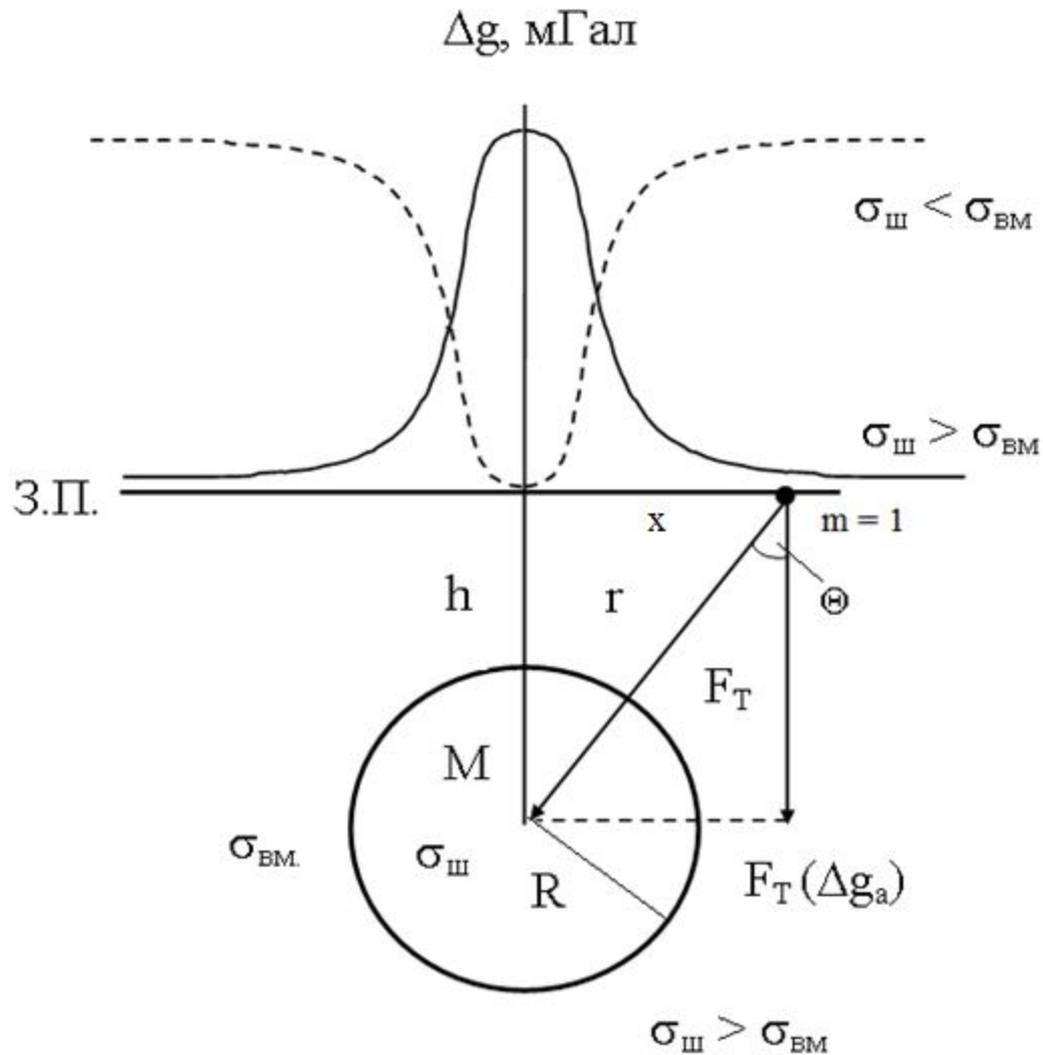
## **1. гравитационное поле над шаром**

$$F_{np} = G \frac{M \cdot (m = 1)}{r^2} = G \frac{M}{r^2};$$

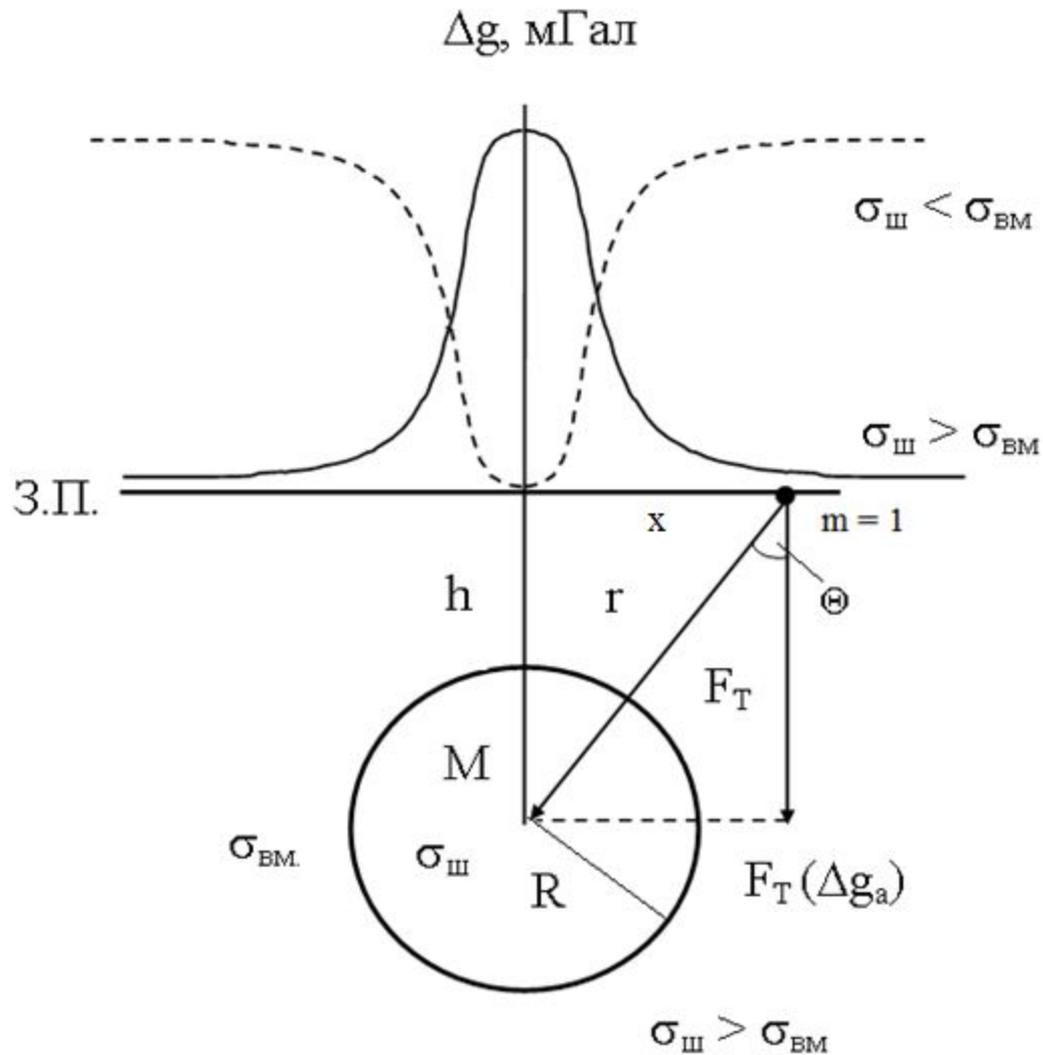
$$\Delta g_{np} = F \cdot \cos \Theta; \quad \cos \Theta = \frac{h}{r}; \quad r = \sqrt{x^2 + h^2};$$

$$\Delta g_a = \frac{GM}{r^2} \cdot \frac{h}{r} = \frac{GMh}{r^3} = \frac{GMh}{(x^2 + h^2)^{3/2}};$$

$$\text{при } x = 0 \quad \Delta g_a^{\max} = \frac{GM}{h^2};$$

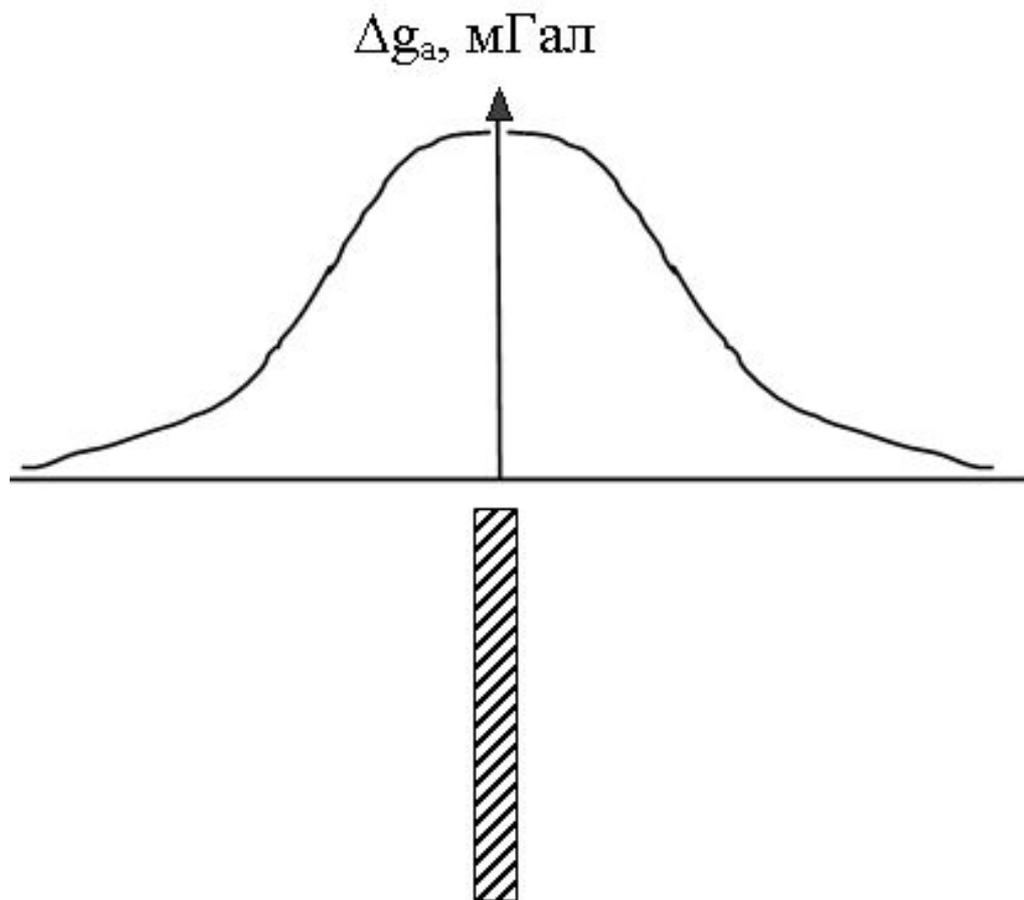


аппроксимируются рудные залежи, куполовидные нефтегазоносные структуры, соленые купола, карсты



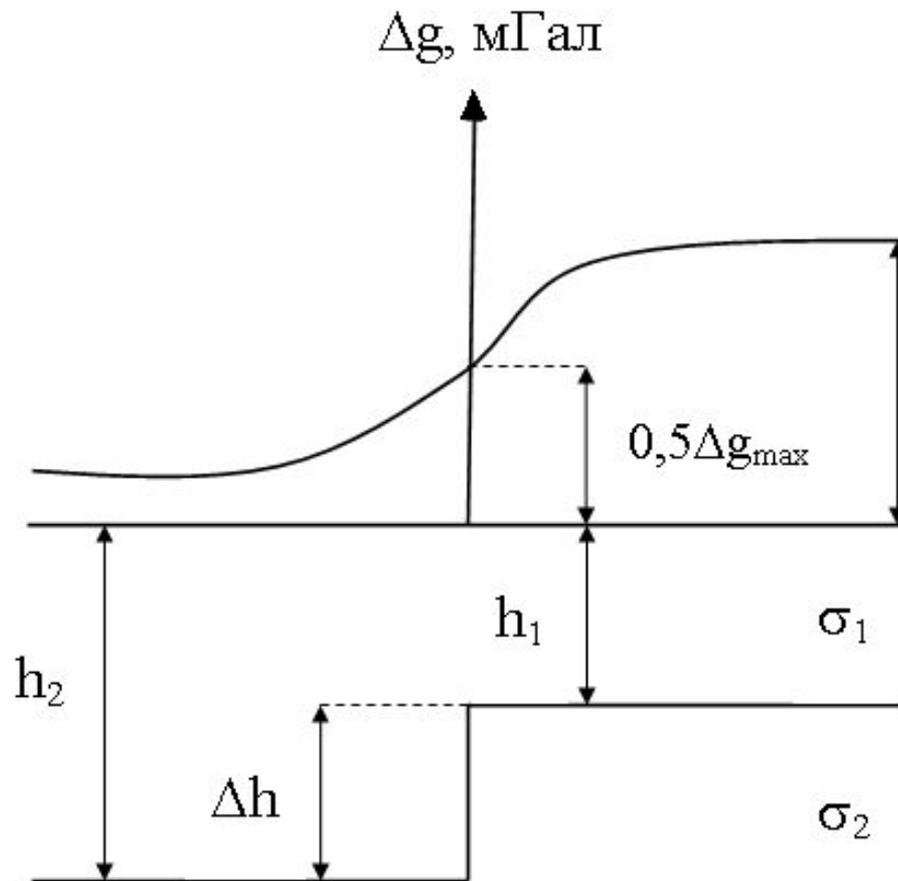
аппроксимируются рудные залежи, куполовидные нефтегазоносные структуры, соленые купола, карсты

## 2. гравитационное поле над вертикальным стержнем



аппроксимируются вертикальные дайки магматических тел,  
кимберлитовые трубки, штоки, зоны кор выветривания

### 3. гравитационное поле над вертикальным уступом



$$\Delta g_{\text{max}} = 2\pi G \Delta \sigma \Delta h;$$

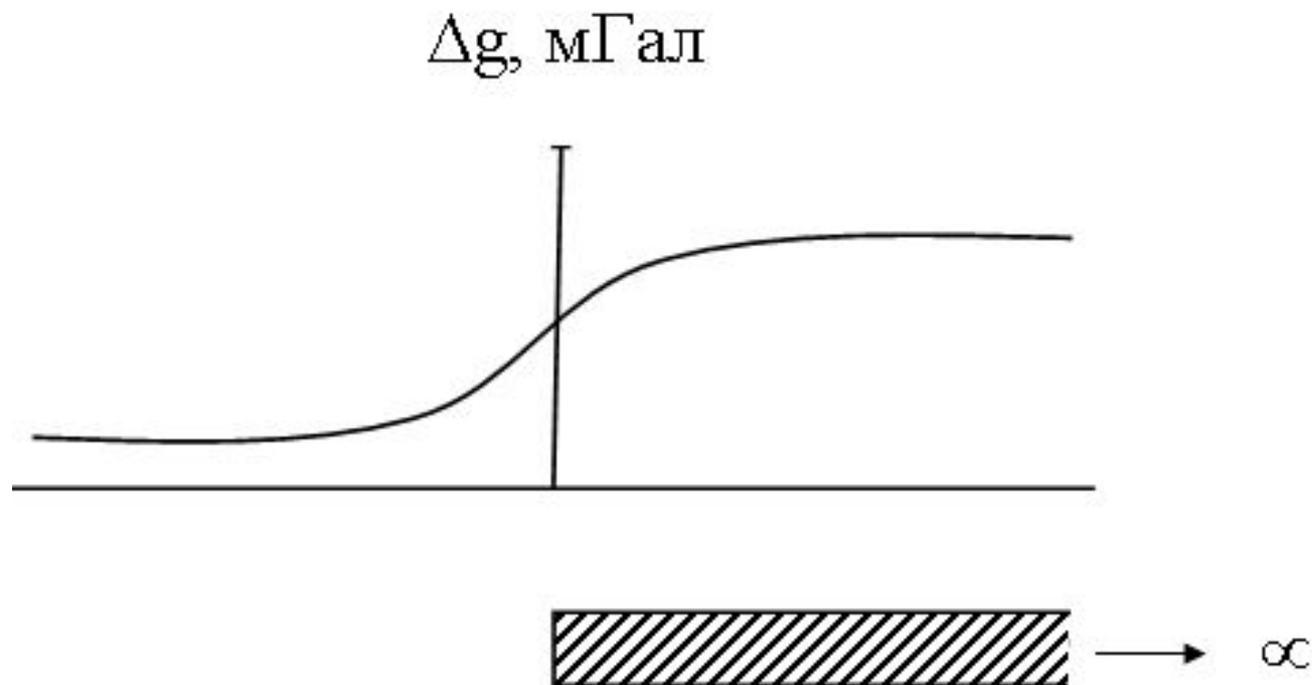
$$\Delta h = h_2 - h_1;$$

$$\Delta \sigma = \sigma_2 - \sigma_1;$$

$$\sigma_2 > \sigma_1$$

аппроксимируются сбросы, сдвиги, горсты,  
грабены, тектонические контакты мульд, кальдер

#### 4. гравитационное поле над горизонтальной полуплоскостью



аппроксимируются горизонтальные рудные залежи и зоны и выклинивания