



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

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

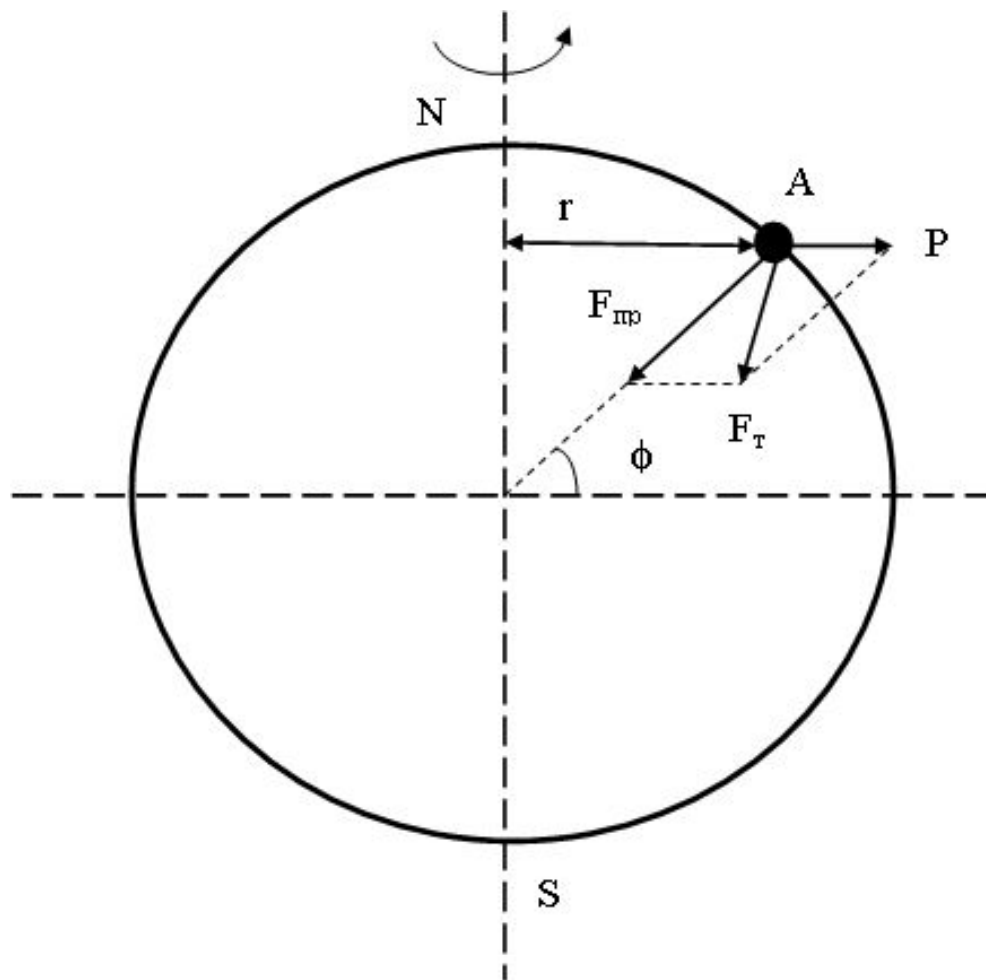
где G – гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{K^2}$

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); ω - 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 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/м³ (5,51 г/см³).

ПЛОТНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД И СПОСОБЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

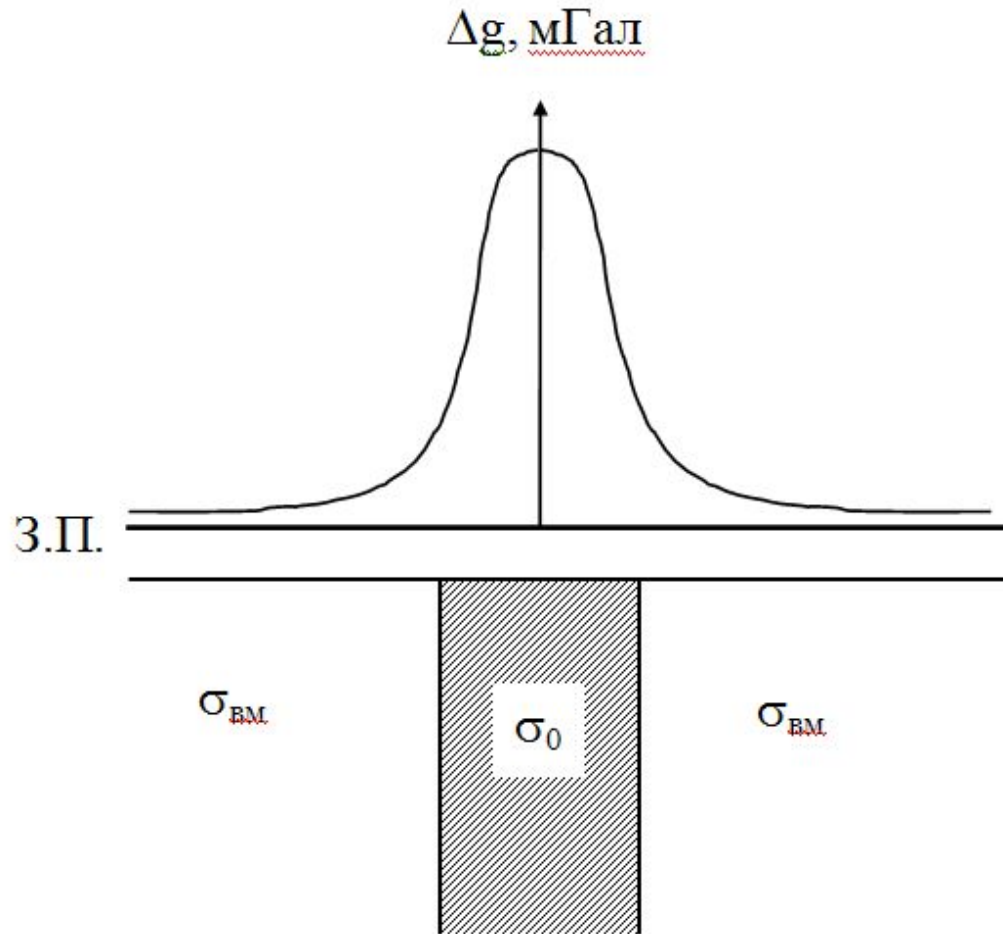
Плотностью горных пород (σ) называется отношение массы горной породы (m) к занимаемой ей объему (V).

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

Гравитационный эффект от тела объемом V и плотностью σ , находящегося в среде с плотностью σ_0 определяется избыточной массой $\Delta m = (\sigma - \sigma_0)V$, где $\sigma - \sigma_0$ – избыточная плотность.

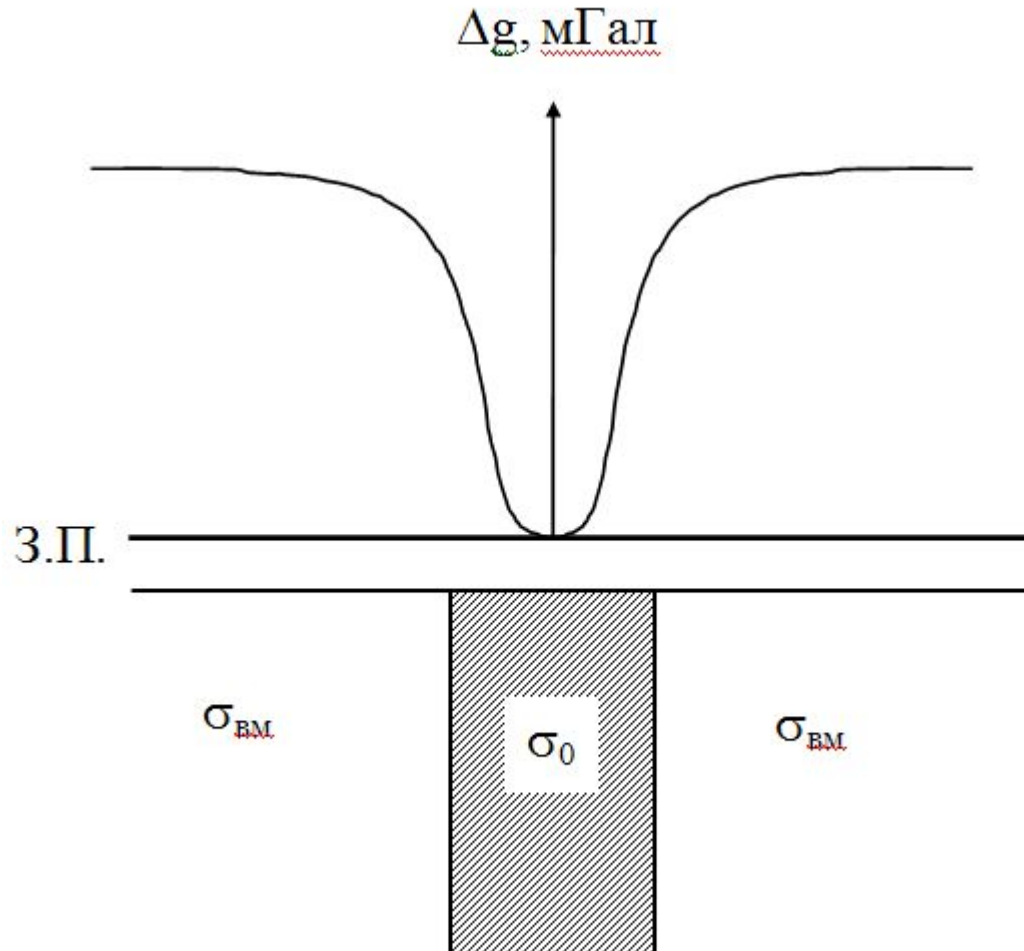
1. если $\sigma - \sigma_0 > 0$, то $\Delta m > 0 \Rightarrow \Delta g > 0$ (аномалия силы тяжести положительная);
2. если $\sigma - \sigma_0 < 0$, то $\Delta m < 0 \Rightarrow \Delta g < 0$ (аномалия силы тяжести отрицательная);
3. если $\sigma - \sigma_0 \approx 0$, то $\Delta m \approx 0 \Rightarrow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

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



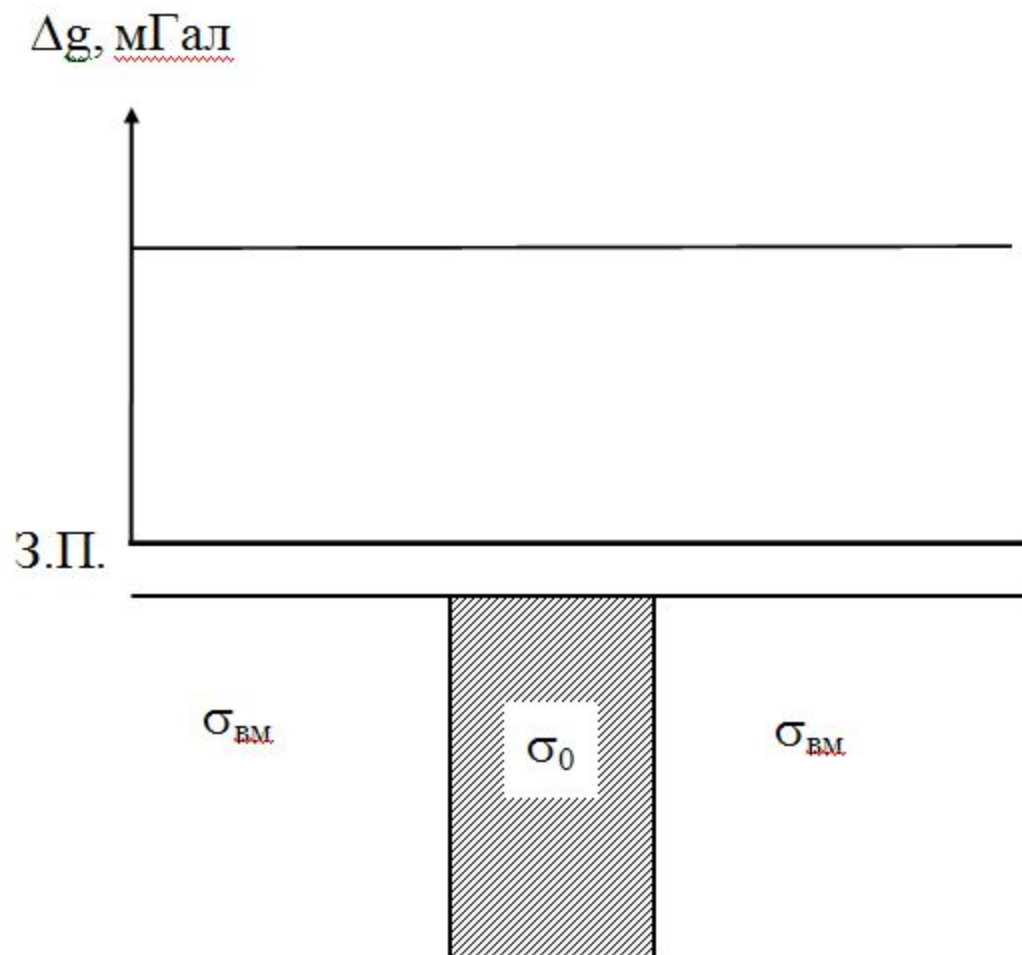
Положительные гравитационные аномалии наблюдаются на железно-рудных, меднокалчедановых, полиметаллических и других рудных месторождениях

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

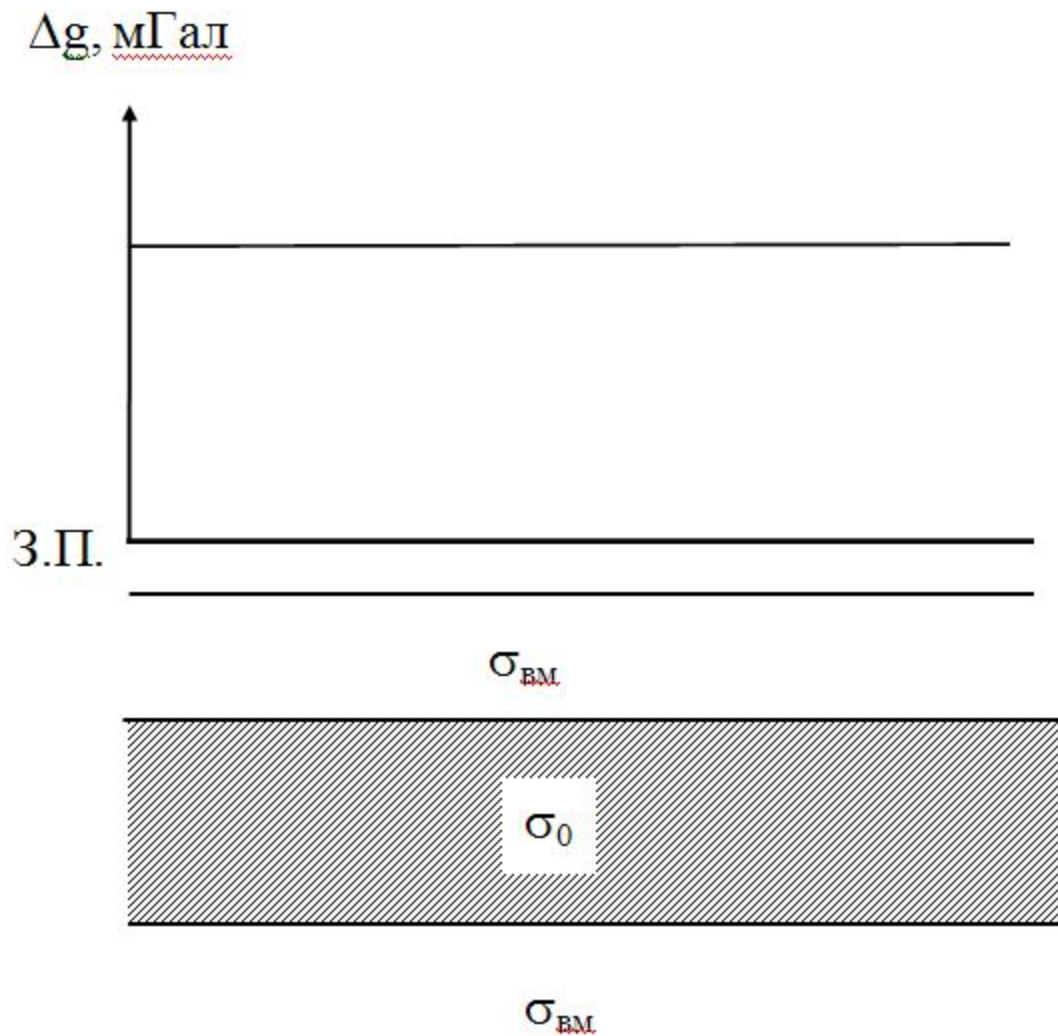


Таблица значений плотности горных пород

№	Название породы	Плотность, г/см ³
1	Эффузивные и интрузивные	
	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	Метаморфические (сланцы, гнейсы, мраморы)	2,6 - 2,9
3	Осадочные	
	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	Некоторые полезные ископаемые	
	Газ	0,002
	Нефть	0,7 - 1,1
	Уголь (бурый, каменный, антрацит)	0,8 - 1,5

№	Название породы	Плотность, г/см³
	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
	Разное	
	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.

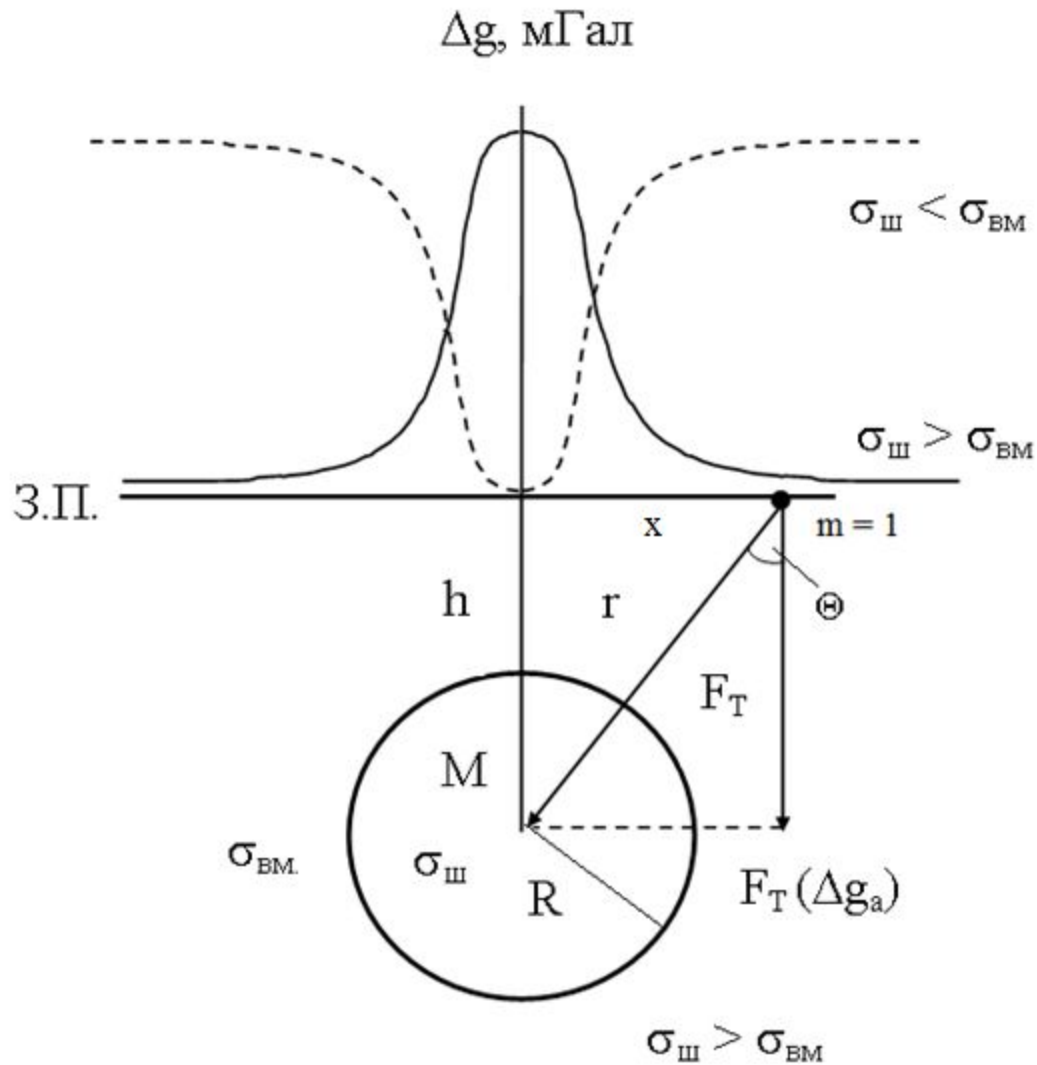
1. гравитационное поле над шаром

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

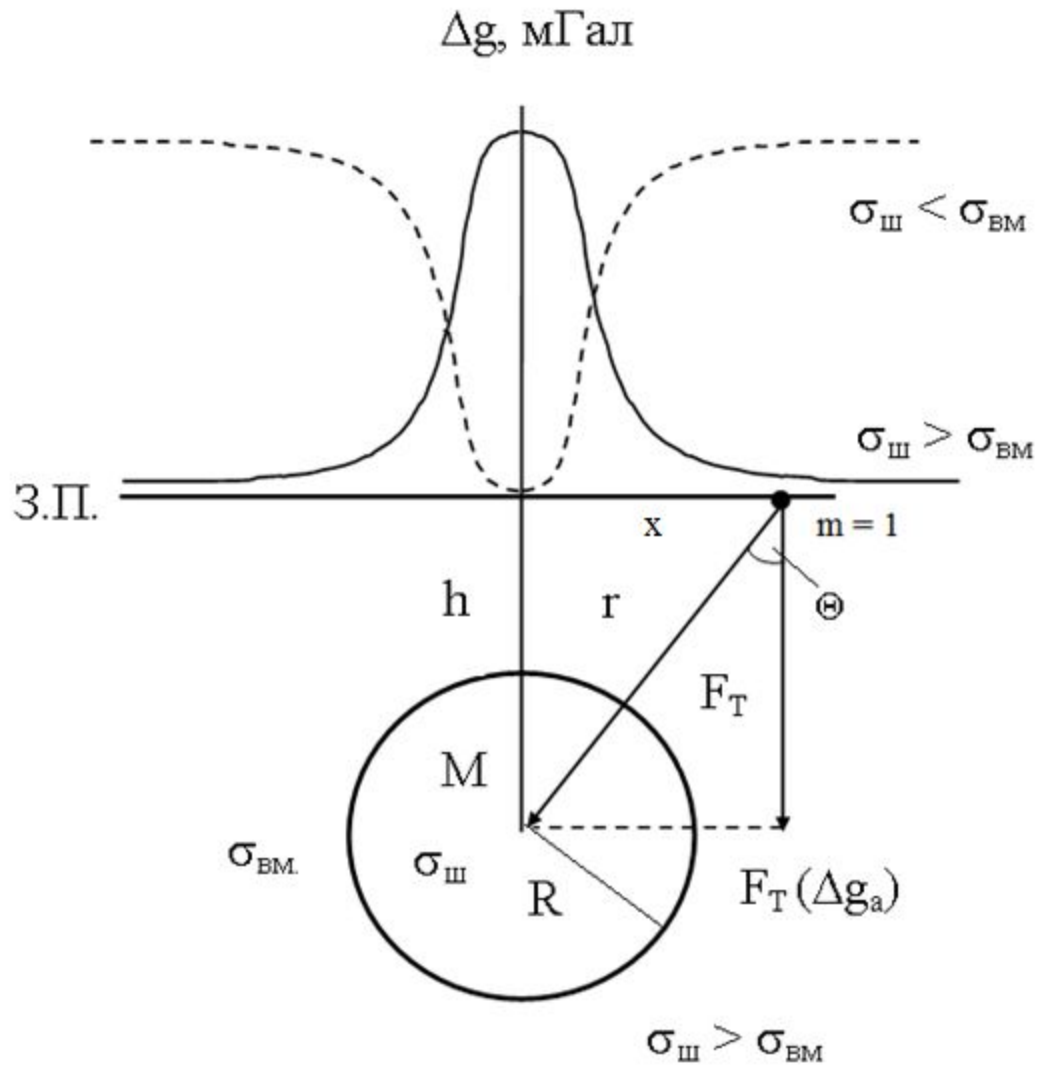
$$\Delta g_{np} = F \cdot \cos \Theta; \quad \cos \Theta = \frac{h}{r}; \quad r = \sqrt{x^2 + h^2};$$

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

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

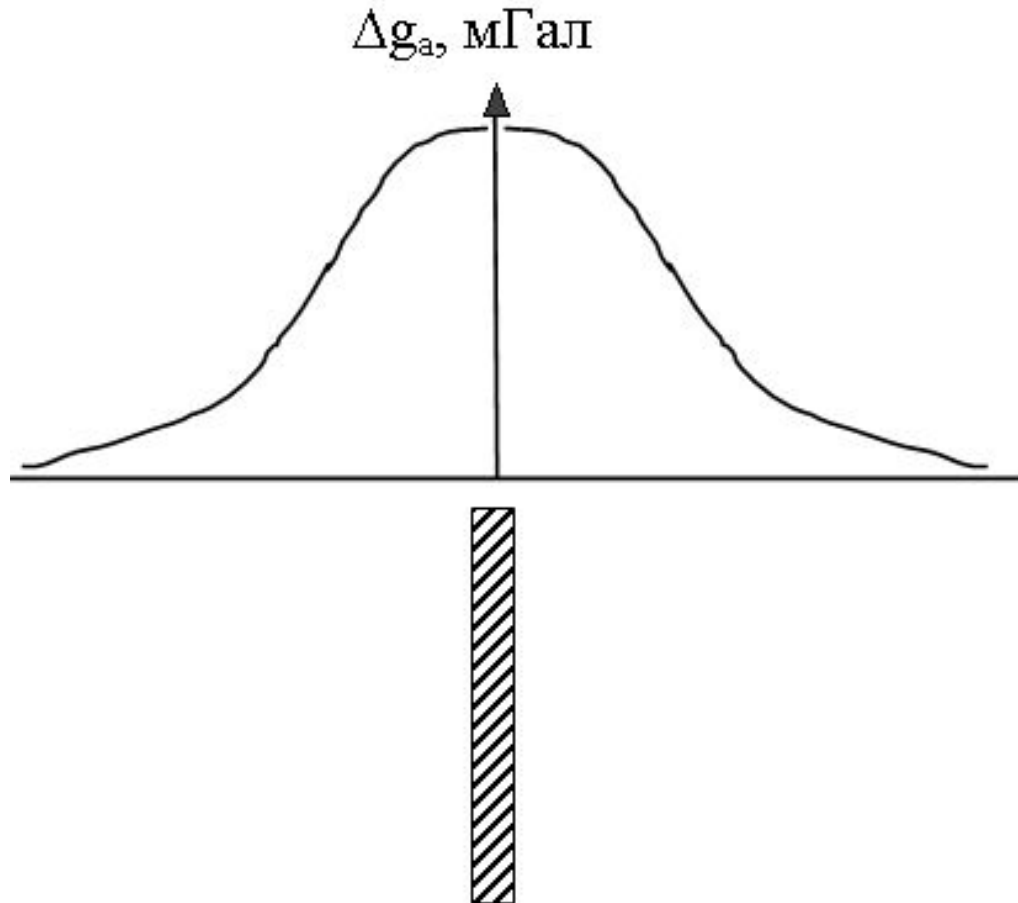


аппроксимируются рудные залежи, куполовидные нефтегазоносные структуры, соленые купола, карсты



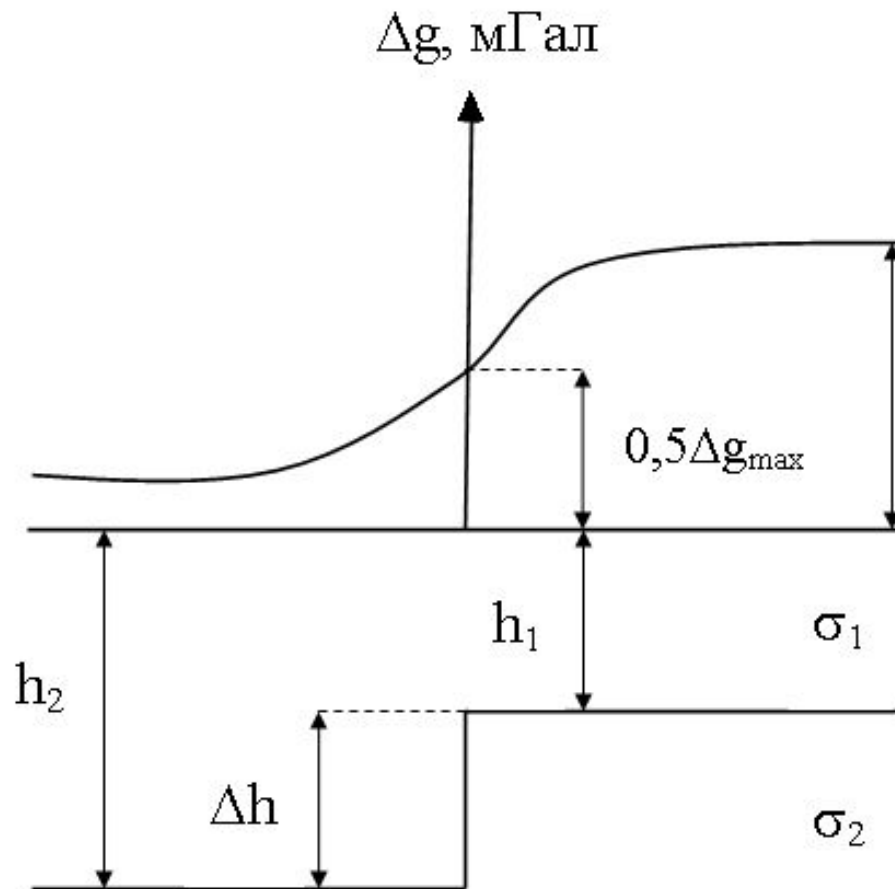
аппроксимируются рудные залежи, куполовидные нефтегазоносные структуры, соленые купола, карсты

2. гравитационное поле над вертикальным стержнем



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

3. гравитационное поле над вертикальным уступом



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

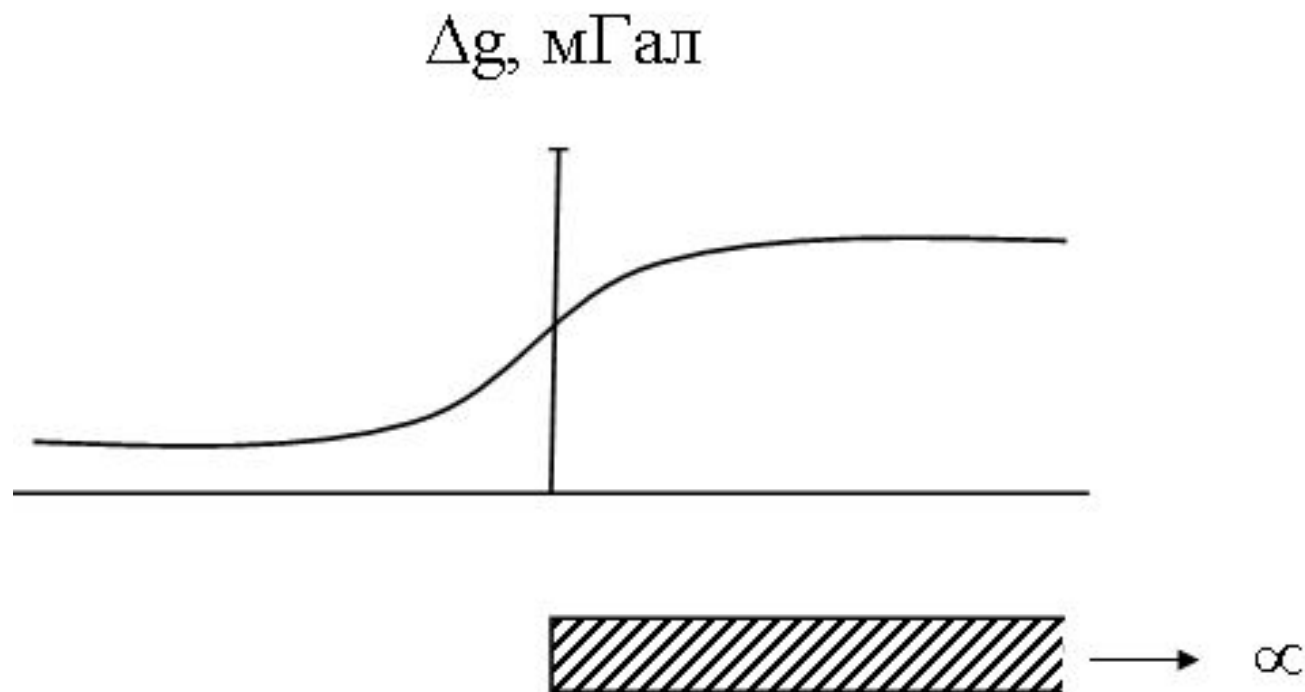
$$\Delta h = h_2 - h_1;$$

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

$$\sigma_2 > \sigma_1$$

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

4. гравитационное поле над горизонтальной полуплоскостью



аппроксимируются горизонтальные рудные залежи и зоны и выклинивания