

Г.А. Лобова

Дисциплина
«Полевая геофизика».

ГРАВИРАЗВЕДКА

Гравиразведка основана на изучении особенностей распределения гравитационного поля Земли.

Эти особенности обусловлены различием плотности горных пород, слагающих геологический разрез.

Особенности распределения гравитационного поля обусловлены также формой геологических тел.

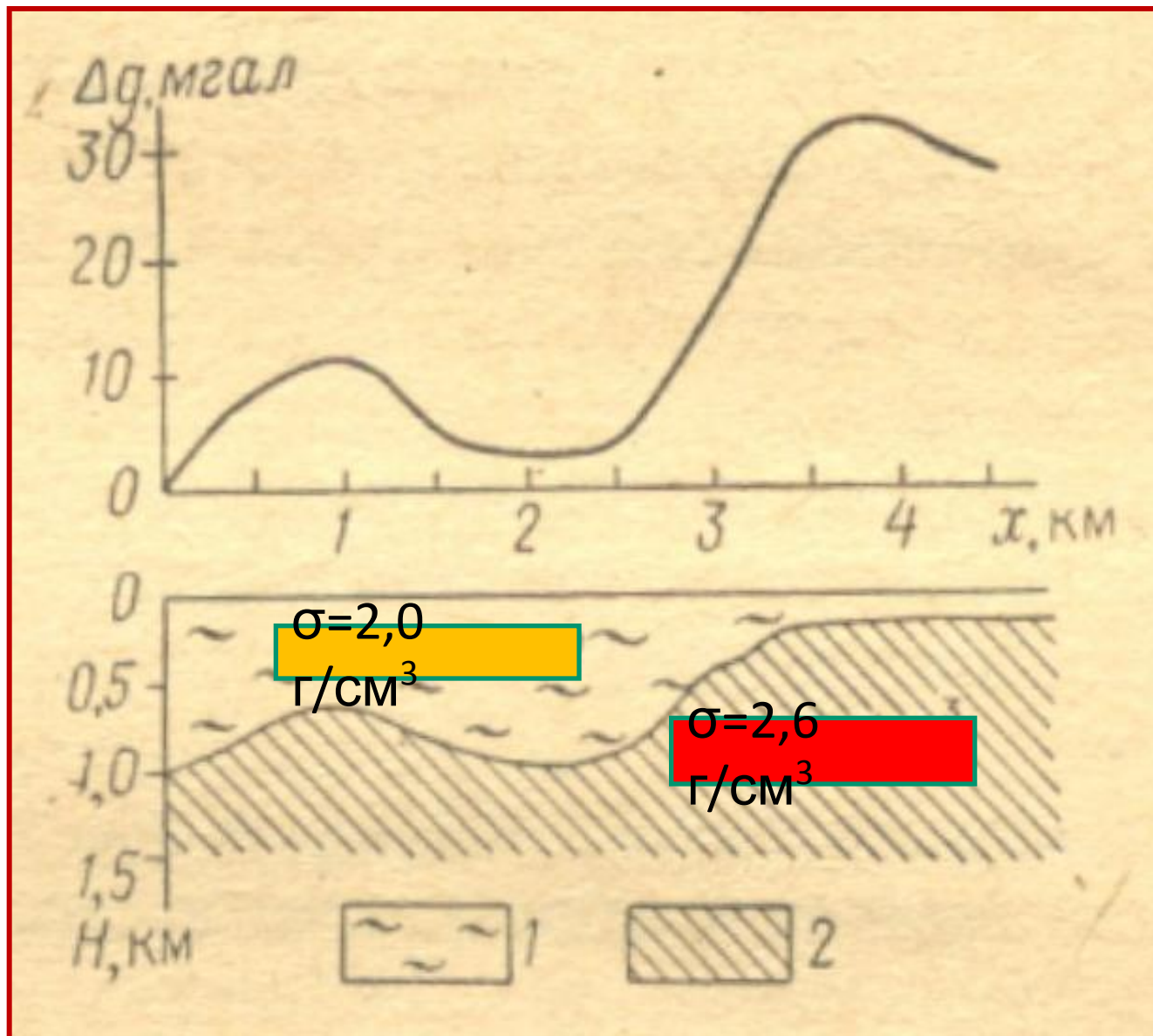
Многие геологические тела – антиклинальные складки, интрузии, зоны разломов, залежи полезных ископаемых, находят отражение в измеренном на поверхности Земли гравитационном поле.

Эти тела создают положительные и отрицательные аномалии.

Выявляя аномалии, изучая их размеры и интенсивность, можно определять местоположение и параметры геологических тел.

Аномалии геологических тел очень малы и составляют часто только 1/1 000 000 долю от полного значения гравитационного поля Земли.

Плотность горных пород



1-рыхлые породы
2-гранит

Плотность горных пород и руд

- **Плотность вещества** $\sigma = m/V$
- $\sigma = f$ (мин. состав, пористость, влажность) = φ (условия первичного формирования + последующих преобразований).
- **Избыточная плотность** $\Delta\sigma = \sigma_{\text{тела}} - \sigma_{\text{вмещ. среды}}$

Горные породы в общем случае состоят из 3-х фаз:
твёрдой, жидкой, газообразной.

Плотность пород в условиях естественного залегания:

$$\sigma = \frac{m_{\text{тв}} + m_{\text{жид}} + m_{\text{газ}}}{V_{\text{тв}} + V_{\text{жид}} + V_{\text{газ}}} = \frac{m}{V}$$

$$\sigma_{\text{мин}} = \frac{m_{\text{тв}}}{V_{\text{тв}}}$$

Минералогическая
плотность:

Объёмная плотность:

$$\sigma_V = (1 - k_i) \sigma_{\text{нê}} + k_i \sigma_{\text{ô}}$$

Единицы измерения: в СИ кг/м³, чаще используется единица СГС г/см³.

Плотность – индикатор геологических процессов.

$$\sigma(H) = \sigma_M - k_{\Pi} e^{-k_t \cdot H} \quad (2)$$

- H - глубина
- σ_M - минеральная плотность
- k_{Π} – коэффициент, пропорциональный пористости неуплотненных осадков
- k_t – коэффициент, учитывающий фактор геологического времени
- $e \rightarrow 1$ при $H=0$, тогда $\sigma(H) = \sigma$ неуплотненных осадков
- $e \rightarrow 0$ $H \rightarrow \infty$, тогда $\sigma(H) \rightarrow \sigma_M$

Плотность горных пород

- Плотность большинства породообразующих минералов земной коры изменяется в пределах от 2.5 г/см^3 до 3.2 г/см^3 .

Плотность
магматических
горных пород, г/см^3

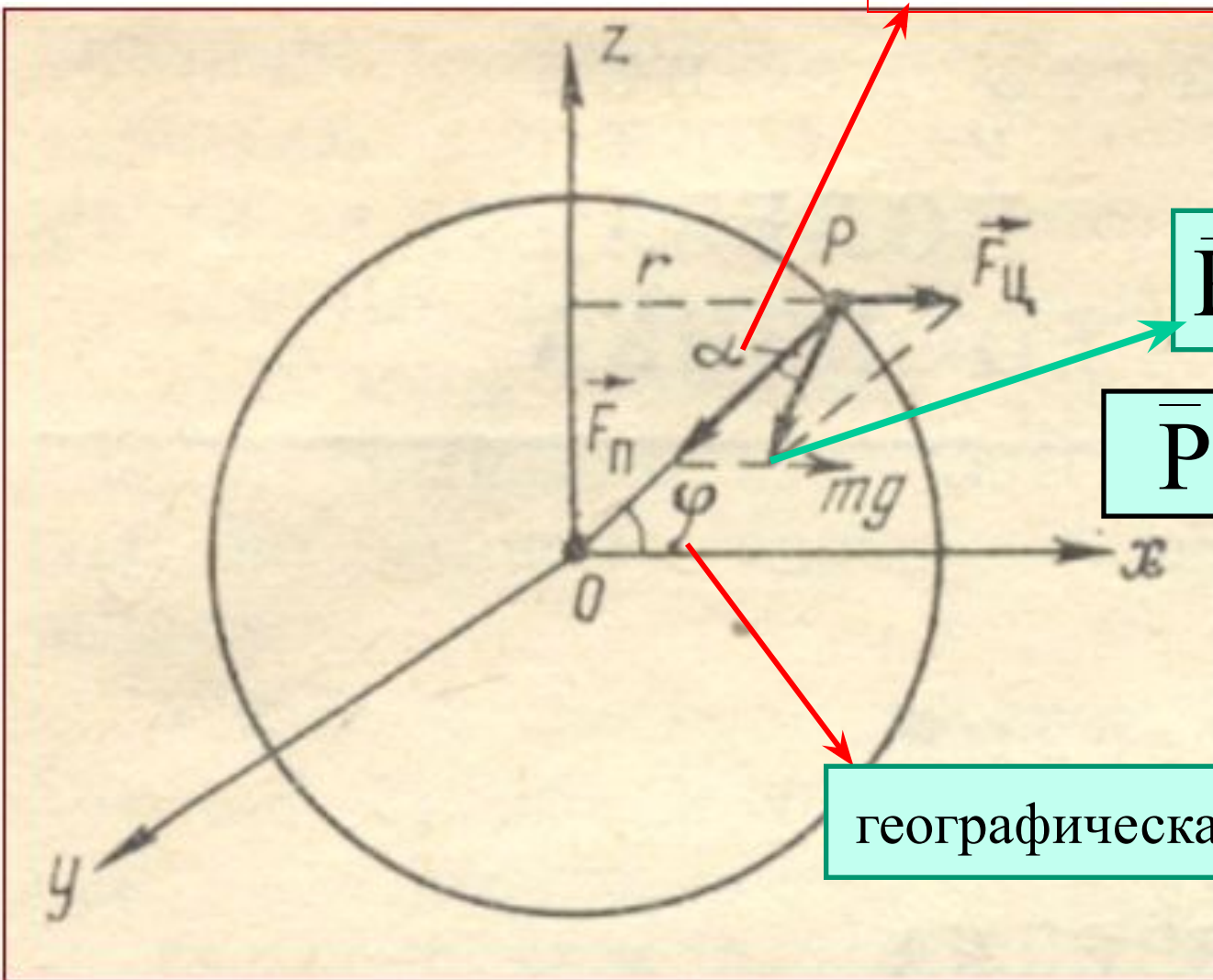
Гранит -2,6
Габбро -2,9
Базальт -3,0
Пироксенит -3,2

Плотность
осадочных горных
пород, г/см^3

Песок -2,1
Песчаник -2,3
Известняк -2,5
Соль- 2,15
Глина -2,3

Сила тяжести и ее составляющие

Отклонение направления силы тяжести от направления к центру Земли



$$\bar{P} = mg \quad (3)$$

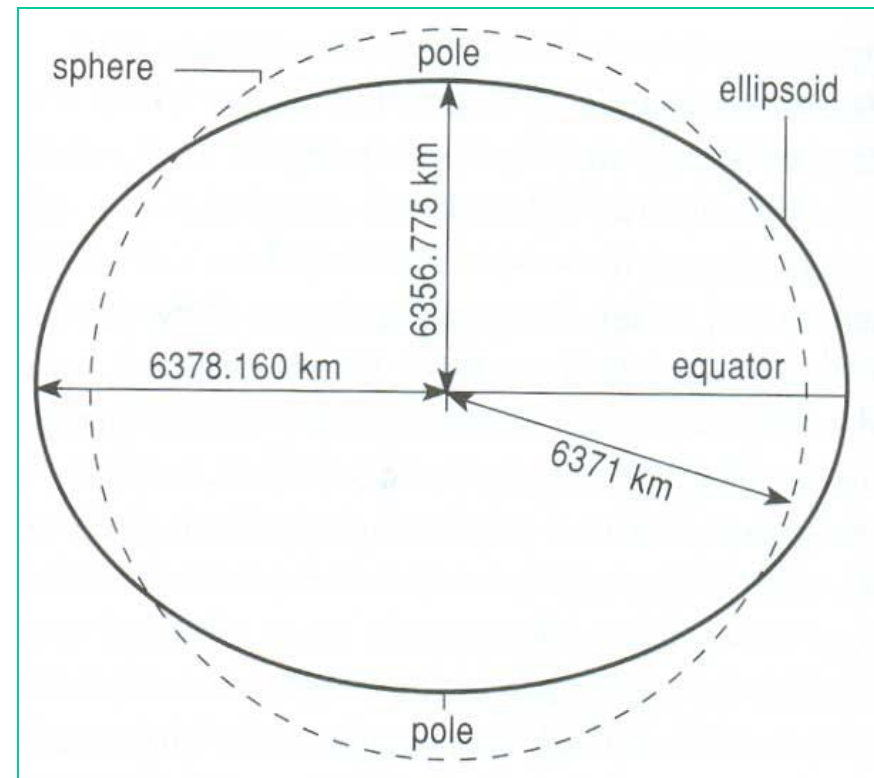
$$\bar{P} = \bar{F}_{П} + \bar{F}_{Ц} \quad (4)$$

географическая широта

I-е приближение – **шар** ($r_1 = r_2$),

II-е приближение – **эллипсоид**

III-е приближение – **геоид** - эквипотенциальная поверхность, которая расходится с эллипсоидом до ± 100 м.



В любой точке поверхности **равного потенциала** (эквипотенциальной поверхности) вектор силы тяжести всегда направлен перпендикулярно к эквипотенциальной поверхности



$$F_{\Pi} = G \frac{M m}{R^2} \quad (5)$$

$G = 6,67 * 10^{-11}$ (м³/кг с²) -гравитационная постоянная

$M = 5,974 \times 10^{24}$ кг – масса Земли

$R=6371$ км- средний радиус Земли

$$F_{\text{Ц}} = \frac{v^2}{r} m \quad (6)$$

r - расстояние от т. P до оси вращения Земли

v –линейная скорость вращения Земли, зависит от φ

(на экваторе = 460 м/с, на географических полюсах = 0)

Тогда, согласно (4)

$$P = G \frac{Mm}{R^2} + \frac{v^2}{r} m \quad (7)$$

Напряженность гравитационного поля

$$E_{\tilde{A}} = \frac{\bar{F}_{\tilde{A}}}{m} = g \quad (8)$$

Единицы измерения в СИ- м/с²

$$1\text{мГл} = 10^{-3}\text{Гл} = 10^{-5} \text{ м/с}^2$$

Если Землю считать шаром и пренебречь $F_{ц}$, то

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (9)$$

В гравиразведке g – **сила тяжести**
(ускорение свободного падения, напряженность)

Потенциал гравитационного поля (W)

$$\frac{\partial W}{\partial S} = g_s$$

(10) потенциал силы тяжести

$$W(x, y, z) = \text{const}$$

уровенная поверхность Земли
(эквипотенциальная)

$$W = G \frac{M}{R} \quad (11) \quad \text{потенциал силы тяжести идеальной Земли}$$

Продифференцируем по направлению $Z = R$ (радиус Земли)

$$\frac{\partial W}{\partial Z} = G \frac{M}{R^2} = g \quad (12)$$

$$W_{xz} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial W}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} = \frac{\partial g_z}{\partial x}$$

$$W_{yz} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial W}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} = \frac{\partial g_z}{\partial y}$$

$$W_{\Gamma} = \sqrt{W_{xz}^2 + W_{yz}^2}$$

$$W_{zz} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial W}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 W}{\partial z \partial z} = \frac{\partial g_z}{\partial z}$$

горизонтальные
градиенты силы
тяжести

полный горизонтальный
градиент силы тяжести

вертикальный
градиент

Внесистемная единица- Этвеш (Е)

1 Е соответствует изменению $g=0,1\text{мГал}$ на расстоянии 1 км

$$1\text{Е} = 10^{-9} \text{ с}^{-2}$$

Нормальное значение силы тяжести

$$\gamma_0 = \gamma_э (1 + \beta_1 \sin^2 \varphi - \beta_2 \sin^2 2\varphi)$$

Формула Кассиниса, Гельмерта и др.

γ_0 - нормальное значение силы тяжести для формы Земли в виде сфероида

$\gamma_э$ - значение силы тяжести на экваторе

β_1 и β_2 - коэффициенты, учитывающие влияние центробежной силы и сжатия сфероида

Обновленная формула Гельмерта (мГл):

$$\gamma_0 = \left[978030 \left(1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi \right) - 14 \right]$$

Аномалии силы тяжести

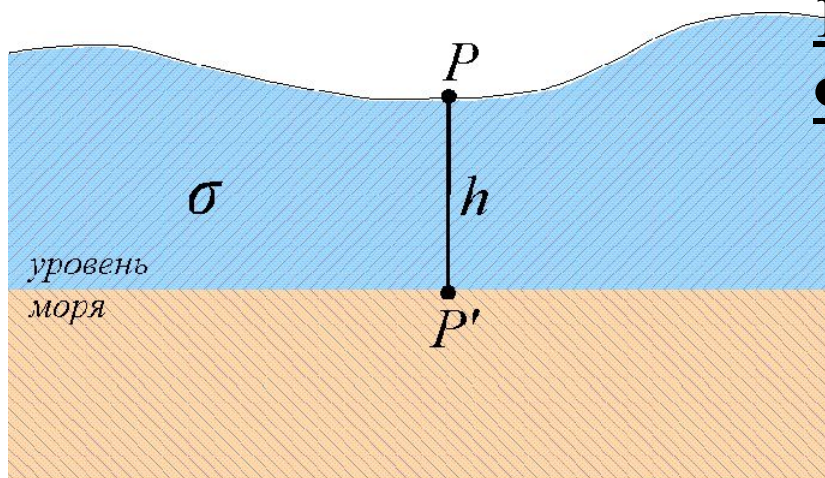
- Разность между наблюдаемым (измеренным) значением силы тяжести (g) и нормальным (γ_0) значением силы тяжести, называется
- аномалией силы тяжести (Δg):

$$\Delta g_a = g - \gamma_0.$$

- Наблюденное значение (g) включает нормальной поле Земли и поле, создаваемое плотностными неоднородностями геологического разреза.

Аномалии (Δg) обусловлены геологическими телами (локальными выступами подошвы осадочного чехла, интрузии, зоны разломов, соляные купола и пр.).

Определение поправок силы тяжести



1. Поправка за высоту (поправка Фая)

Нормальное значение силы тяжести

в т. P' :

$$\gamma \approx GM / R^2$$

Значение поля силы тяжести в т. P

$$\gamma_1 \approx GM / (R + h)^2$$

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

$$\delta g_h = GM \left[1 / R^2 - 1 / (R + h)^2 \right] \approx 2GMh / R^2 = 2\gamma h / R.$$

Здесь учтено, что $R \gg h$

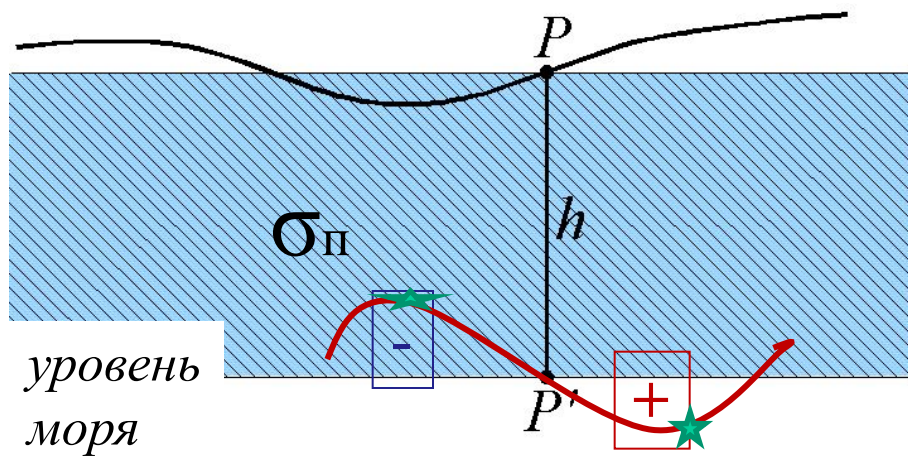
$$\delta g_h = 0.3086h$$

- поправка Фая (поправка за свободный воздух)

$$\delta g_a = g_i - \gamma + \delta g_h$$

аномалия в редукции Фая
(g_H - наблюдаемое поле)

Определение поправок силы тяжести



2. Поправка **за**
промежуточный **слой**
(поправка Буге) вводится для
 выровненного спокойного
 рельефа, когда массы
 промежуточного слоя можно
 представить в виде
 плоскопараллельного
 горизонтального слоя
 мощностью h :

$$\delta g_i = -0,0418\sigma_i h$$

При расположении точки наблюдения выше уровня моря поправку δg_i берут с минусом, ниже уровня моря- с плюсом.

В районах с сильно пересеченной местностью поправка за промежуточный слой становится слишком грубым приближением.

Тогда вводится поправка за окружающий рельеф (топографическая)

Поправка за рельеф, которая рассчитывается по специальной формуле, всегда занижает наблюдаемое значение, поэтому ее вводят в формулу всегда со знаком +.

Тогда поправка Буге, или полная поправка за промежуточный слой, имеет вид:

$$\delta g_i = -0,0418\sigma_i h + \delta g_\delta$$

Аномалия в редукации Буге (Δg_{aB})

представляет собой разность
наблюденного и теоретического полей
силы тяжести при введении
соответствующих поправок:

$$\Delta g_{aA} = g_i - \gamma_0 + (0,3086 - 0,0419\sigma)h + \partial g_{\delta}$$

При высокоточной съемке учитывают притяжение Луны и Солнца.

Поправка за притяжение Луны – max= 0,25 мГл

Поправка за притяжение Солнца – max= 0,1 мГл

Методы измерения силы тяжести и аппаратура

- Гравиметрическая аппаратура по назначению разделяется:
 - 1) Для измерения абсолютных значений силы тяжести;
 - 2) Для измерения относительных изменений силы тяжести;
 - 3) Для измерений градиентов силы тяжести.
- Измерения абсолютных значений выполняется в редких случаях (в лабораториях). Аппаратура громоздкая (сотни кг) и в практике гравиразведки не используется.
- Для измерений используют маятниковые приборы.
- Относительные измерения силы тяжести – производится определение приращения Δg по отношению к какому-то известному значению.
- Для измерений используются маятниковые приборы и гравиметры.

Измерения выполняются динамическими и статическими методами.

При динамических методах наблюдается движение тела под действием силы тяжести, при этом измеряемой величиной является время.

(Измерения могут быть и абсолютные и относительные).

При статических методах наблюдается изменение положения равновесия тела под действием силы тяжести и некоторой другой силой, уравновешивающей силу тяжести.

(Измерения могут быть только относительными).

Динамические методы относительных измерений силы тяжести

- Динамических методы:

- качание маятника,
- падение тел,
- колебания упругих нитей.

- Движение маятника описывается законом:

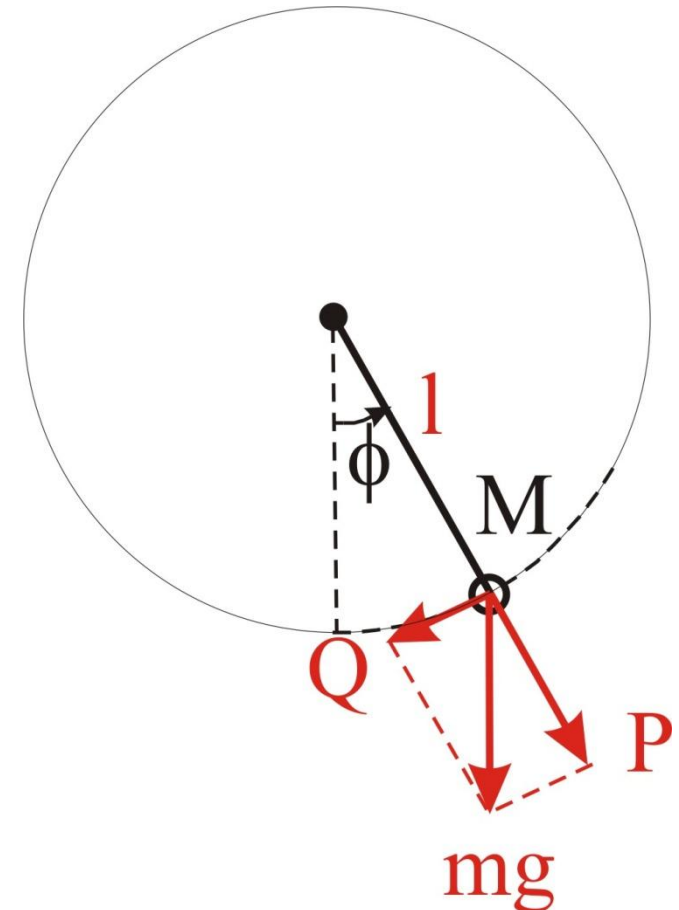
$$T = \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Период колебаний не зависит от амплитуды – **изохронность**.

Измерив периоды колебаний в точке опорной сети (где известно g_0) и в изучаемой точке “i” можно определить

$$g_i = g_0 \frac{T_0^2}{T_i^2}$$

Маятник



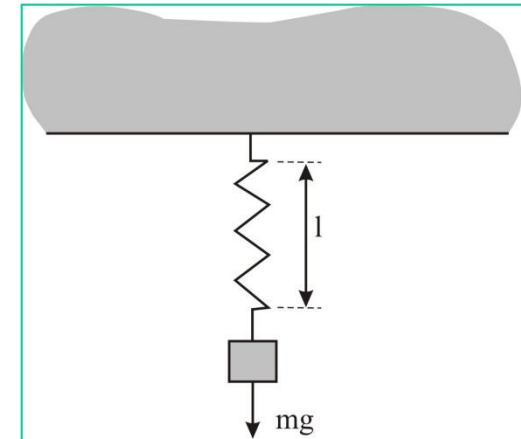
Статические методы

- Компенсация силы тяжести грузика с массой « m » выполняется за счет упругости жидкости или газа, а также электрическими, магнитными или механическими силами.
- Широко применяются механические пружинные системы. Под действием веса (mg) пружина растягивается и достигает равновесия при $m \cdot g = \tau \cdot l$ где l -длина пружины; τ -коэф. упругости пружины.

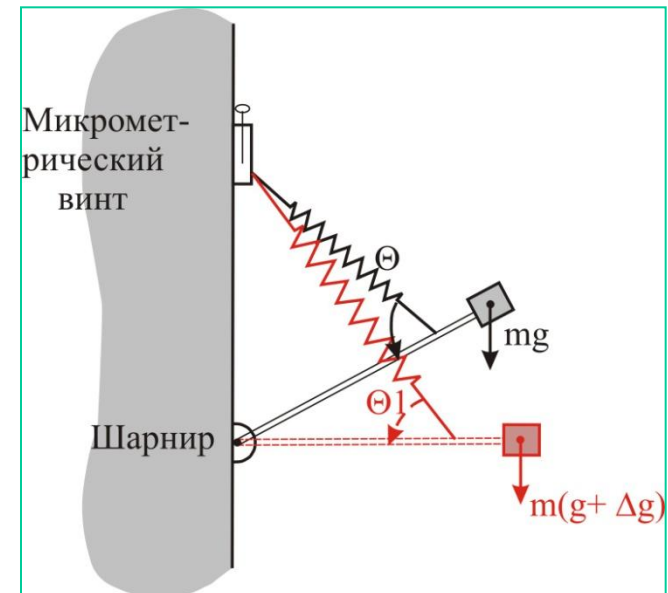
Измеряют относительные изменения поля силы тяжести относительно известного значения в опорной точке.

$$m \cdot g_0 = \tau \cdot l_0 \qquad m \cdot g_i = \tau \cdot g_i$$

$$\Rightarrow \Delta g = \frac{\tau}{m} \cdot \Delta l$$



Гравиметры “La Coste”
“Romblor”



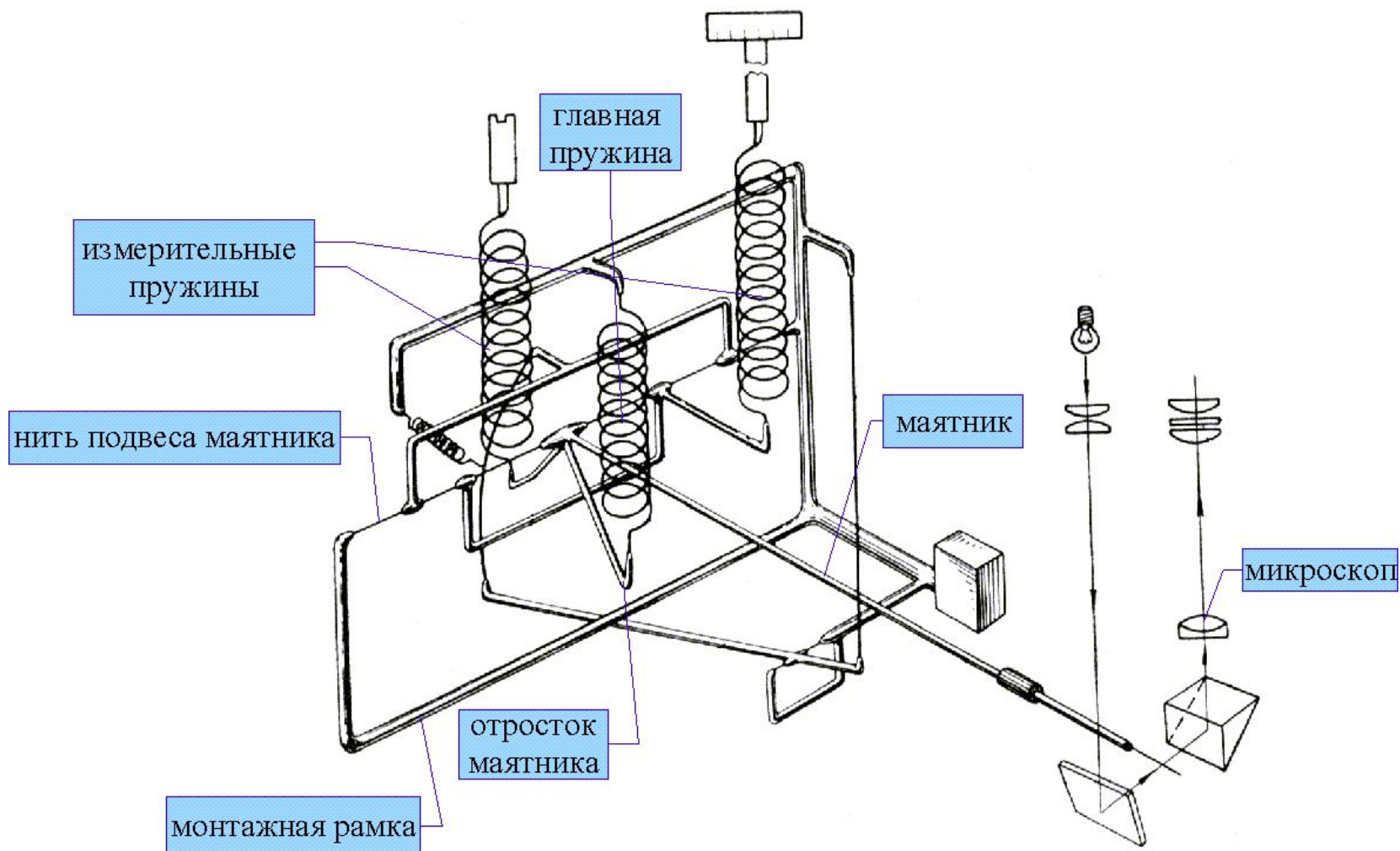
- В практике гравиразведки широкое применение получил относительный способ измерения силы тяжести, т. е. измерения приращений в двух точках с помощью гравиметров - приборов, в которых сила тяжести сравнивается с силой деформации упругих материалов.
- Большинство гравиметров построено по принципу пружинных весов, где в качестве уравновешивающей силы используют силу кручения горизонтальной нити, на которой укреплен рычаг - маятник с массой m .
- Гравиметрические приборы- одни из самых точных, они измеряют вариации гравитационного поля с точностью до стомиллионных долей.

- Для повышения чувствительности гравиметра при малых изменениях Δg используют астазирование, когда чувствительная система находится в неустойчивом равновесии.

Небольшие изменения силы тяжести приводят к тому, что равновесие нарушается, в результате чего маятник прибора отклоняется на достаточно большой угол φ , что позволяет расширить интервал измерения в 10 раз и более.

- Гравиметрические приборы- одни из самых точных, они измеряют вариации гравитационного поля с точностью до стомиллионных долей.

СИСТЕМА КВАРЦЕВОГО АСТАЗИРОВАННОГО ГРАВИМЕТРА



Чувствительная система основных
отечественных гравиметров:

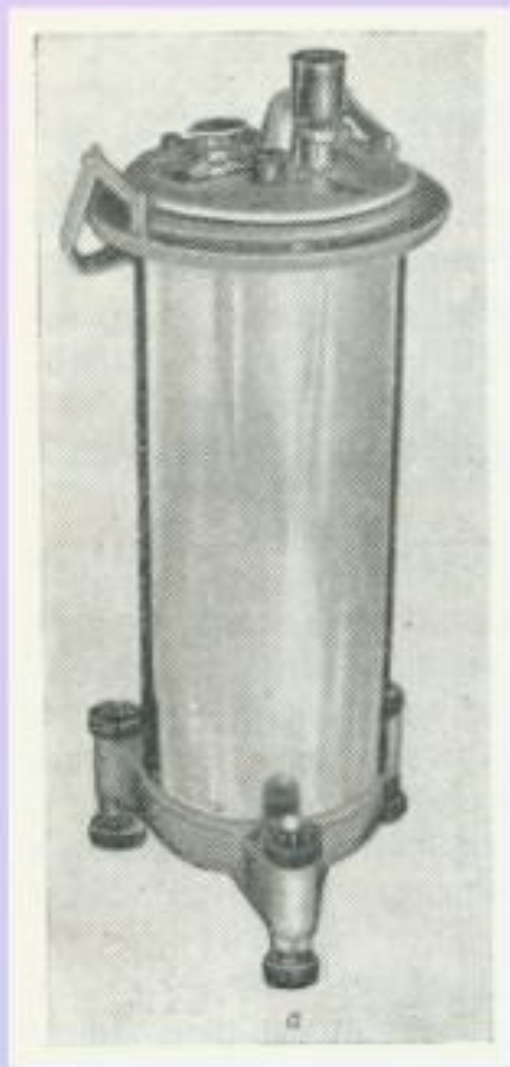
ГНУ-КА (В, С) [гравиметр наземный
узкодиапазонный кварцевый класс точности А
(В,С)];

ГНШ-КА (В, С) [гравиметр наземный
широкодиапазонный кварцевый класс точности
А (В,С)] и других выполнена из плавленого
кварца.

Некоторые, в основном зарубежные,
гравиметры имеют металлическую пружину.

- Для изучения силы тяжести на море применяют морской наботный гравиметр (например, ГМН), в котором кварцевую астазированную систему помещают в жидкость с повышенной вязкостью.
-
- Высокочастотные изменения Δg , 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

Наземный гравиметр



Скважинный гравиметр



Морской гравиметр

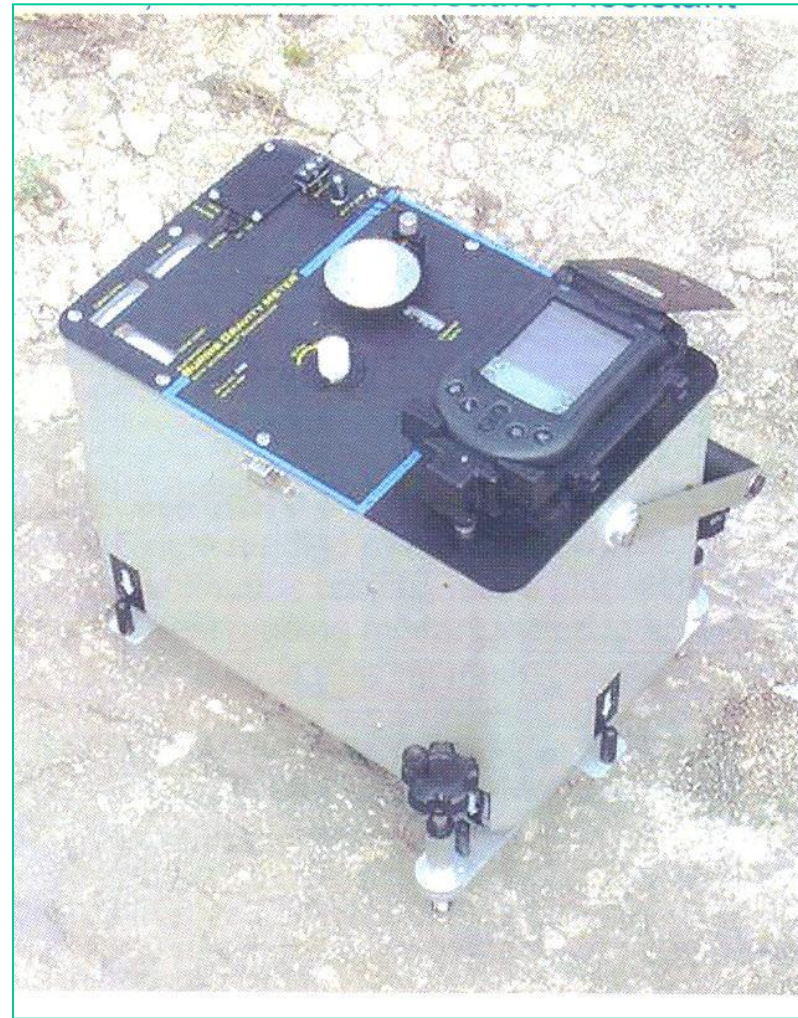


Современные гравиметры (Burriss Gravity Metertm) включают:

- батарею (12-14 часов):
- микропроцессор с автоматическим считыванием и записи показаний прибора и контролем ошибок,
- систему выравнивания гравиметра,
- металлическую измерительную пружину.

Погрешность стандартного гравиметра -0.05 мГл, высокоточного – до 0.0002 мГл.

Вес – около 8 кг.



Учет внешних воздействий на гравиметр

- **Прибор очень чувствителен к внешнему воздействию:**

1) **Учет влияния температуры** (до 120мг/град)

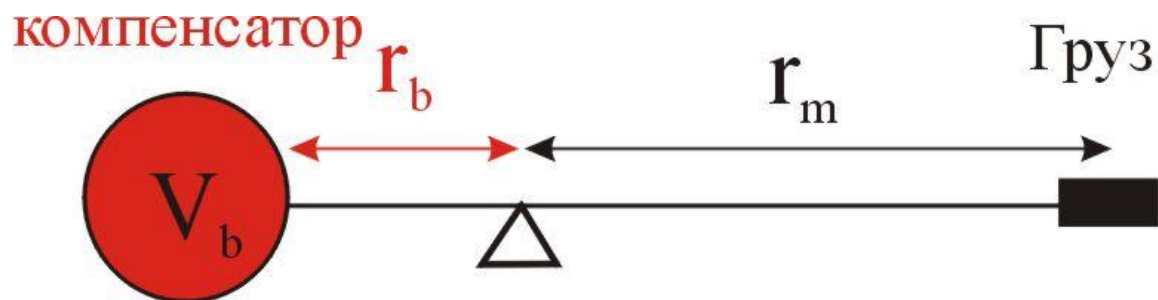
- прибор помещают в сосуд Дьюара, а тот – в теплоизолирующий корпус,
- используется «линейный температурный компенсатор» (дополнительная рамка, которая под действием температуры стремится повернуть измерительную рамку в обратную сторону),
- используется устройство нелинейной компенсации температурного влияния.

Суммарно температурный коэффициент до **0.2 мГал/град.**

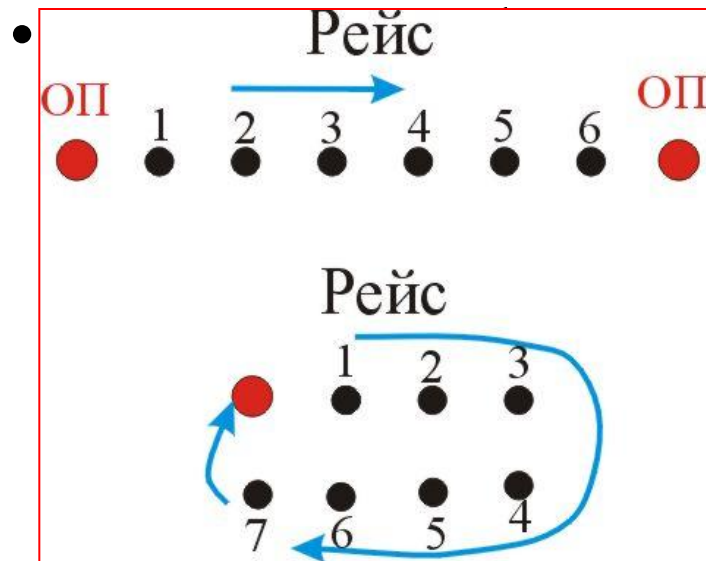
2) Учет влияния барометрического давления.

- чувствительная система помещается в герметическую камеру,
- устанавливается барометрический компенсатор (на противоположном грузу конце рычага помещают полый груз, т.о. чтобы его объемный момент был равен объемному моменту груза).

$$V_m \cdot r_m = V_b \cdot r_b$$



- 3) **Нелинейное смещение во времени «нуль-пункта».**
- Вызвано неидеальной упругостью измерительной системы: под нагрузкой упругие свойства материала, из которого выполнен чувствительный элемент гравиметра, изменяется во времени.
- Это главная погрешность. Ее устранение обеспечивается системой наблюдений с возвратом на исходный пункт опорной сети с известным уровнем поля.



Строятся графики смещения нуль-пункта по результатам повторных наблюдений в одних и тех же пунктах в различные моменты времени в течение рабочего дня.

Методика проведения гравиразведочных работ

Основным в методике гравиразведки является:

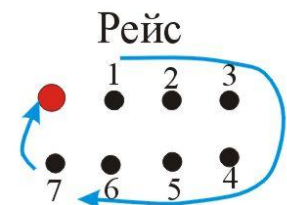
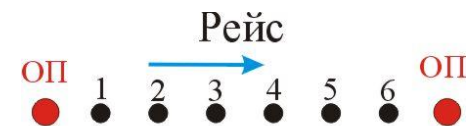
- 1) выбор характера, масштаба, вида съемки и системы наблюдения;
- 2) расчет проектной погрешности съемки;
- 3) система обхода точек наблюдений;
- 4) контрольные наблюдения;
- 5) представление результатов гравиметрической съемки.

Масштабы и типы гравиметрических съемок

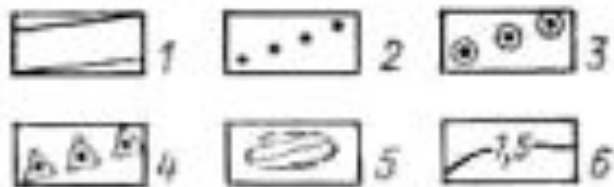
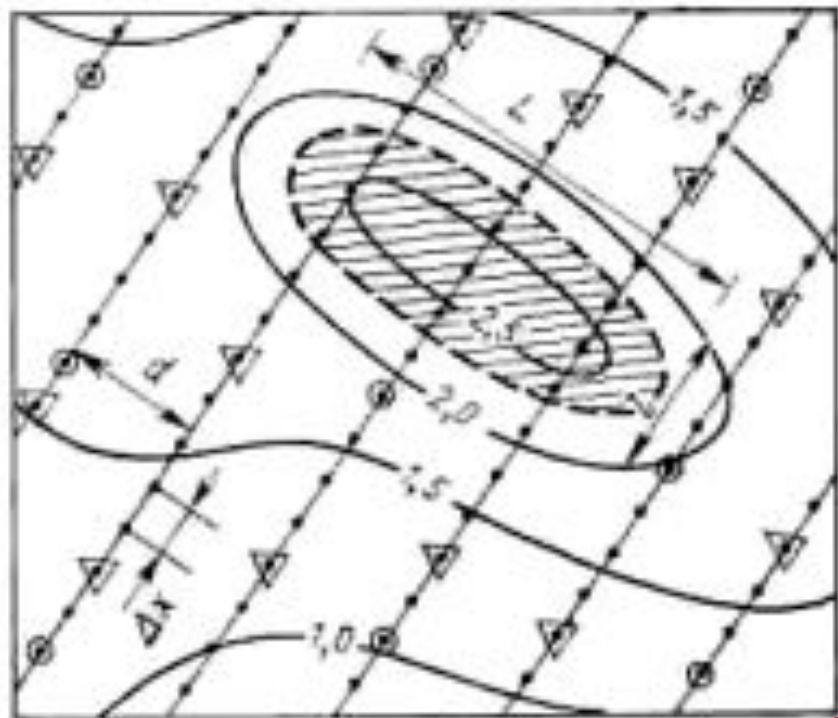
- **Гравиметрическая съемка** - измерения силы тяжести в отдельных пунктах и на площадях исследований с целью получения картины распределения гравитационных аномалий.
- **По масштабу исследований и решаемым задачам:**
 - региональные съемки – геол.структурные и прогнозно-минерагенич. задачи.
 - детальные съемки – поиски МПИ, моделирование структур и рудных объектов.
- **По расположению точек измерения:**
 - профильные,
 - площадные.
- **По расположению приборов относительно дневной поверхности:**
 - наземные,
 - подземные,
 - аэро (приборы часто струнные, велика погрешность измерения 1.5-2 мГл – значительно больше наземной).

• Гравиметрические съемки осуществляются рейсам.

- **Рейс** – совокупность последовательных наблюдений, объединенных общим учетом смещения «нуль-пункта».



Выбор характера, масштаба, вида съемки и системы наблюдений



По характеру расположения точек наблюдения на исследуемой площади гравиметрическая съемка может быть **профильной** (маршрутной) и **площадной**.

Схема расположения точек наблюдения и карта аномалии при гравиметрической съемке

1 - профили; 2-4 – рядовые, опорные и контрольные точки наблюдения; 5 - предполагаемое простираение искомого геологического объекта; 6-изоаномалы Δg .

- *Маршрутную съемку* выполняют по отдельным профилям (маршрутам), которые задают в крест 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 в крест предполагаемого простирания изучаемых структур, иметь протяженность, в 5-10 раз превышающую поперечные размеры искомым 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 Δx , 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.

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.

Погрешность съемки

- Проектную погрешность съемки (среднюю квадратическую погрешность определения Δg) выбирают в зависимости от масштаба съемки и интенсивности предполагаемых аномалий Δg 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 Δg .

- **Погрешность наблюдений** по опорной сети характеризуется средней квадратической ошибкой, которую рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon_{\hat{I}\ddot{I}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{m-n}}$$

- где δ_i - погрешность силы тяжести по контрольным наблюдениям (разность между основным и контрольным замерами);
- m - общее число всех наблюдений (включая контрольные);
- n - число контрольных точек

- **Общую погрешность** выполненных гравиметрических наблюдений оценивают средней квадратической ошибкой расчета аномалий Буге по формуле:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\varepsilon_{\hat{I}\hat{I}}^2 + \varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{\hat{O}}^2 + \varepsilon_A^2 + \varepsilon_{\gamma}^2}$$

где ε_{ϕ} - погрешность введения поправок за свободный воздух (зависит от погрешности задания высоты пункта наблюдения h);

- ε_B - погрешность введения поправки Буге (включает погрешность определения высоты и средней плотности пород);
- ε_{γ} - погрешность расчета нормального гравитационного поля (связана с погрешностью вычисления γ_0 и определения координат точек наблюдения);
- ε_r - погрешность учета влияния масс рельефа.

Первичная обработка результатов и качественная интерпретация

- *На региональном этапе* работ гравиразведка позволяет главным образом определить мощности осадочных отложений (чехла), рельеф фундамента.
- *На поисковом этапе* работ выявляются локальные аномалии. С которыми связаны перспективные в отношении нефти и газа антиклинальные складки, а также зоны разломов, отдельные тела интрузий.
- *На разведочном этапе* (высокоточная гравиразведка) уточняется геометрия локальных структур и латеральные плотностные неоднородности.
- В этом случае данные интерпретируются вместе с данными бурения и сейсморазведки.

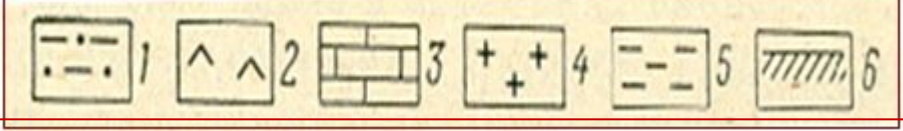
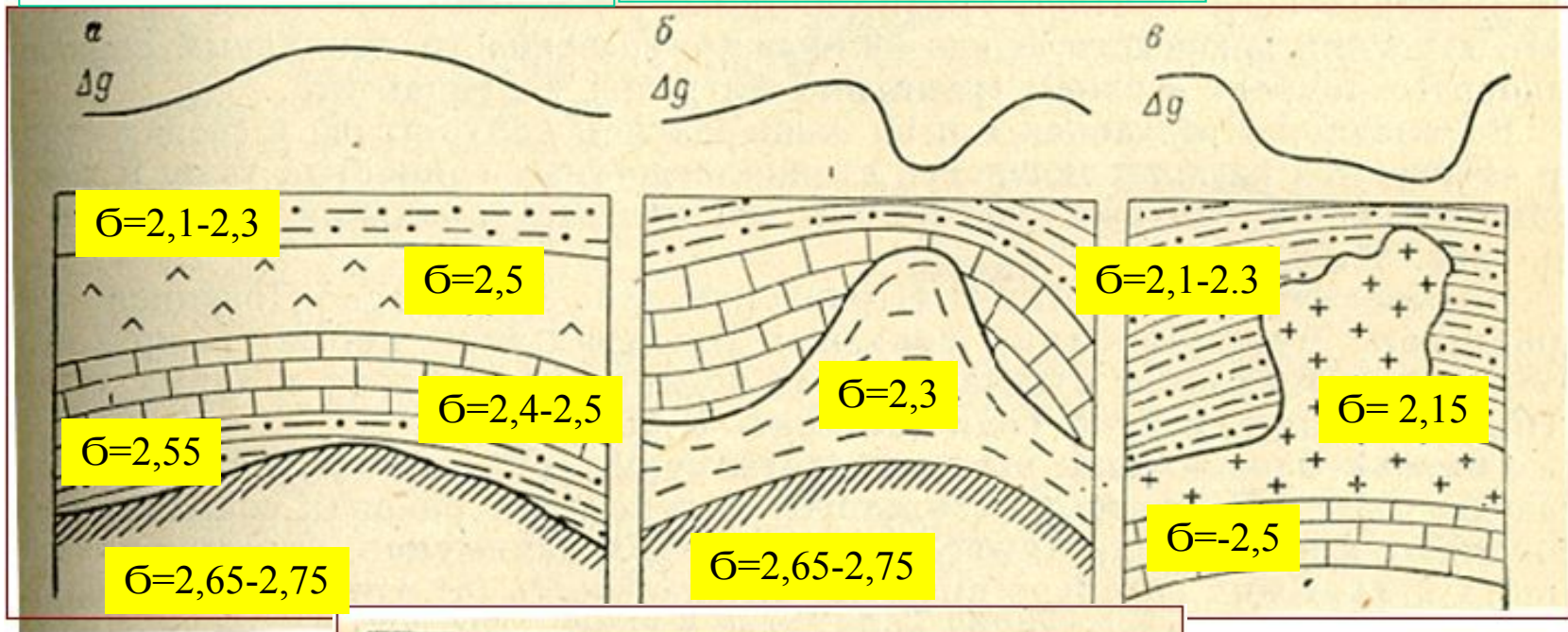
Примеры **качественной** интерпретации аномальных значений силы тяжести Δg_B

Обратное отображение структуры локальной аномалией

Прямое отображение структуры локальной аномалией

Минимум Δg над локальной структурой с раздувом глинистых толщ в кровле

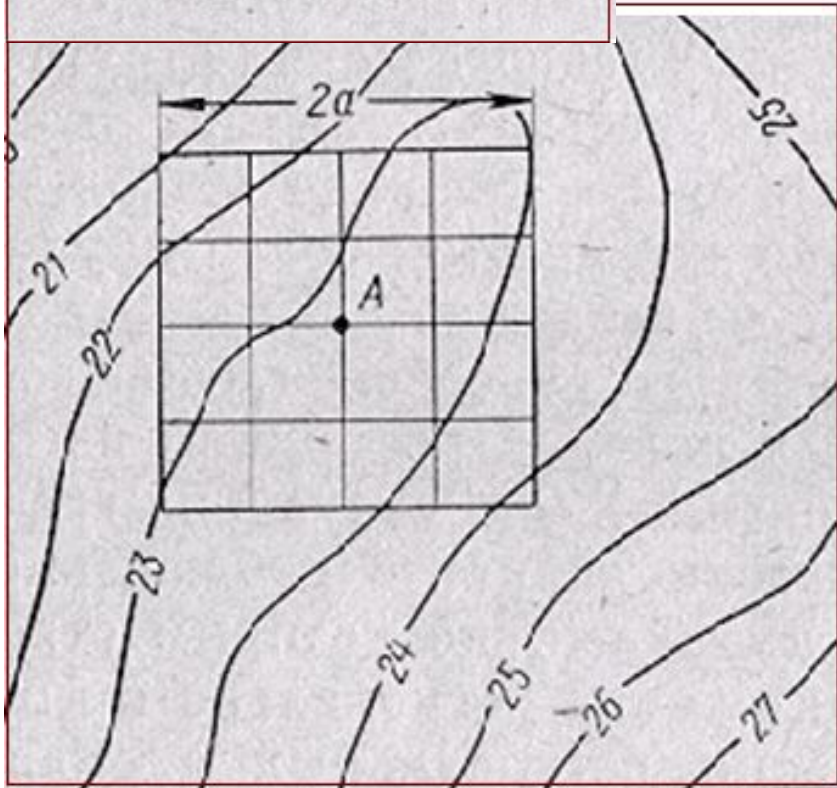
Минимум Δg над соляным куполом



1-песчано-глинистые отложения; 2- гипсо-ангидритовые толщи; 3- карбонаты; 4 – соли; 5 – глины; 6 – подошва осадочного чехла

ТРАНСФОРМАЦИИ. ВЫДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ.

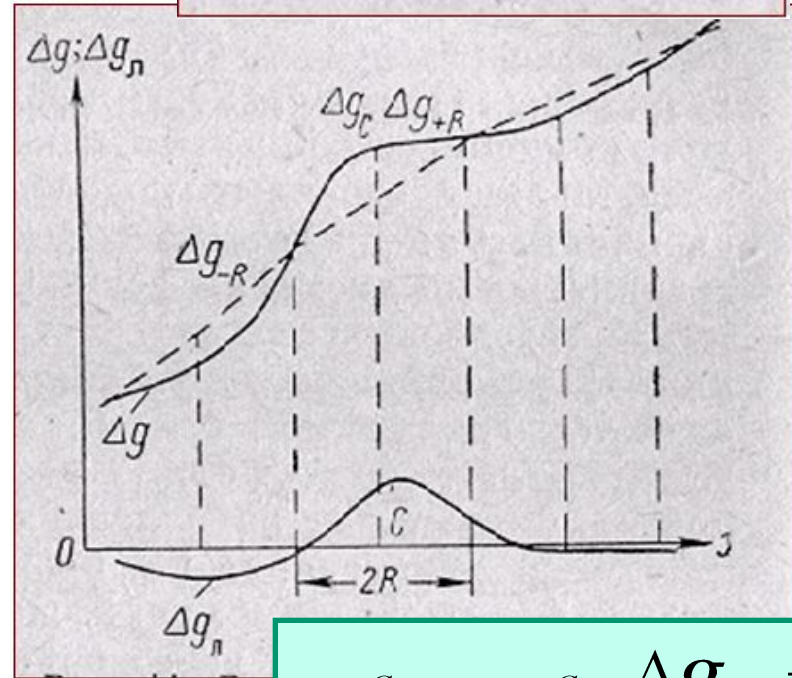
Разделение аномалий способом осреднения



$$\Delta g_{\ddot{E}}^A = \Delta g^A - \Delta g_{\tilde{\delta}}^A$$

$R_{\text{лок}} < a < R_{\text{рег}}$

Разделение аномалий способом вариаций



$$\Delta g_{\ddot{E}}^C = \Delta g^C - \frac{\Delta g_{-R} + \Delta g_{+R}}{2}$$

Δg^C - значение силы тяжести в т.С

$\Delta g_{-R}, \Delta g_{+R}$ - значение силы тяжести на концах радиуса R

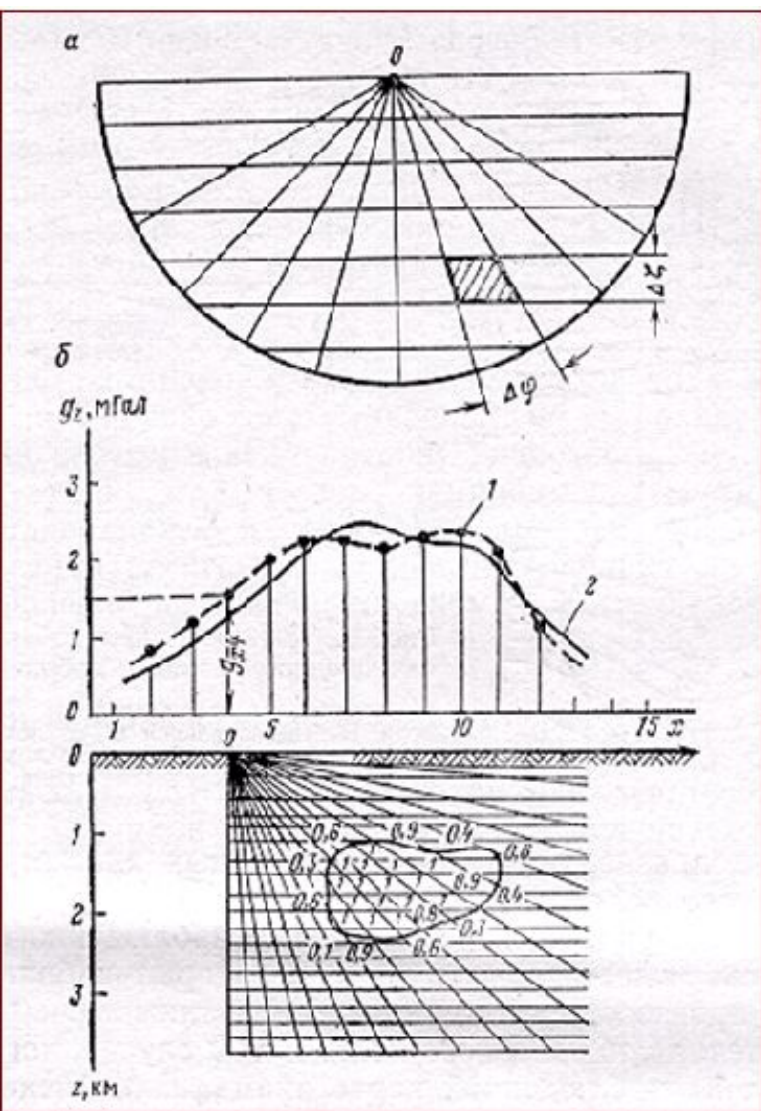
$R = (0,7-1,0)L$, L-ширина локальной аномалии на половине ее амплитуды

Количественная интерпретация гравитационных аномалий

- Интерпретация данных гравиразведки (как и других геофизических методов) основана на физико-математическом и геологическом моделировании, включающем анализ гравитационных аномалий с обязательным использованием априорной геолого-геофизической и петрофизической (плотностной) информации об изучаемом районе.

- Основой интерпретации данных гравиразведки является *решение прямых и обратных задач*.
- *Прямая задача* гравиразведки состоит в определении элементов поля силы тяжести по заданному распределению его источников, когда известны форма, размеры, глубина залегания и величина избыточной плотности.
- *Обратная задача* гравиразведки ставит противоположную цель - нахождение параметров объекта (формы, размеров, глубины залегания, избыточной плотности) по известному распределению элементов силы тяжести.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ. СПОСОБ ПОДБОРА.



- Палетка Гамбурцева (а) и пример ее использования для решения прямой и обратной задач гравirazведки (б).
- Графики g_z :
- 1- расчетный, полученный с использованием палетки Гамбурцева;
- 2- наблюдаемый

$$g_z = 0.1 \cdot \sigma_{\text{изб}} \cdot N \cdot \frac{M_i}{M_D}$$

0,1- цена деления палетки+0,1 мГл

σ_{изб} – избыточная плотность аномалеобразующего тела;

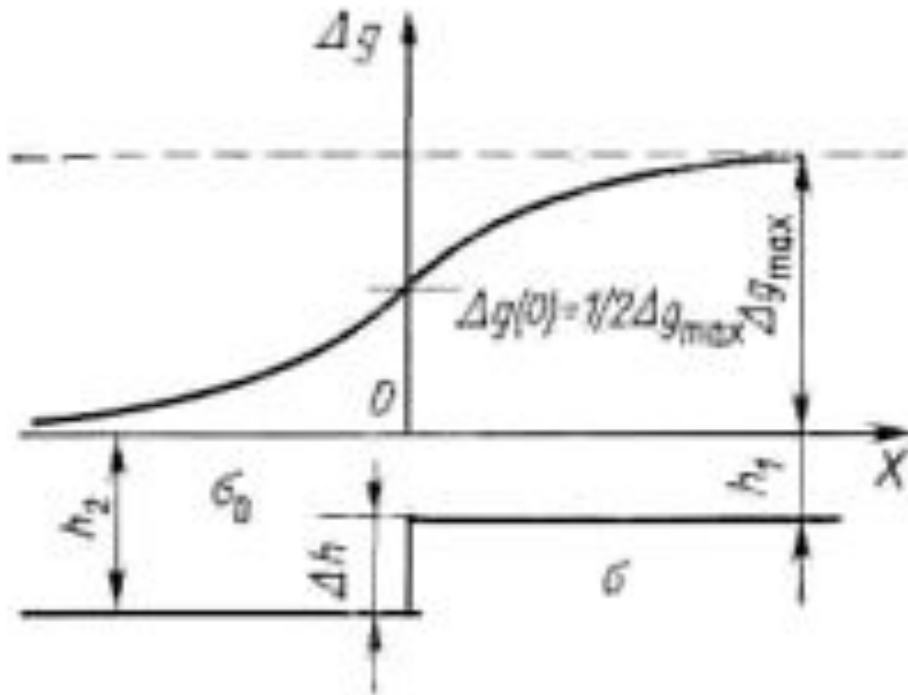
N- число трапеций палетки, попавших в контур тела;

M_п –масштаб палетки;

M_р- масштаб в котором изображено тело

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ. ПРОСТЕЙШИЕ ТЕЛА.

Кривые Δg над: вертикальным уступом



При решении обратной задачи
пользуются соотношением
 $\Delta g = 0$ при $x \rightarrow -\infty$,
 $\Delta g = f\sigma\pi(h_2 - h_1)$ при $x = 0$; и
 $\Delta g = 2f\sigma\pi(h_2 - h_1)$ при $x \rightarrow +\infty$

Тогда амплитуда сброса:
 $h_2 - h_1 = \Delta g_{max} / 2f\sigma\pi$

Положение проекции вертикальной плоскости сброса
соответствует абсциссе точки, в которой $\Delta g = \Delta g_{max} / 2$

Важным направлением гравиразведки являются поиски и разведка нефтегазовых структур: соляных куполов, антиклинальных складок, рифовых массивов, куполовидных платформенных структур.

Наиболее благоприятны для разведки соляные купола, поскольку соль отличается низкой плотностью ($\sigma=2,1$ г/см³) по сравнению с окружающими породами и резкими крутыми склонами.

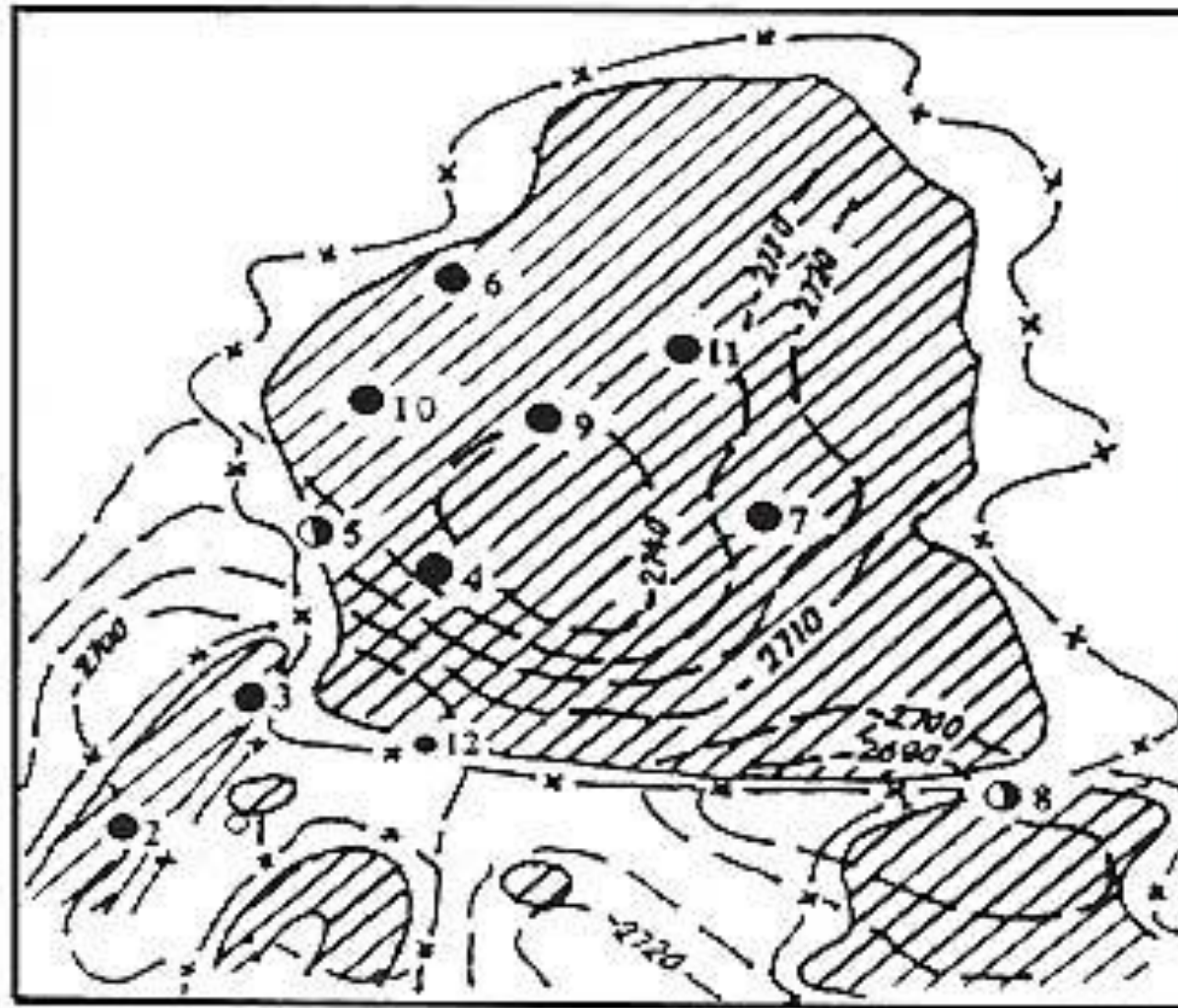
Соляные купола, находящиеся в Урало-Эмбенском районе, Днепровско-Донецкой впадине и других районах, выделяются изометрическими интенсивными отрицательными аномалиями, по которым можно судить не только о их местоположении и форме, но и о глубине залегания.

Антиклинальные складки выделяются вытянутыми изолиниями аномалий Δg положительного и отрицательного знака В зависимости от плотности пород, залегающих в ядре складок.

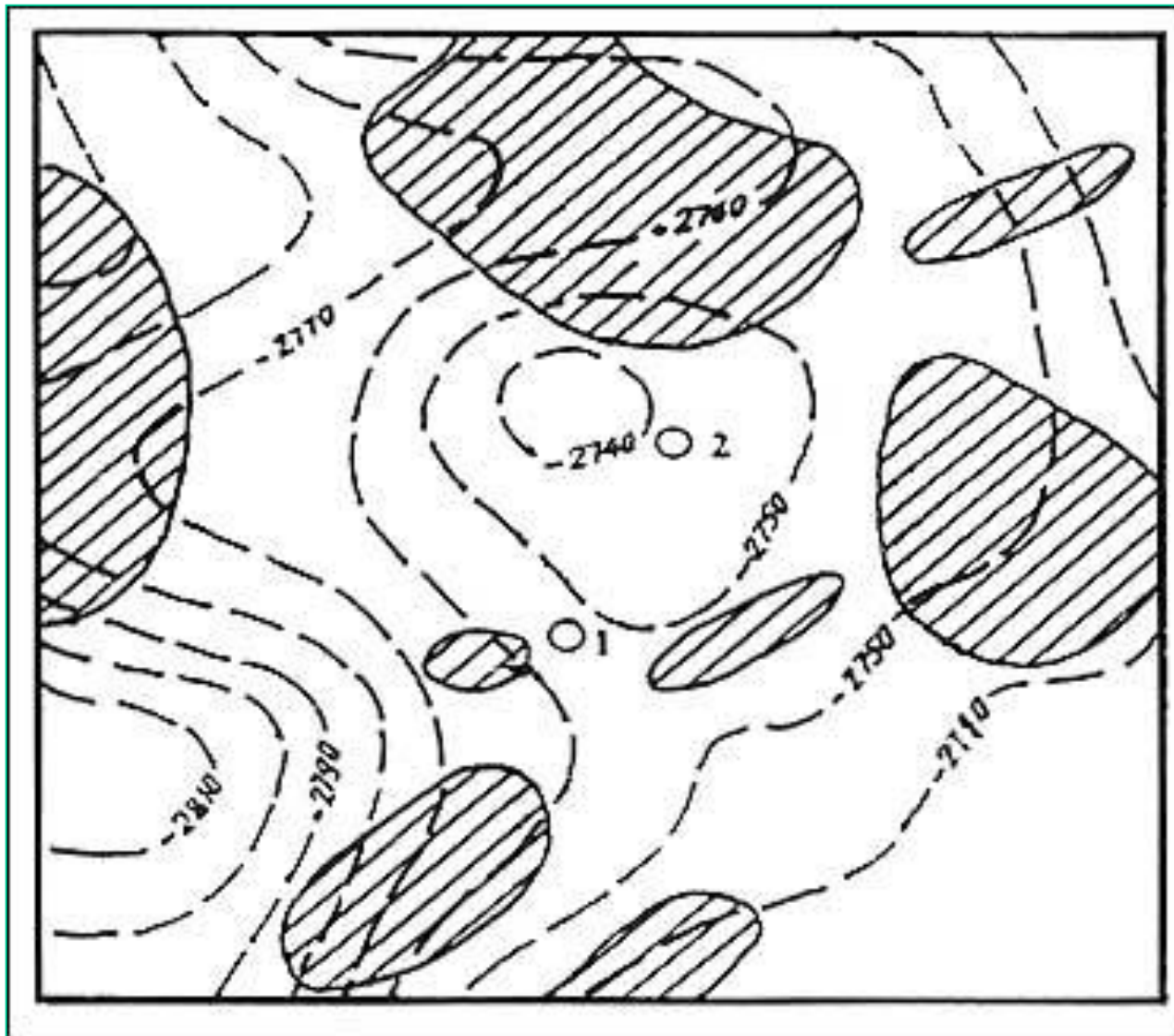
Для разведки рифовых известняков среди осадочных терригенных пород используют анализ как региональных, так и локальных аномалий, причем рифовые известняки выделяются, как правило, положительными аномалиями.

Куполовидные платформенные поднятия, к которым также нередко приурочены месторождения нефти и газа, отличаются малой амплитудой и большой глубиной залегания.

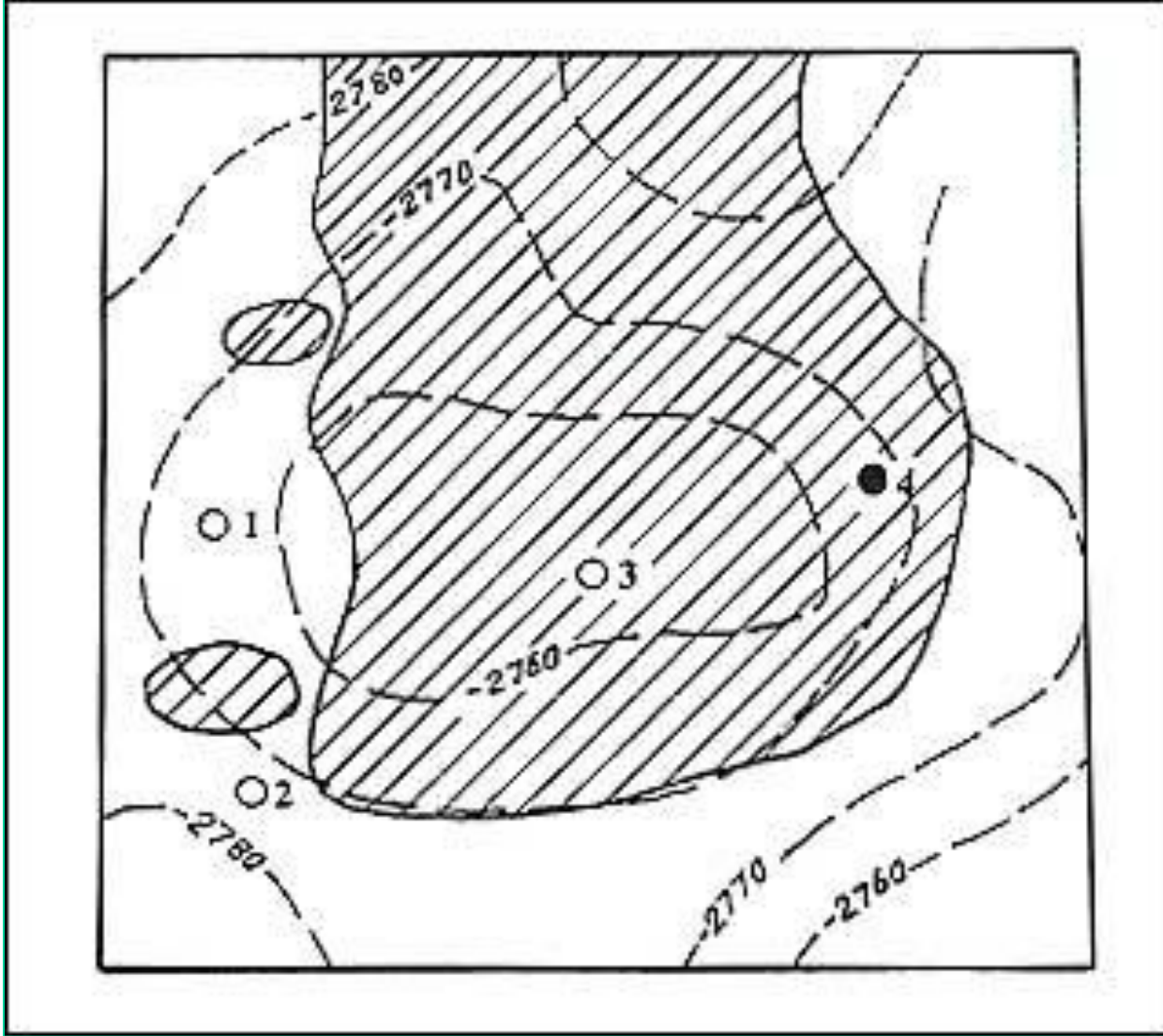
Применение высокоточных гравиметров позволяет вести разведку и этих структур, выделяющихся слабыми отрицательными аномалиями за счет разуплотнения пород над поднятиями.



1-изогипсы отражающего горизонта; 2- контур положительной гравитационной аномалии; 3- контур отрицательной гравитационной аномалии; 4- скважины предшествующего бурения; 5- скважины последующего бурения



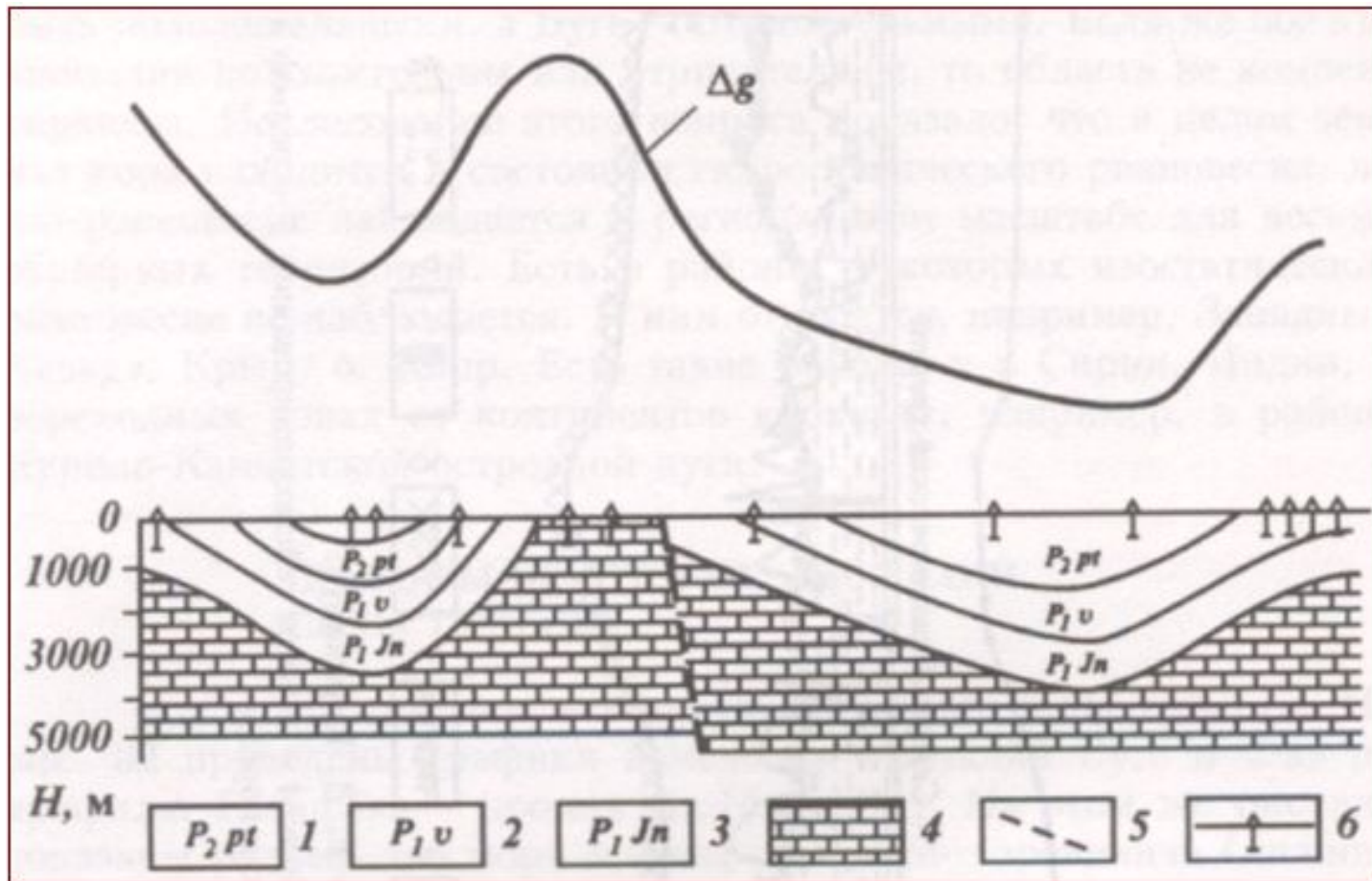
Пример выявления «ложной» структуры



Пример сопоставления данных высокоточной гравиразведки, сейсморазведки и результатов бурения (скв. 3 не вскрыла продуктивный горизонт).

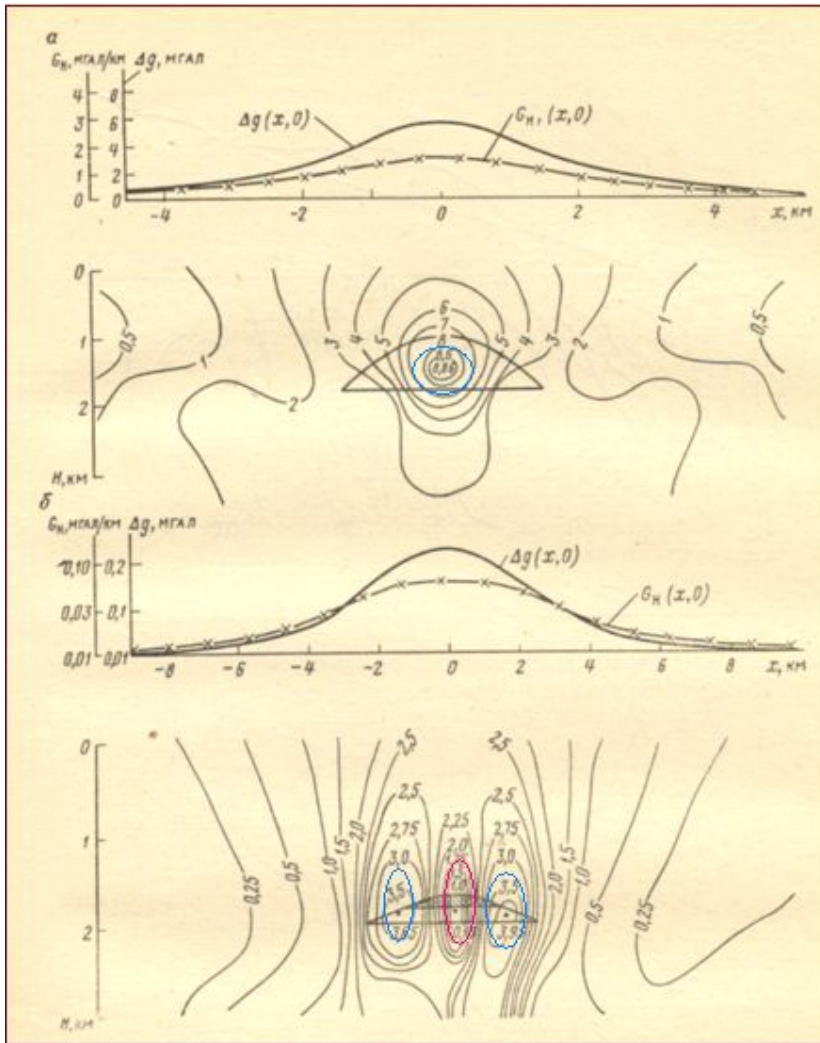
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕЗОЗОИЧЕСКИХ И КАМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Геологический разрез и кривая Δg по профилю через северную часть гряды Чернышова и Роговское поднятие в Печорском угленосном бассейне (по Б.Д. Полетаеву)



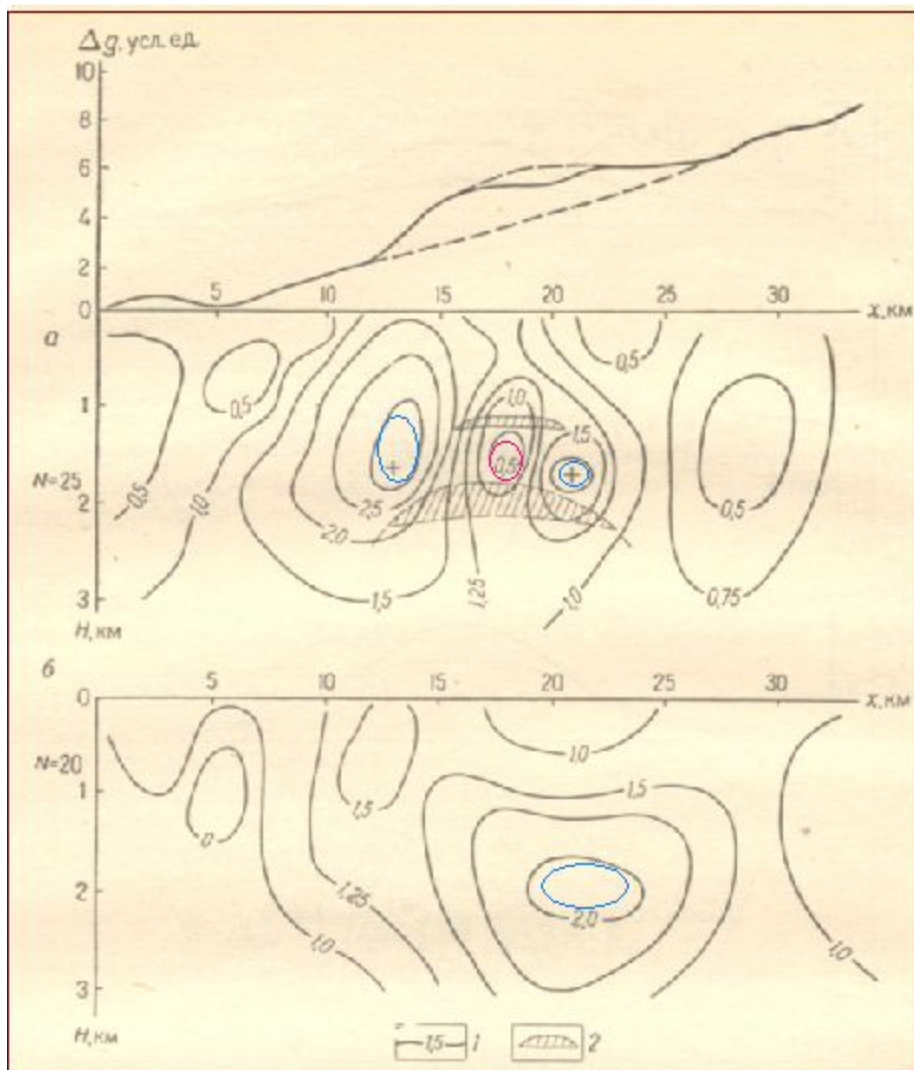
1 — печорская серия; 2 — воркутская серия; 3 — юньягинская серия; 4 — допермские известняки; 5 — тектонические нарушения; 6 — скважины

ПЛОТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕФТЯНОЙ ЗАЛЕЖИ



- Кривые $g(x,0), G_H(x,0)$ и поле $G_H(x,z)$ в вертикальной плоскости для однородного по плотности тела, представляющего нефтегазовое месторождение (б).
- Выделенная часть тела имеет пониженную плотность.

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ЛОВУШЕК НЕФТИ И ГАЗА



- Кривая $\Delta \rho$ и поле $G_H(x, z)$ для профиля в центральной части (а) и поле $G_H(x, z)$ для профиля в законтурной части (б) Степновского месторождения нефти и газа (по Ю.П. Конценебину)
- 1- изолинии $G_H(x, z)$
- 2- схематическое положение залежи нефти и газа