

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Разведочная геофизика»
для специальности 21.05.03 Технология геологической разведки

**Ставрополь
2026**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Обработка и качественная интерпретация гравиметрических данных

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Методы измерения силы тяжести. Устройство гравиметров

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Решение прямой задачи магниторазведки для некоторых тел простейшей формы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Изучение высокоточного протонного магнитометра

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 Обработка данных микросейсмокаротажа

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 Установка сейсмического оборудования

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 Определение удельных сопротивлений горных пород с помощью электрического каротажа

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Обработка и качественная интерпретация гравиметрических данных

Цель работы: знакомство с приемами и методами первичной обработки гравиметрических данных.

Оборудование и материалы: работа выполняется вручную (для численных расчетов используется инженерный калькулятор) либо на компьютере (системные требования – Windows 2000, XP, Microsoft Office 10).

Теоретическая часть

Поскольку гравиметрами измеряются не полные значения ускорения силы тяжести, а его приращения, наблюдения с гравиметром всегда начинаются на опорных пунктах, где полные значения силы тяжести определяются заранее с повышенной точностью. Создание сети опорных пунктов осуществляется от государственных опорных пунктов I, II и III классов. Зная полное значение силы тяжести на опорном пункте (так называемое “жесткое” значение – $g_{оп1}$) и, взяв отсчет на этом пункте ($n_{оп}$), а затем на пунктах рядовой съёмки ($n_1; n_2; n_3...n_i$ и т.д.), приращения силы тяжести на каждом из рядовых пунктов относительно опорного можно определить, как

$$\begin{aligned}\Delta g_1 &= C(n_1 - n_{оп1}), \\ \Delta g_2 &= C(n_2 - n_{оп1}), \\ &....., \\ \Delta g_i &= C(n_i - n_{оп1}), \\ &.....,\end{aligned}\tag{1}$$

где C – цена деления гравиметра.

Алгебраически суммируя приращения на каждом пункте с жестким значением, получают полные значения силы тяжести на каждом рядовом пункте:

$$\begin{aligned}
g_1 &= g_{onl} + \Delta g_1, \\
g_2 &= g_{onl} + \Delta g_2, \\
&\dots\dots\dots, \\
g_i &= g_{onl} + \Delta g_i, \\
&\dots\dots\dots
\end{aligned}
\tag{2}$$

Однако, полученные значения g_i будут определены с ошибкой, поскольку гравиметр обладает сползанием нуль-пункта. Для учета этой ошибки каждое звено рейса (маршрута) должно не только начинаться, но и заканчиваться на опорном пункте, причем не обязательно на том же, так как полные (абсолютные) значения силы тяжести известны на каждом из опорных пунктов. При этом надо выполнять обязательное условие – промежуток времени между отсчетами на опорных пунктах (или говорят: длительность звена рейса) должен быть не больше времени рабочего режима гравиметра, которое определяют опытным путем перед началом работы. Обычно это время не превышает 3–4 часов.

Затем приступают к обработке данных. Вычисляют для каждой точки разность отсчетов, вычитая из отсчетов на каждой точке самый первый отсчет на опорной точке:

$$\Delta n_i = n_i - n_0. \tag{3}$$

Умножают разности отсчетов на цену деления:

$$\Delta g = C \cdot \Delta n_i. \tag{4}$$

На миллиметровке строят график зависимости сползания нуля-пункта от времени (рис. 1), считая эту зависимость линейной. Затем определяют величину сползания нуля-пункта для каждого пункта рядовых наблюдений пропорционально времени. Время отсчитывается от отсчета на первом опорном пункте и поправка вводится с обратным знаком.

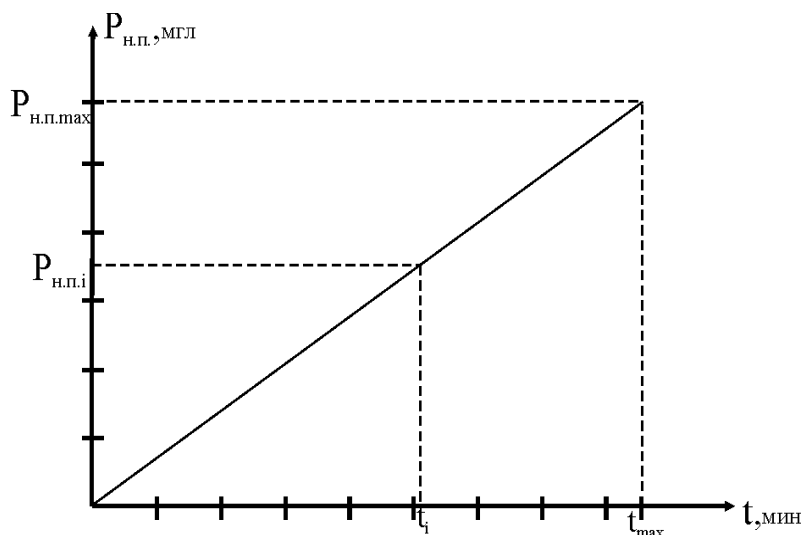


Рис. 1. График зависимости сползания нуля-пункта от времени.

Пример:

$C = 5 \text{ мГал/об}$, $g_{on1} = 981290.00 \text{ мГал}$, $g_{on2} = 981308.90 \text{ мГал}$.

Таблица 1

Полевые данные звена гравиметрического рейса с результатами ее обработки

Профиль, пикет	t^0 (°С)	Время (ч:мин)	Отсчет (об)	Δg (мГал)	$g_{абс.}$ (мГал)	Поправ ка за сполз. 0	$g_{испр.}$ (мГал)
ОП–1	12 ⁰	9:00	4.500		981 290.00	0	
1		9:10	5.200	+ 3.50	293.50	-0.05	293.45
2		9:20	6.400	+ 9.50	299.50	-0.10	299.40
3		9:40	2.000	- 12.50	277.50	-0.20	277.30
4		9:50	6.200	+ 8.50	298.50	-0.25	298.25
5		10:00	5.100	+ 3.00	293.00	-0.30	292.70

ОП–2	14 ⁰	11:00	8.400	+ 19.5	981 309.50	-0.60	308.90
------	-----------------	-------	-------	--------	------------	-------	--------

Указания по технике безопасности: к выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. Приложение 2).

Выполнение работы

Задание:

1. Провести полную обработку звена рейса с гравиметром, используя следующие данные:

Таблица 2

Полевые данные звена гравиметрического рейса

ПР, ПК	t ⁰ (°C)	Время, (ч:мин)	Отсчет, (дел)	Δg (мГал)	g _{абс.} (мГал)	Попр. за сполз. 0	g _{испр} (мГал)
ОП – 1	15 ⁰	9:15	6.589				
0.25		9:23	6.327				
0.50		9:34	6.152				
0.75		9:44	6.008				
1.00		9:53	6.298				
1.25		10:06	6.456				
1.50		10:15	6.701				
1.75		10:25	6.825				
2.00		10:33	6.998				
2.25		10:42	7.252				
2.50		10:54	7.508				
2.75		11:03	7.643				
3.00		11:12	7.828				
3.25		11:24	7.777				

3.50		11:32	7.915				
3.75		11:40	7.920				
4.00		11:51	7.950				
ОП – 2	16 ⁰	12:00	8.125				

Жесткое значение на первом опорном пункте $g_{on1} = 981226.15$. Цены делений при средней температуре звена 15.5^0 и значения g_{on2} приведены в таблице 3:

Таблица 3

Значение цены деления гравиметра C и жесткое значение ускорения силы тяжести g_{on2} на опорном пункте №2

№ вариан.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C мГал/о б	+5.510	+4.250	+0.550	+5.250	+8.500	-5.510	-4.250	-10.55	-5.25	-8.500
g_{on2} (мГал)	233.50	232.00	243.05	233.50	238.31	218.2 9	218.0 1	210.5 6	219.10	211.50
№ вариан.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C мГал/о б	+5.210	+4.550	+10.15 0	+5.350	+8.400	-5.210	-4.200	-10.25	-5.35	-8.700
g_{on2} (мГал)	233.50	232.00	243.05	233.50	238.31	218.2 9	218.0 1	210.5 6	219.10	211.50

Вычисления значений силы тяжести вести с точностью до сотых долей мГал.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Вычисляют приращения Δg :

$$\Delta g_i = C(n_i - n_0) \quad (5)$$

2. Абсолютное значение $g_{\text{абс.}}$ рассчитывают:

$$g_{\text{абс.}i} = g_{\text{он1}} + \Delta g_i \quad (6)$$

3. Вычисляют сползание нуля-пункта в течение рейса

$$P_{\text{н.п.мах}} = g_{\text{абс.он2}} - g_{\text{он2}} \quad (7)$$

где $g_{\text{абс.он2}}$ – абсолютное значение на ОП–2, полученное в рейсе по формуле (5), $g_{\text{он2}}$ – известное жесткое значение на ОП–2.

4. Определяют поправки за сползание нуля-пункта в каждой точке наблюдения ($P_{\text{н.п.}i}$). Для этого на миллиметровке строят график зависимости сползания нуля-пункта от времени (рис. 1). По графику определяют поправки в каждой точке наблюдения. Поправку вводят с обратным знаком.

5. Вычисляют $g_{\text{испр}i}$ по формуле:

$$g_{\text{испр.}i} = g_{\text{абс.}i} + P_{\text{н.п.}i} \quad (8)$$

✓ **Данные по выполненной работе занести в отчет**

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

Контрольные вопросы:

1. Опорная сеть. Способы создания опорной сети.
2. Рядовая сеть. Способы создания рядовой сети.
3. Абсолютные и относительные значения силы тяжести.
4. Нарисуйте примерный рельеф местности, по которой шел оператор (для Вашего варианта).
5. Как можно ввести поправку за сползание нуля-пункта без использования графика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Методы измерения силы тяжести. Устройство гравиметров

Цель работы: знакомство с принципами измерения силы тяжести и устройством основных типов разведочных гравиметров.

Оборудование и материалы: гравиметр ГНУ/К-В, инструкция к применению гравиметра.

Теоретическая часть

1. Принципы измерения силы тяжести

Измерения ускорения силы тяжести бывают двух видов: **абсолютные и относительные**. При абсолютных измерениях определяется полное значение ускорения силы тяжести g в пункте наблюдений. Относительные измерения заключаются в определении разности (приращения) Δg силы тяжести между пунктами наблюдений или отношения силы тяжести на двух пунктах g_2/g_1 . Для определения Δg сравнивают показания одного и того же прибора на исходном и определяемом пунктах.

Все существующие методы измерения силы тяжести могут быть разделены на **динамические и статические**. Динамическими называются методы, при которых наблюдается движение тела под действием силы тяжести, а непосредственно измеряемой величиной является время, необходимое телу для перехода из одного фиксированного положения в другое. Статическими называются такие методы, в которых наблюдается изменение положения равновесия тела под действием силы тяжести и некоторой силы, уравновешивающей ее, а непосредственно измеряемой величиной является линейное или угловое смещение тела с постоянной массой.

К динамическим методам относятся:

1. Маятниковый метод, основанный на зависимости периода T свободных колебаний маятника от величины силы тяжести g (формула Гюйгенса):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

где l – длина маятника, отсюда:

$$g = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 l. \quad (2)$$

Обычно длину физического маятника трудно измерить с большой точностью, поэтому используют либо специальные оборотные маятники, либо проводят относительные измерения (если в одном из пунктов известно полное значение силы тяжести g_1). В последнем случае, если измерить периоды качания маятника в двух пунктах T_1 и T_2 , то:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{g_2}{g_1}, \quad (3)$$

или

$$g_2 = \frac{T_1^2}{T_2^2} g_1. \quad (4)$$

2. Баллистический метод основан на зависимости времени падения тел в вакууме (t) от значения силы тяжести (g):

$$h = \frac{gt^2}{2}, \text{ или } g = \frac{2h}{t^2}, \quad (5)$$

где h – высота, с которой падает объект при нулевой начальной скорости.

Из-за требований высокой точности определения величин h и t , только в 60-х годах 20 века, с применением лазерной техники, появилась возможность конструировать приборы для измерения силы тяжести этим методом.

3. Струнный метод основан на измерениях собственных поперечных колебаний струны, натянутой грузом. Частота колебаний (f) идеально гибкой струны определяется:

$$f = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{Mg}{l}}, \quad (6)$$

где L – длина струны, M – масса груза, подвешенного на струне, l – линейная плотность струны (г/см) отсюда:

$$g = \frac{4L^2 f^2 l}{M}. \quad (7)$$

Этот принцип в абсолютных измерениях не используется из-за сложностей определения эффективной длины реальной струны.

Приборы, созданные на основе рассмотренных выше методов, называются соответственно маятниковыми, баллистическими и струнными гравиметрами. Из-за большого их веса и малой производительности эти гравиметры используются в основном для решения геодезических задач или для создания сети опорных гравиметрических пунктов, на которых измеряются полные значения ускорения силы тяжести g .

Для гравиразведочных целей чаще всего используют **статические методы** относительных измерений силы тяжести. В этих методах измерения осуществляются по принципу компенсации, т.е. действие силы тяжести компенсируется упругими силами пружин, газов или жидкости и система при действии силы тяжести остается в равновесии. **Мерой силы тяжести служит величина компенсирующей силы.**

Наибольшее применение в гравиразведке получили статические гравиметры, в конструкции которых для повышения чувствительности системы **применен принцип астазирования**. Принцип измерений и конструкция чувствительной системы у всех этих гравиметров одинаковы, а внешние различия продиктованы спецификой среды измерений. Основные типы разведочных гравиметров следующие:

1. Для наземных измерений – ГАК-7Т, ГР/К-1, ГР/К-2 – старые обозначения (гравиметр разведочный кварцевый, цифры 1 или 2 обозначают класс точности гравиметра); ГНУ/К-А, ГНУ/К-В, ГНУ/К-С – новые обозначения (гравиметр наземный, узкодиапазонный, кварцевый; А, В, С – классы точности приборов) и др.

2. Донные гравиметры – КДГ-Ш, ГАК-7ДТ и др.
3. Скважинные гравиметры – ГСК-110.
4. Морские набортные гравиметры – ГМН-К.

По характеру действующих упругих сил гравиметры с пружинными системами подразделяют на приборы с поступательным движением грузика, прикрепленного к пружине (гравиметры первого рода), и приборы с вращательным движением рычага-маятника (гравиметры второго рода). **В гравиметрах второго рода использован принцип вертикального сейсмографа академика Н. Б. Голицына.** Особенно широкое применение получили гравиметры второго рода, упругая система которых изготовлена из плавленого кварца (кварцевые гравиметры).

Рассмотрим принцип устройства этого типа гравиметров.

2. Общее устройство гравиметра (на примере ГНУ/К-В)

Гравиметр состоит из корпуса (рис. 1) с чувствительной системой и работающими элементами и внешнего теплоизолирующего контейнера. Внешний контейнер представляет собой стальной цилиндр (кожух) (2) с установочными винтами (4) внизу. По дну и стенкам кожуха проложен слой теплоизоляции. В контейнер вставляется сосуд Дьюара (3) – полый цилиндрический стакан с посеребренными двойными стенками. Корпус гравиметра, в котором установлены стойки для крепления кварцевой системы, представляет собой герметичный металлический стакан, из которого выкачан воздух.

Любой ремонт, связанный со вскрытием системы гравиметра, выполняется только в специализированной мастерской экспедиции. На верхней панели гравиметра расположены уровни (11), отсчетное устройство (10) с микрометрическим винтом, Г-образный термометр, отверстие для доступа к диапазонному винту, которое закрыто текстолитовым стержнем, окуляр микроскопа (7), патрон для лампы и отверстие для доступа к штуцеру, через который выкачивается воздух из системы. Корпус гравиметра вставлен

в сосуд Дьюара. Для более плотного соединения и во избежание повреждений сосуда Дьюара на корпус гравиметра надет шерстяной чехол.

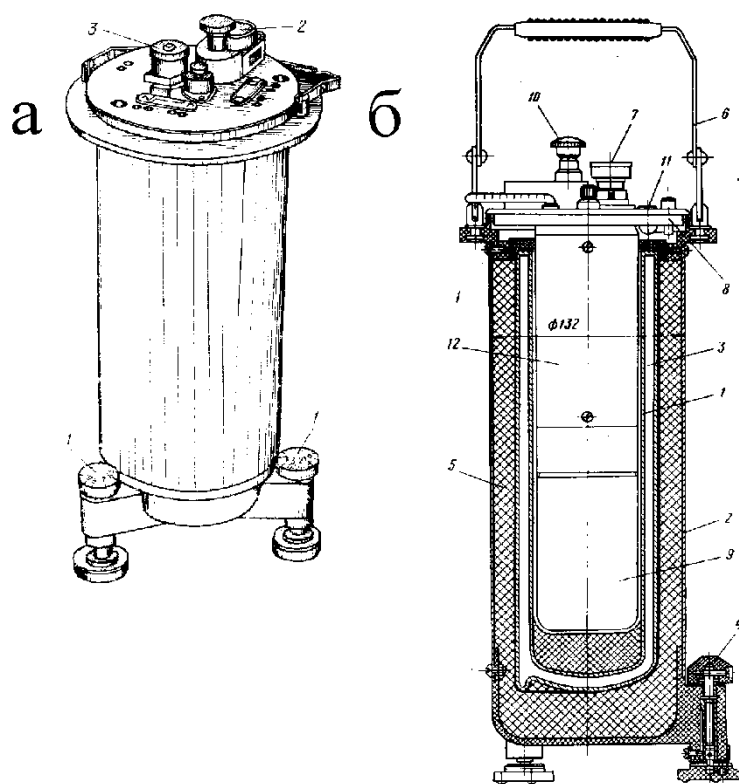


Рис. 1. Общий вид гравиметра ГНУ/К-В.

а - внешний вид гравиметра:

1 – установочные винты; 2 – отсчетное микрометрическое устройство; 3 – окуляр.

б – разрез гравиметра:

1 – средняя часть гравиметра; 2 – внешний кожух; 3 – сосуд Дьюара; 4 – установочный винт; 5 – теплоизоляция; 6 – ручка для переноски; 7 – окуляр; 8 – верхняя плата; 9 – вакуумная камера; 10 – отсчетное микрометрическое устройство; 11 – уровень; 12 – теплозащитный столб.

3. Чувствительная система гравиметра (на примере ГАК-7Т)

Рассмотрим устройство системы гравиметра на примере прибора ГАК-7Т (рис.2).

На кварцевой рамке (1) натянута тонкая кварцевая нить (2), на которой укреплены: маятник (3), рычаг с главной астазирующей пружиной (4), диапазонный рычаг с диапазонной пружиной (5) и винтом (6). С основной несущей нитью связаны также элементы системы температурной компенсации: рамка (10), нить компенсации линейной составляющей температуры (11), пружина компенсации нелинейной составляющей температуры (12), рычаг (13), укрепленный на оси (15) и металлическая нить (14). Измерительная рамка (7) с рычагом и пружиной (8) соединяется с

микрометричным винтом (9), на котором укреплен шестеренка счетчика оборотов. Астазирующая пружина служит для повышения чувствительности гравиметра. Диапазонным винтом можно грубо подстраивать наиболее удобный отсчет на исходной точке съёмки, где значение поля силы тяжести принято за нулевое. Измерения приращений силы тяжести Δg осуществляется компенсационным способом.

На пунктах наблюдений маятник (3) под действием силы тяжести отклоняется вниз или вверх. Вращая микрометрический винт (9) и натягивая или опуская пружину (8), оператор выводит маятник в горизонтальное положение. Мерой измеряемого приращения силы тяжести служит количество оборотов винта (9), необходимое для компенсации отклонения маятника. Регистрация положения маятника оптическая. На конце маятника установлен тонкий кварцевый стерженек (21). Положение маятника контролируют в окуляре, в который луч света попадает от лампочки (16), проходя через систему линз (17), отражаясь в зеркальце (18) и преломляясь в призме (19). В окуляре блик маятника виден колеблющимся справа налево. Для того чтобы амплитуда качания маятника была не более пределов видимости окуляра, конец маятника помещен между зубцами вилки ограничителя колебаний.

Все элементы системы, кроме нити (14) и ограничителя выполнены из плавленого кварца, поскольку у кварца очень мал температурный коэффициент расширения. Однако под действием температуры изменяется хрупкость кварца, поэтому в гравиметре предусмотрены меры к уменьшению влияния внешних температурных воздействий.

На тонкой нити, являющейся осью вращения, укреплен рычаг (маятник) с массивным грузиком на конце. Маятник удерживается в исходном положении силой натяжения главной (астазирующей) пружины, (нижний конец которой через рычаг прикреплен к маятнику) и силой закручивания нити подвеса маятника.

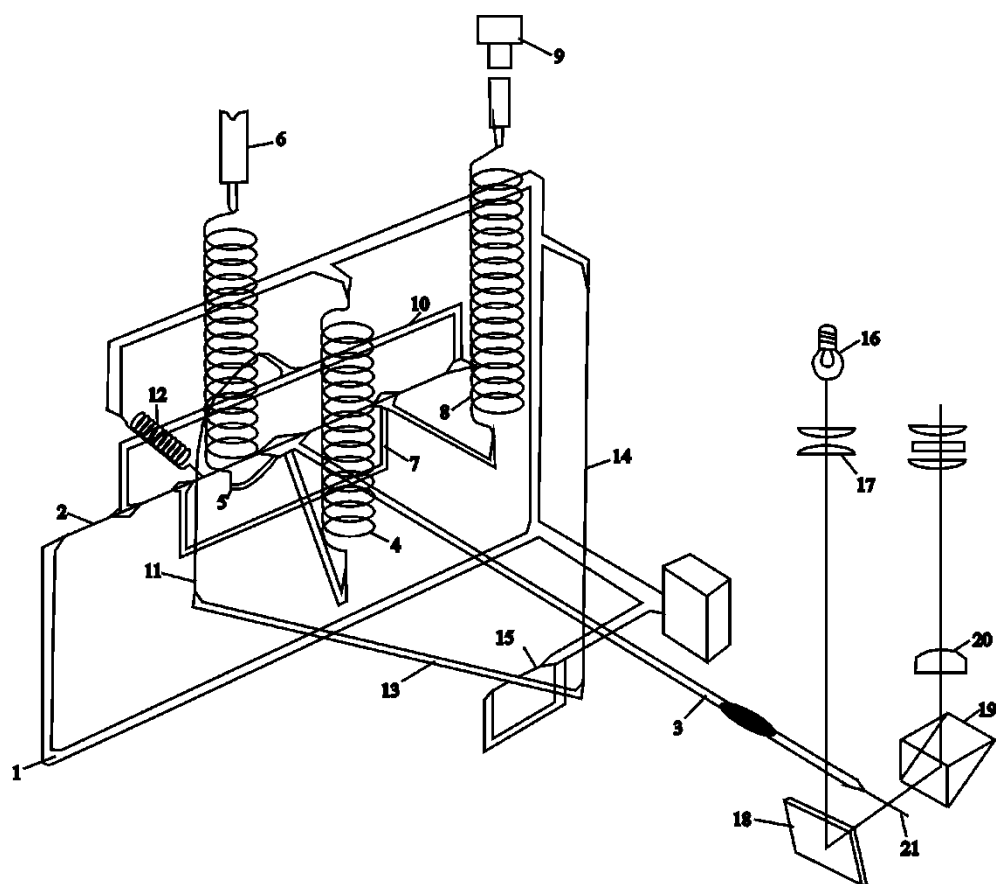


Рис. 2. Принципиальная схема гравиметра ГАК-7Т.

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. Действие силы тяжести компенсируют, закручивая измерительные пружины. Для фиксации маятника в положении равновесия на нем имеется индекс, который совмещается в поле зрения окуляра микроскопа с нулевым делением шкалы. В момент совмещения индекса маятника с нулевым делением шкалы берут отсчет в делениях шкалы микрометра n (рис. 3).

Действие астазирующей пружины приводит к тому, что повышается чувствительность гравиметра: при небольших изменениях силы тяжести в результате нарушения равновесия маятник отклоняется на достаточно большой угол.

Для перевода показаний прибора в деления шкалы микрометра в единицы измерения силы тяжести – миллигалы (мГл), используют переводной коэффициент – **цену деления гравиметра C** (т.е. значение в мГл, соответствующее одному обороту шкалы микрометра).

Приращение силы тяжести между двумя пунктами наблюдений Δg вычисляют по формуле:

$$\Delta g = C(n_2 - n_1). \quad (8)$$

где n_1 и n_2 – отсчеты в делениях шкалы микрометра в пунктах 1 и 2.

Цену деления гравиметра определяют при эталонировании на специальных полигонах, в результате многократных измерений между пунктами, где приращения Δg заранее промерены с высокой точностью:

$$C = \frac{\Delta g}{(n_2 - n_1)} \text{ [мГл/дел]}. \quad (9)$$

Чувствительная система гравиметра помещена в специальный корпус, в котором предусмотрен ряд мер теплоизоляции системы: на корпус надет шерстяной чулок, он помещен в сосуд Дьюара и т.п. Это сделано с целью уменьшения сползания нуля-пункта прибора. Для учета смещения нуля-пункта во времени в процессе проведения гравиметрических съемок через определенные промежутки времени (2–3 часа) производят наблюдения на точках опорной гравиметрической сети, в которых значение силы тяжести определяется с повышенной точностью.

Для наземных кварцевых гравиметров типа ГАК-7Т существует методика взятия отсчета на точке. Она заключается в следующем: Гравиметр устанавливают на точке наблюдения и выводят уровни в нулевое положение. После установки гравиметра на точке, оператор, глядя в окуляр, вращает микрометрический винт (1) (рис. 3) до совмещения индекса маятника с нулевым делением шкалы в окуляре. После этого отсчеты по гравиметру берут следующим образом:

- a) первая цифра отсчета (количество полных оборотов микрометрического винта), определяется по совмещению шкалы (2) с риской (3) (на рис. 3 это число 5);
- b) далее записываются две цифры, полученные при совмещении шкалы (4) с нулевым делением шкалы (5) (на рис. 3 это число 33);
- c) последней цифрой отсчета берется номер деления шкалы (5) (от 1 до 10), которое наиболее точно совпадает с одним из делений шкалы (4) (на рис. 3 это число 5).
- d) в результате получили число 4,335, которое показывает количество оборотов микрометрического винта.

Современные гравиметры типа ГАК позволяют измерять силу тяжести

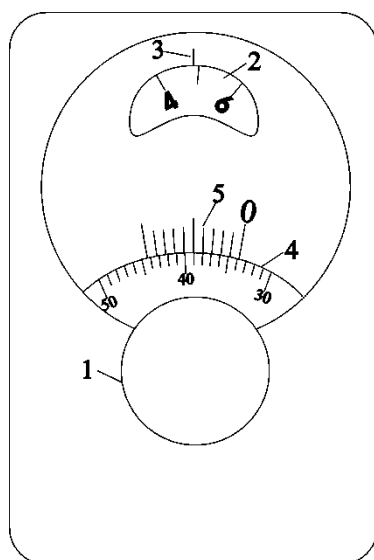


Рис. 3. Вид отсчетного устройства гравиметра ГАК-7Т.

с точностью до 0,01 мГал. Они позволяют проводить только относительные измерения Δg , следовательно, для получения абсолютных значений силы тяжести необходимо привязываться к опорной гравиметрической сети. Такую увязку выполняют, как правило, многократными рейсами на вертолетах или автомашинах.

Гравиметры типа ГАК просты в обращении, время наблюдений на одном пункте 1–2 мин. Малая масса гравиметров (6–7 кг) позволяет использовать их в труднопроходимых районах.

Указания по технике безопасности: к выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. Приложение 2).

Выполнение работы

Задание:

1. Ознакомиться, зарисовать и описать общий вид и принципиальную схему гравиметра ГНУ/К-В.
2. Взять отсчеты по гравиметру в двух точках, записать их и рассчитать Δn .

✓ **Данные по выполненной работе занести в отчет**

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

Контрольные вопросы:

1. От чего зависит точность определения силы тяжести маятниковым способом? Что определить с высокой точностью легче – период качания маятника или длину маятника?
2. Почему в маятниковом способе используют относительные измерения по отношению периодов качания, ведь можно сразу по периоду определить полное (абсолютное) значение силы тяжести?
3. Определите, с какой точностью надо определять время падения тела (с постоянной высоты в 2 метра) при измерениях баллистическим способом, если необходима точность измерения силы тяжести 0,1 мГал?
4. Для чего в разведочных гравиметрах используется принцип астазирования и в чем его суть?
5. Исходя из основных особенностей разведочных гравиметров, изложите главные требования к методике проведения гравиметрических наблюдений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Решение прямой задачи магниторазведки для некоторых тел простейшей формы

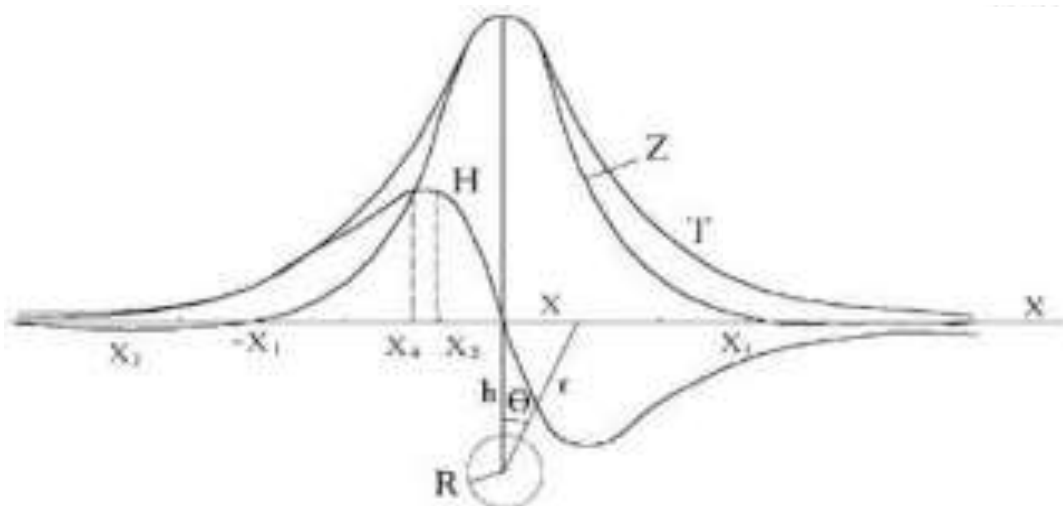
Цель работы: приобретение навыков решения прямой задачи магниторазведки для тел простейшей формы.

Оборудование и материалы: работа выполняется вручную (для численных расчетов используется инженерный калькулятор) либо на компьютере (системные требования – Windows 2000, XP, Microsoft Office 10).

Теоретическая часть

Прямой задачей называется расчет аномалий потенциала и его производных по известному распределению намагниченности в земной коре.

В магниторазведке прямая задача для тел простейшей формы решается с помощью аналитических формул, которые получены из выражения для потенциала элементарного диполя.



$$Z = \frac{M(2h^2 - x^2)}{(x^2 + h^2)^{5/2}}, \quad H = -\frac{3Mxh}{(x^2 + h^2)^{5/2}}, \quad T = \frac{Mh}{(x^2 + h^2)^{5/2}}$$

$$h = \frac{x_1}{1.41} = \frac{x_2}{2} = \frac{x_3}{0.5} = \frac{x_4}{0.56}.$$

Рис. 1. Кривые магнитных аномалий от вертикально намагниченного шара

В магниторазведке для вычисления H и Z составляющих магнитного поля используются формулы, указанные в таблице 2. При этом произведение fM ($f\lambda$) заменяется магнитным моментом $M = I \cdot V$ (намагниченная сфера) или $M = I \cdot S$ (бесконечная дипольная линия), где I – намагниченность, V – объем, S – площадь.

Исходные данные приведены в таблице 1.

Указания по технике безопасности: к выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. Приложение 2).

Выполнение работы

Задание:

1. Из таблицы 1 по указанию преподавателя записываются исходные данные. При решении задачи используются формулы из таблицы № 2. В первую очередь для контроля должны быть найдены максимальные и минимальные значения вычисляемой составляющей (столбцы 5, 6 таблицы 2).
2. По формулам, приведенным в четвертом столбце таблицы 2, подсчитываются значения искомой составляющей для различных значений X , причем X изменяется в пределах ± 10 км. Расстояние между соседними точками X равно 1 км. При выполнении задания следует учитывать размерность, все вычисления удобнее проводить в системе СГС. Для справок ниже приводятся соотношения используемых единиц:

$$1 \text{ Е (этвеш)} = 10^{-9} \text{ с}^{-2} (V_{xz}, V_{zz})$$

$$1 \text{ Э (эрстед)} = [1/(4\pi)] \cdot 10^3 \text{ А/м} = 79,6 \text{ А/м} (Z, H)$$

3. После выполнения вычислений, на миллиметровке размером в развернутый лист выполняется чертеж, на котором изображается возмущающее тело и соответственно кривые над ним. Расчеты и

чертеж можно выполнить на компьютере в стандартной программе Microsoft Excel 2010.

Таблица 1

Исходные данные

№ пп	№ Форма аномального тела	Вид поля	R (км)	ξ (км)	ξ_1 (км)	ξ_2 (км)	h, L (км)	σ г/ см ³	I (Э)	Максима льное значение
1	Шар	V_z	1	2				1		6,98мГл
2		V_{xz}	1	2				1		30Е
3		Z	1	1					$1 \cdot 10^{-4}$	83,8Э
4	Бесконечный круговой горизонтальный цилиндр	V_z	1	2				1		21мГл
5		V_z	1	3				1,5		21мГл
6		V_{xz}	1	2				1		68,1Е
7		H	1	3					$2 \cdot 10^{-3}$	90Э
8		Z	1	2					$1 \cdot 10^{-3}$	157Э
9	Тонкий вертикальный стержень	V_z		1	0,25			2		16,8мГл
10		V_z		2	0,5			2		8,4мГл
11		Z		1	0,5				$2 \cdot 10^{-3}$	25,1Э
12		H		2	0,25				$2 \cdot 10^{-3}$	38,1Э
13	Вертикальный тонкий пласт	V_z			1		0,5	2		9,24мГл
14		V_{xz}			0,5		0,1	2		27Е
15		V_{zz}			2		0,3	2		40Е
16		H			2		0,2		$1 \cdot 10^{-2}$	100Э
17		Z			1		0,1		$1 \cdot 10^{-2}$	100Э
18	Заряженная плоскость	H		1			2		$1 \cdot 10^{-4}$	44,3Э
19		Z		2			4		$2 \cdot 10^{-4}$	88,6Э
20	Бесконечная горизонтальная материальная полуплоскость	V_z			1	2		0,5		20,9мГл
21		V_z			1	3		0,5		41,9мГл
22		V_{xz}			3	4		1		38,4Е
23		H			1	3			$3 \cdot 10^{-4}$	60Э
24		Z			1	2			$1,5 \cdot 10^{-3}$	100Э

Таблица 2

Формулы для вычисления аномального эффекта

№ п. п.	Форма тела	Вид поля	Формула	Максимум	Минимум
1	2	3	4	5	6
1	Шар	V_z	$\frac{fM\xi}{(X^2 + \xi^2)^{3/2}}$	$\frac{fM}{\xi^2}$ (x=0)	0 (x→±∞)
		V_{xz} и H	$-\frac{3fM\xi x}{(X^2 + \xi^2)^{5/2}}$	$\frac{0.859fM}{\xi^3}$ (x = - $\frac{\xi}{2}$)	$-\frac{0.859fM}{\xi^3}$ (x = $\frac{\xi}{2}$)
		V_{zz} и Z	$f \frac{M(2\xi^2 - x^2)}{(X^2 + \xi^2)^{5/2}}$	$fM \frac{1}{\xi^3}$ (x=0)	$-\frac{0.036fM}{\xi^3}$ (x = ±2ξ)
2	Бесконечный круговой горизонтальный цилиндр (бесконечная дипольная линия)	V_z	$\frac{2f\lambda\xi}{X^2 + \xi^2}$	$2f\lambda \frac{1}{\xi}$ (x=0)	0 (x→±∞)
		V_{xz} и H	$-\frac{4f\lambda\xi x}{(X^2 + \xi^2)^2}$	ξ^2 (x = - $\frac{\xi}{\sqrt{3}}$)	$-\frac{0.036fM}{\xi^3}$ (x = $\frac{\xi}{\sqrt{3}}$)
		V_{zz} и Z	$f \frac{2\lambda(\xi^2 - x^2)}{(X^2 + \xi^2)^2}$	$2f\lambda \frac{1}{\xi}$ (x=0)	$-\frac{0.25f\lambda}{\xi^3}$ (x= $\frac{\xi}{\sqrt{3}}$)
3	Тонкий вертикальный стержень (ξ ₂ →∞), точечный магнитный полюс	V_z	$\frac{f\lambda}{\sqrt{x^2 + \xi^2}}$	$f\lambda \frac{1}{\xi}$ (x=0)	0 (x→±∞)
		V_{xz} и H	$-\frac{f\lambda x}{(x^2 + \xi^2)^{3/2}}$	$\frac{0.385 f\lambda}{\xi^2}$ (x = - $\frac{\xi}{\sqrt{2}}$)	$-\frac{0.385f\lambda}{\xi^2}$ (x= $\frac{\xi}{\sqrt{2}}$)
		V_{zz} и Z	$\frac{f\lambda\xi}{(x^2 + \xi^2)^{3/2}}$	$f\lambda \frac{1}{\xi^2}$ (x=0)	0 (x→±∞)

4	Бесконечная материальная вертикальная плоскость ($\xi_2 \rightarrow \infty$, магнитная полюсная линия)	V_{xz} и H	$-\frac{2f\mu x}{x^2 + \xi^2}$	$f\mu \frac{1}{\xi}$ ($x=-\xi$)	$-f\mu \frac{1}{\xi}$ ($x=\xi$)
		V_{zz} и Z	$\frac{2f\mu \xi}{x^2 + \xi^2}$	$2f\mu \frac{1}{\xi}$ ($x=0$)	0 ($x \rightarrow \pm\infty$)
5	Бесконечная горизонтальная материальная плоскость, заряженная плоскость	V_z	$2f\mu \left(\arctg \frac{x+1}{\xi} \right)$ $- \arctg \frac{x-1}{\xi}$ ($x=0$)	$2f\mu \frac{1}{\xi}$ ($x=0$)	0 ($x \rightarrow \pm\infty$)
6	Бесконечная материальная горизонтальная полуплоскость (Горизонтальная заряженная полуплоскость)	V_z	$2f\mu \left(\frac{\pi}{2} + \arctg \frac{x}{\xi} \right)$	$2\pi f\mu$ ($x \rightarrow +\infty$)	0 ($x \rightarrow \infty$)
		V_{xz}	$2f\mu \frac{\xi}{x^2 + \xi^2}$	$2f\mu \frac{1}{\xi}$ ($x=0$)	0 ($x \rightarrow \pm\infty$)
		V_{zz}	$2f\mu \frac{x}{x^2 + \xi^2}$	$f\mu \frac{1}{\xi}$ ($x=\xi$)	$-f\mu \frac{1}{\xi}$ ($x=\xi$)

Данные по выполненной работе занести в отчет

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

Контрольные вопросы:

1. Прямые и обратные задачи магниторазведки.
2. Способы решения прямой задачи магниторазведки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Изучение высокоточного протонного магнитометра

Цель работы: ознакомиться с принципом действия и работой современных высокоточных протонных магнитометров ММПГ–1 и ММРОС–2.

Оборудование и материалы: протонные магнитометры ММПГ–1 и ММРОС–2, инструкции к применению магнитометров.

Теоретическая часть

1. Принцип свободной прецессии протонов

Принцип действия протонных или ядерных магнитометров основан на явлении свободной прецессии протонов в земном магнитном поле. Датчиком магнитометра является ампула с диамагнитной жидкостью, молекулы которой содержат атомы водорода (например, воду или бензол). Магнитные моменты молекул обусловлены только магнитными моментами ядер атомов водорода – протонами. Ампулу помещают в катушку L , через которую пропускают в течение нескольких секунд ток, создавая в ней вспомогательное магнитное поле H_0 напряжённостью в несколько десятков кА/м (рис. 1). Под действием поля H_0 магнитные моменты протонов ориентируются и жидкость приобретает суммарный магнитный момент M . После выключения тока магнитные моменты протонов начинают прецессировать вокруг направления измеряемого магнитного поля H с частотой $\omega = \gamma_p \cdot H$, где $\gamma_p = 2,6752 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1} \cdot \text{Тл}^{-1}$ – магнитомеханическое (гиромангнитное) отношение протона. Прецессия суммарного магнитного момента M приводит к появлению в катушке L переменной ЭДС с частотой, равной частоте прецессии ω . Прецессия постепенно затухает благодаря процессу релаксации, обусловленному слабым взаимодействием между протонами и атомами парамагнитных примесей, растворённых в рабочей жидкости. Для чистой воды время релаксации 3 с. Для повторного измерения

поля цикл повторяют. Цикличность работы датчика устраняют, например, с помощью системы из 2 датчиков, работающих поочередно.

2. Принцип динамической поляризации протонов

Для получения достаточно больших ЭДС применяют методы динамической поляризации ядер. При этом ориентация магнитных моментов протонов осуществляется благодаря их взаимодействию с электронными моментами парамагнитных ионов – эффект Оверхаузера (в воде растворяют парамагнитную соль). Таким способом ядерную намагниченность удастся увеличить в несколько сот раз. Применение вещества, содержащего радикалы нитрозодисульфоната калия, позволяет увеличить намагниченность ещё примерно в 40 раз.

Протонный магнитометр состоит из магниточувствительного блока или датчика (протонсодержащий сосуд с водой, спиртом, бензолом и т. п., вокруг которого намотаны возбуждающая и измерительная катушки); соединительных проводов; электронного блока (предусилитель, схема коммутации, умножитель частоты, частотомер и световой индикатор); регистрирующего устройства и блока питания. Рабочий цикл, т. е. время определения значений магнитного поля в каждой точке, складывается из времени поляризации датчика (для воды оно составляет 3–8 с), времени переключения датчика и времени определения частоты сигнала, наведенного в катушке датчика (0,1–0,4 с). В зависимости от протонсодержащего вещества и точности определения частоты прецессии рабочий цикл составляет 1–10 с.

При небольшой скорости движения носителя магнитометра (наземный или морской варианты) данные о магнитном поле Земли T получают практически непрерывно. При большой скорости, например при скорости самолета 350 км/ч, расстояние между замерами составляет 300 м. С помощью протонного магнитометра можно проводить магнитную съемку с использованием металлических носителей – кораблей или самолетов,

обладающих собственным магнитным полем. При этом датчик магнитометра буксируют на кабеле, длина которого должна в несколько раз превышать продольные размеры носителя.

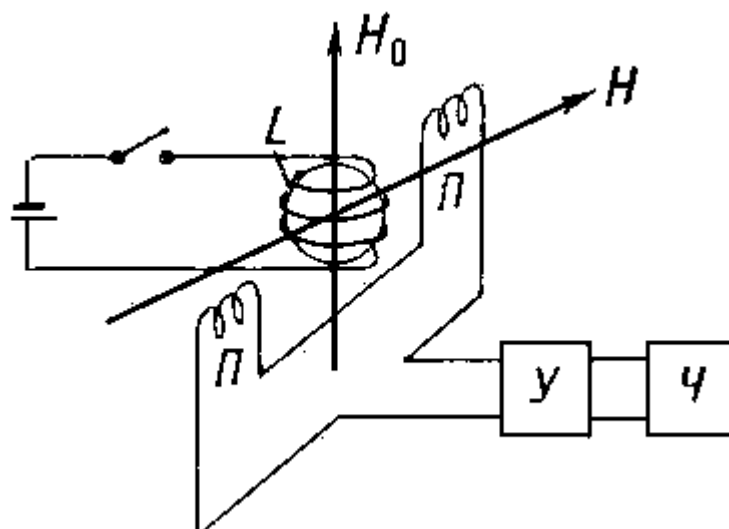


Рис. 1. Схема протонного магнитометра: L – катушка, создающая вспомогательное намагничивающее поле H_0 ; P – катушка, в которой возникает ЭДС, обусловленная прецессией ядерных моментов вокруг измеряемого магнитного поля H ; Y – усилитель сигнала; $Ч$ – частотомер.

С помощью протонного магнитометра дискретно (1 раз в 1–10 с) измеряют абсолютное значение магнитной индукции геомагнитного поля с погрешностью $\pm 1\text{--}2$ нТл при низкой чувствительности ($\pm 45^\circ$) к ориентации датчика по магнитному меридиану, независимости от температуры и времени (отсутствует смещение нуля). Протонные магнитометры используют при наземных (например, отечественные магнитометры ММПГ–1 и ММРОС–2) и морских (ММП–3) съемках, реже при воздушных съемках (МСС–214) и скважинных наблюдениях (ЛОМ–2, МСП–Г и МСП–2).

Указания по технике безопасности: к выполнению лабораторных работ допускаются студенты, ознакомившиеся с правилами работы в лаборатории, прошедшие инструктаж безопасности (см. Приложение 2).

Выполнение работы

1. ММПГ–1 – новая модель пешеходного протонного магнитометра, предназначенная для широкого производственного применения при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых (рис. 2). По идеологии построения и технической реализации этот магнитометр соответствует современному техническому уровню и может конкурировать с зарубежными аналогами. Обладая достаточно высокой разрешающей способностью и быстродействием, а также стабильностью показаний во времени, магнитометр обеспечен эффективной системой микропроцессорного управления, снабжен достаточно емким накопителем цифровой информации и имеет возможность использования спутниковой навигации для координатной привязки пунктов наблюдения. В отличие от прежних отечественных моделей протонных магнитометров в ММПГ-1 впервые реализована двухканальная система измерения, что позволяет наряду со значением модуля геомагнитного поля (Т) одновременно получать значения градиента (Гр) или приращения поля (Р).

Технические характеристики протонного магнитометра-градиентометра ММПГ–1:

Диапазон измерения модуля магнитной индукции по каждому каналу	от 20 000 до 100 000 нТл с погрешностью отсчитывания 0,01 нТл
Систематическая погрешность абсолютных измерений по каждому каналу	не более ± 2 нТл
Среднеквадратическая погрешность измерения магнитной индукции по каждому каналу	в диапазоне от 30 000 до 100 000 нТл – не превышает 0,03 нТл;
	в диапазоне от 20 000 до 30 000 нТл – не превышает 0,09 нТл
Нестабильность показаний во времени за 8 часов непрерывной работы	не выходит за пределы $\pm 0,2$ нТл
Режимы	ручной и автоматический с программируемым циклом работы 1 с при максимальном

	быстродействию 1 измерение в 2 с
Время установления рабочего режима	не более 5 мин
Погрешность хода встроенных часов магнитометра	не более ± 1 с за сутки
Питание	от аккумулятора или от внешнего источника постоянного тока напряжением 13 ± 2 В
Средняя потребляемая мощность при периодичности работы 1 измерение в 10 с	в одноканальном варианте – не более 1 Вт
	в двухканальном варианте – не более 2 Вт
Угловая рабочая зона магнитоизмерительного преобразователя	находится в пределах $\pm 45^\circ$ от оптимального положения
Изменение показаний, вызванное отклонением оси ПП от оптимального положения на угол $\pm 45^\circ$	не превышает ± 1 нТл
Емкость твердотельной памяти (сохраняемая информация – поле, время, координаты, а также данные начальной установки – дата, номер участка, номер прибора)	1 Мбайт
Цифровой выход	Информация из встроенного накопителя может быть выведена на ПК по интерфейсу RS-232
Диапазон рабочих температур	от -10°C до $+50^\circ\text{C}$
Изменение показаний магнитометра в диапазоне рабочих температур	не должно выходить за пределы $\pm 0,5$ нТл
Масса рабочего комплекта	для одноканального варианта – не более 4,5 кг
	для двухканального – не более 6 кг

Комплектация протонного магнитометра-градиентометра ММПГ–1:

1. Преобразователь магнитоизмерительный.
2. Блок измерительно-регистрирующий.
3. Аккумулятор, запасной аккумулятор, зарядное устройство для аккумуляторов.
4. Комплект кабелей: кабель МИП-БИР, кабель питания, кабель ДП, кабель RS-232.
5. Принадлежности: ранцевый подвес, футляр, ножка, ручка.
6. Диск с программным обеспечением, руководством по эксплуатации и методикой калибровки.



Рис. 2. Протонный магнитометр-градиентометр ММПГ–1.

Задание 1:

1. Ознакомиться с техническими характеристиками магнитометра.
2. Изучить инструкцию по работе с магнитометром.
3. Включить магнитометр и ознакомиться с режимами работы магнитометра.
4. Произвести измерение индукции ГМП в тестовом режиме. Найти среднее значение индукции.
5. Установить на электронном блоке координаты пункта наблюдения, время, дату, номер участка, номер прибора.
6. Произвести измерение индукции ГМП на 5 пунктах наблюдения (на каждом пункте произвести 5 физических наблюдений и найти среднее значение на данном пункте).
7. Данные по выполненной работе занести в отчет.

2. Магнитометр-градиентометр MMPOS–2 – это высокоточный прибор, предназначенный для измерения модуля геомагнитного поля (рис. 3). MMPOS–2 может использоваться как для проведения пешеходных съемок, так и в качестве стационарной вариационной станции.

MMPOS-2 состоит из специализированного полевого регистратора (Data logger) DLPOS и двух оверхаузеровских датчиков (MMPOS-2 является аналогом магнитометра MMPOS-1 и отличается наличием дополнительного

измерительного канала и датчика). Магнитометр-градиентометр MMPOS–2 позволяет измерять модуль геомагнитного поля и по первому OVH зонду и нормированную на базу разность полей.

Магнитометр-градиентометр MMPOS-2 обеспечивает все режимы полевых работ:

1. Площадная съемка с полуавтоматическим вводом пикета и маршрута, времени по встроенным часам.
2. Пешеходная съемка с автоматическим вводом координат и времени по GPS-приемнику Garmin 60 или любым другим по протоколу NMEA 183 с промежуточной маркировкой.
3. Пешеходная съемка с автоматическим вводом координат и времени по GPS-приемнику Garmin 60 или любым другим по протоколу NMEA 183 с промежуточной маркировкой.
4. Вариационная (базовая) станция (по одному датчику).
5. Тестовый режим без сохранения данных с вычислением среднего значения и СКО по 11 измерениям.

Технические характеристики протонного магнитометра-градиентометра MMPOS–2:

Разрешение	0,001 нТл
Чувствительность (СКО)	0,01 нТл в 3 сек цикле
	0,05 нТл в 1 сек цикле
Рабочий диапазон	20000-100000 нТл
Абсолютная погрешность	1 нТл
Градиентоустойчивость	20000 нТл/м (40000 форсаж)
Цикличность измерений	1, 2, 3 сек (опционально - до 0.2 сек)
Дисплей	LCD 240x128

Влагозащищенная клавиатура	32 клавиши
Диапазон температур	от –20°С до +60°С
Питание без / с подсветкой	0,7 / 3 Вт
Внутренние часы, стабильность	1 сек/сутки
Объем памяти	в режиме вариаций – 25000 измерений
	в режиме площадной съемки, включая GPS – 80000 измерений
Порт связи / разгрузки	RS 232
Порт GPS (протокол NMEA 183)	RS 232
Аккумулятор	7А/час обеспечивает 24 часа вариационных наблюдений при цикле 3 секунды или 5 дней полевых работ
Размер POS–1	910x120x70 мм
Размер DLPOS	260x150x45 мм
Общий вес	6,5 кг

Комплектация магнитометра-градиентометра MMPOS-2:

1. Блок электроники POS-2.
2. OVH зонд с гибким кабелем 3,4 м (2 шт.).
3. Комплект соединительных труб 0,5 м (4 шт.) и проходных (Г-образных) хомутов для крепления OVH зонда (2 шт.).
4. Регистратор DLPOS V2.0-gps.
5. Специализированный рюкзак.
6. Аккумулятор Pb 12 – 7Ah (2шт.).
7. Зарядное устройство.

8. Комплект кабелей: кабели связи, питания, разгрузки, вариационный кабель 25–50 м.
9. Программное обеспечение (ПО) QMSOft, включающее POSLink для разгрузки данных, учета вариаций, переход в планарные координаты. По обновления POS и DLPOS.
10. Комплект документации (паспорт и описание POS-1, включающее сборник команд управления по порту RS232; описание и инструкция пользователя DLPOS.
11. Магнитометр MMPOS-2 упакован в деревянный транспортировочный ящик.

Блок управления магнитометром-градиентометром MMPOS-2 позволяет подключать **GPS-приемник** для осуществления координатной привязки измерений на местности. В комплект данной опции входит:

1. GPS-приемник Garmin 60.
2. Программное обеспечение GPS-DLPOS.
3. Блок крепления.
4. Кабель связи Garmin-DLPOS.



Рис. 3. Протонный магнитометр-градиентометр MMPOS–2.

Задание 2:

1. Ознакомиться с техническими характеристиками магнитометра.
2. Изучить инструкцию по работе с магнитометром.
3. Включить магнитометр и ознакомиться с 3-мя режимами работы магнитометра (измеритель индукции ГМП, градиентометр, магнитовариационная станция).
4. Произвести измерение индукции ГМП, горизонтального и вертикального градиентов ГМП в тестовом режиме. Найти среднее значение индукции.
5. Установить на электронном блоке координаты пункта наблюдения, время, дату, номер участка, номер прибора.
6. Произвести измерение индукции ГМП на 5 пунктах наблюдения (на каждом пункте произвести 5 физических наблюдений и найти среднее значение на данном пункте).
7. На одном пункте наблюдения выполнить измерения индукции ГМП в режиме МВС, предварительно задав период измерений.
8. Данные по выполненной работе занести в отчет.

✓ **Данные по выполненной работе занести в отчет**

Содержание отчета

Отчет оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

Контрольные вопросы:

1. Абсолютные и относительные способы измерения индукции ГМП.
2. Магнитометры. Виды магнитометров.
3. Магнитные моменты электронов, ядер атомов и атомов.
4. Протонные магнитометры. Схема и принцип действия протонного магнитометра.
5. Эффект Оверхаузера.
6. Погрешности в измерении ГМП с помощью протонного магнитометра.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Обработка данных микросейсмокаротажа

Цель работы: получение навыков обработки данных микросейсмокаротажа. Микросейсмокаротаж (МСК) проводится с целью изучения верхней части разреза (ВЧР), которая состоит из зоны малых скоростей (ЗМС), подстилающих пород (ПП) до линии приведения, а иногда может включать и промежуточный слой, так называемую зону пониженных скоростей (ЗПС).

Теоретические основы

Изучение ЗМС проводится для определения оптимальной глубины заложения взрывчатого вещества, (т. к. глубина взрыва должна быть ниже подошвы ЗМС, т. е. $H_{взр} > H_{змс}$) для уменьшения потерь энергии волны ввиду того, что зона малых скоростей обладает интенсивными поглощающими свойствами; а также для расчета статических поправок при работах МОГТ.



При обратном МСК регистрация сейсмических волн осуществляется на поверхности земли, а возбуждение на разных глубинах скважины (с шагом определенным проектом работ или достаточным для необходимой точности изучения ВЧР). При прямом МСК регистрация сейсмических волн осуществляется в скважине на разных глубинах (с определенным проектом

шагом, или достаточным для необходимой точности изучения ВЧР), а возбуждение происходит на поверхности.

Для проведения МСК бурится скважина, забой которой на 20-100 м глубже подошвы ЗМС. В идеале если изучается ВЧР до линии приведения. Около устья скважины ставятся несколько (2-6) сейсмоприемников на расстояниях от 1 до 20 м от скважины, иногда по обе стороны от нее (по профилю). В скважину опускается зонд, на котором закреплены гирлянды электродетонаторов и производятся их поочередные взрывы на разных глубинах, начиная от забоя, через 2-6 м (рис. 1.а).

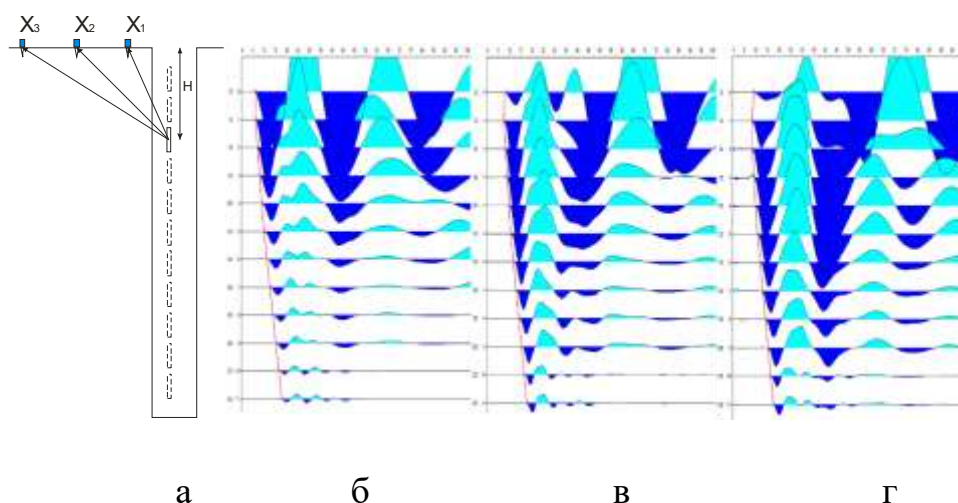


Рисунок 4.1 Микросейсмокаратаж: а) методика проведения; б) сейсмограмма на удалении 1м; в) сейсмограмма на удалении 3м; г) сейсмограмма на удалении 5м

С сейсмограммы МСК снимаются времена прихода волны к пункту приема (t_n время наблюденные), процедура называется пикировка первых вступлений.

Наблюденное время расположенных на расстояниях от скважины, приводится к вертикальному времени t_v по формуле:

$$t_{\theta} = t_n \cdot \cos(\alpha) = \frac{t_n \cdot H}{\sqrt{H^2 + \chi^2}} \quad (1)$$

Найденные вертикальные времена усредняются для одних и тех же глубин Н. Затем строится вертикальный годограф, который представлен отрезками прямых линий. По вертикальному годографу определяются пластовые скорости.

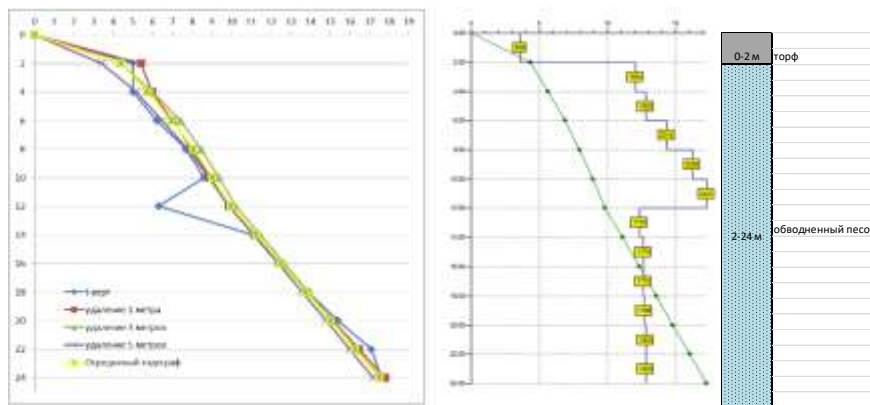


Рисунок 4.2 Вертикальный годограф

Границы пластов находятся по изломам вертикального годографа, а подошва ЗМС определяется по резкому возрастанию скорости в коренных породах:

$$V_{пл} = \frac{\Delta H}{\Delta t_{\theta}} \quad (2)$$

Порядок выполнения работы

1. Находятся вертикальные времена по формуле (1).
2. Усредняются вертикальные времена для одних и тех же глубин Н.
3. Строится вертикальный годограф вертикальным времен.
4. Определяются мощности пластов (ЗМС, ЗПС) по изломам вертикального годографа.
5. Определяются пластовые скорости по формуле (2).
6. Результаты обработки заносятся в таблицу вычислений.

Таблица вычислений

ГЛУБИНА	$X_1=1$ м		$X_2=3$ м		$X_3=5$ м		тв,ср, (с)	Анализ скоростей	
	тн (с)	тв (с)	тн (с)	тв (с)	тн (с)	тв (с)		толщина	интервальная скорость
Н (м)									

Оформление лабораторной работы

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

- Название и цель работы.
- Заполненная таблица результатами вычисления.
- выводы, вытекающие из результатов работы.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Контрольные вопросы

1. Основные задачи решаемые по методу МСК?
2. Что такое ЗМС?
3. Запишите формулу приведения наблюдаемого времени к вертикальному.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Установка сейсмического оборудования

Цель работы: ознакомиться с типовой схемой сейсмостанции, методикой установки сейсмических приборов, и принципом работы источника сейсмических волн типа «падающий груз».

Теоретические основы

СЕЙСМОРАЗВЕДКА – геофизический метод геологоразведки, основанный на изучении распространения в земной коре упругих (сейсмических) волн, вызванных взрывом или ударом. Упругие волны, распространяясь во все стороны от источника в толще земной коры, попадают на границы раздела, изменяют свое направление и динамические свойства, при этом образуются новые волны.

На пути следования волн размещаются пункты приёма и регистрации сигналов — сейсмоприемники. Измеряя время распространения волн, и изучая характер колебаний, можно определить глубину залегания и форму тех геологических границ, на которых произошло преломление или отражение волны, а также судить о составе горных пород, через которые волна прошла на своем пути.

Пункты приёма, применяемые для регистрации волн, образуют расстановку. Расстановки имеют форму прямой линии (2D-сейсморазведка) или блока параллельных приёмных линий (3D-сейсморазведка). Графики записанных колебаний группируются в сейсмограммы и анализируются.

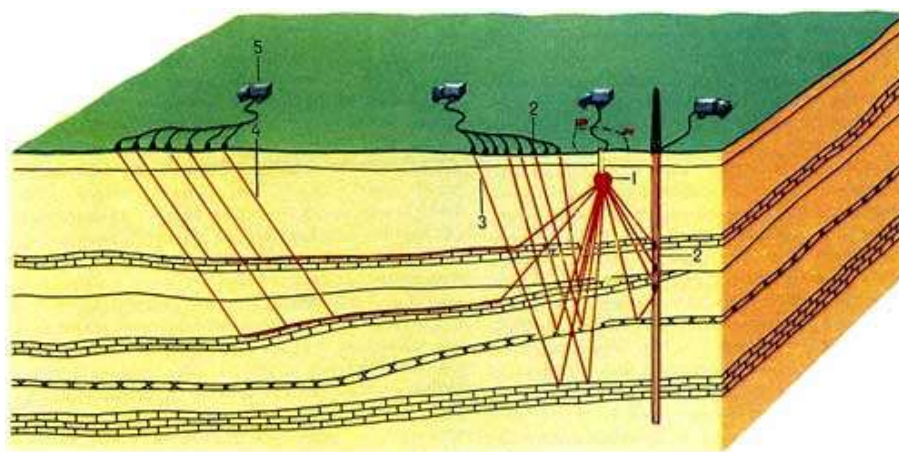


Рисунок 1.1 Упрощенная схема проведения наземных сейсморазведочных работ

1 — место взрыва; 2 — сейсмоприёмники; 3, 4 — отраженная волна; 5 — сеймостанция.

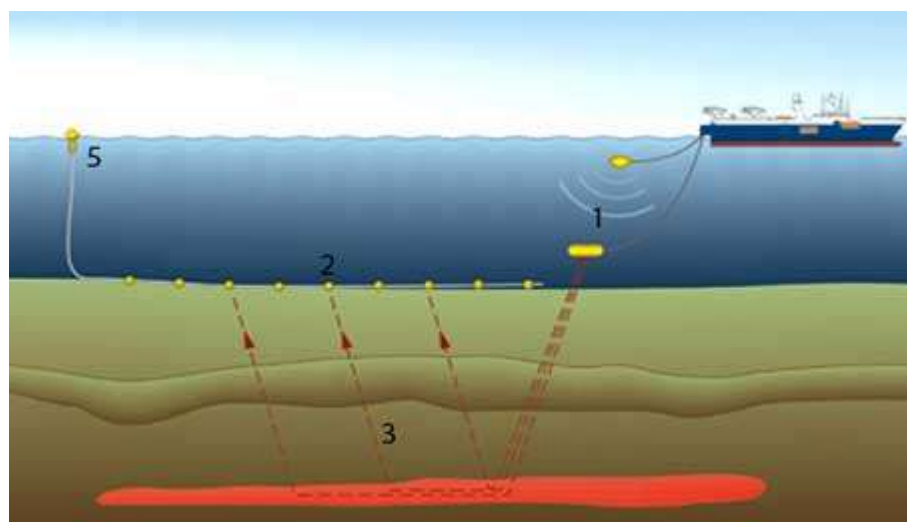


Рисунок 1.2 Упрощенная схема проведения морских сейсморазведочных работ

Сейсмические методы находят широкое применение при решении геологических задач и занимают ведущее место среди геофизических методов, применяемых при поисках месторождений нефти и природного газа, рудных месторождений и других полезных ископаемых, а также в инженерной геологии.

Сейсморазведка подразделяется:

— по стадии геологоразведочного процесса — региональная, поисковая и детальная;

— по решаемым задачам — глубинная, структурная (нефтегазовая) и инженерная;

— по условиям ведения работ — наземная, морская, скважинная.

— по размерности — 1D (в стволе скважины), 2D (с расстановкой пунктов возбуждения и приема вдоль линейного профиля) и 3D (с размещением пунктов приема по площади);

— по типу источника — взрывная, вибрационная и невзрывная импульсная.

Схема сейсмостанции Лаколлит:

Цифровая многоканальная инженерная сейсморазведочная станция имеет назначение производство сейсморазведочных работ методами МПВ, МОВ и ВСП на основе современных технических решений при:

- инженерно-геологических изысканиях
- микросейсморайонировании
- изучение ВЧР

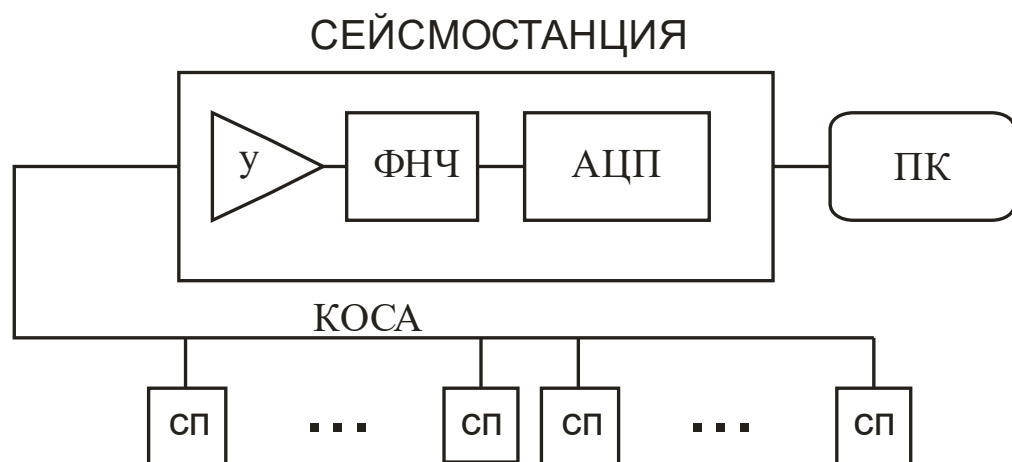


Рисунок 1.3 Упрощенная блок-схема узлов сейсморазведочной аппаратуры (Сейсмический канал)

СП – сейсмоприемник

У – усилитель

ФНЧ – Фильтр низких частот

АЦП – Аналого-цифровой преобразователь

ПК – Персональный компьютер.



Рисунок 1.4 Сейсмостанция Лакколит 24 М (снят с производства).



Рисунок 1.5 Сейсмостанция Лакколит 24 М3

Станция состоит из одного или нескольких электронных блоков “Лакколит Х-МЗ”.

Блок “Лакколит Х-МЗ” обеспечивает получение данных с 24-х сейсмических каналов и их предварительную обработку. Отображение результатов и дополнительная обработка данных в полевых условиях производится с помощью ноутбука с прикладным программным обеспечением или специализированного блока управления.



Рисунок 1.6 Блок-индикации сеймостанции Лакколит

Обслуживание сеймостанции производится одним оператором

Блок управления специализированный - прибор, предназначенный для управления сеймостанцией “Лакколит Х-МЗ. Блок управления позволяет получать данные и проводить первичную обработку информации в жестких полевых условиях ($-30 \dots +50^{\circ}\text{C}$). Блок управления разработан на современной базе с применением цифровых сигнальных процессоров, что обеспечивает:

просмотр записываемой информации в реальном времени на всех 24-х каналах или поканально, спектральный анализ;

архивирование информации за 10 смен работы;

перезапись на компьютер для последующей обработки;

емкость flash-памяти 2 Гб;

встроенный GPS приемник для определения географических координат с внесением в заголовок SEG Y файлов;

низкое энергопотребление (6 Вт.);

цветной TFT дисплей 640x480, сенсорный;

малые габариты и вес;

Система отметки момента

В сейсмостанции реализовано 4 вида источника сигнала, по которому станция начинает запись данных. Он имеет следующие положения:

«Безусловный» – запись данных начинается сразу после нажатия кнопки «запуск» или «тестовый запуск» в группе «запись».

«По замыканию» – запись данных начинается при получении аппаратного синхросигнала после нажатия кнопки «запуск» или «тестовый запуск» в группе «запись». Аппаратный синхросигнал представляет собой замыкание контактов.

«По размыканию» – запись данных начинается при получении аппаратного синхросигнала после нажатия кнопки «запуск» или «тестовый запуск» в группе «запись». Аппаратный синхросигнал представляет собой размыкание контактов.

«По обнаружению» – запись данных начинается при обнаружении сигнала станции после нажатия кнопки «запуск» или «тестовый запуск» в группе «запись».

Получение ОМ по радиоканалу с использованием системы «СОМ»:

СОМ состоит из приемного блока, передающего блока, приемной антенны, передающей антенны. СОМ позволяет производить запуск станции

синхронно с источником сейсмоколебаний по радиоканалу с расстояния до 500 м. Не требуется разрешение на работу в органах ГКРЧ России.



Рисунок 1.7 Система отметки момента по радио каналу

Сейсмоприемник (геофон)

В настоящее время в сейсморазведке применяются, главным образом, сейсмоприемники, в которых для преобразования механической энергии прошедших упругих волн в электрическое напряжение используют либо инерционный принцип преобразования, либо пьезоэлектрический. Любой современный приемник сейсмических колебаний преобразует различные механические параметры, характеризующие колебания среды, в электрические сигналы.



Рисунок 1.8 Вертикальный сейсмоприемник (слева) GS-20DX; Горизонтальный сейсмоприемник (с права) GS-20DX.

Порядок выполнения работы

- Установить сейсмическое оборудование в линию.

- Подготовить на линии ПВ (счистив дерн и утрамбовав площадку размером 0.3×0.3 м), площадку для возбуждения продольной сейсмической волны.

- Произвести запись вызванных сейсмических колебаний.

- Порядок выполнения работ описать в рапорте оператора.

Подбирается место работ длиной 150 м, с плавным перепадом альтиуды в пределах 0.5 м.

Отмечаются на профиле позиции ПВ и первого ПП.

Вертикальные сейсмоприемники (для приема продольных волн) устанавливаются с шагом 2 м.

Все ПП и ПВ устанавливаются на одной прямой, при этом отклонение по ПП не более ± 0.1 м. вдоль линии профиля для ПП и не более ± 0.3 м. вдоль линии профиля для ПВ, при этом ПВ смещаются в ортогональном направлении относительно линии профиля и не более ± 0.1 м вдоль.

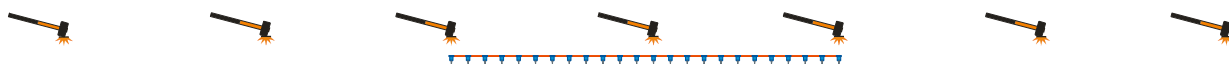


Рисунок 1.9 Схема положения ПП и ПВ

Подключить полевое оборудование и настроить сеймостанцию.

- Выполнить задание по лабораторной работе в коллективе из 5-6 студентов.

Оформление лабораторной работы

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

- Название и цель работы.
- Абрис профиля;
- Схема расположения ПВ и ПП.
- Журнал оператора
- Выводы, вытекающие из результатов работы.

Контрольные вопросы

1. Как синхронизируется импульсный источник с регистрирующим комплексом?
2. Какой тип волн регистрируется вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками?
3. Если приемники выставить на расстоянии от источника 12 м по окружности, как будет выглядеть сейсмограмма?
4. Нарисуйте упрощенную блок-схему узлов регистрирующего комплекса (сеймостанции).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ)

Цель работы: приобретение навыков решения обратной задачи электроразведки.

Оборудование и материалы: работа выполняется вручную (для численных расчетов используется инженерный калькулятор) либо на компьютере (системные требования – Windows 2000, XP, Microsoft Office 10).

При ВЭЗ используется симметричная четырехэлектродная установка AMNB. Сущность метода в том, что при неизменном положении центра установки и постоянных разносах приемной линии MN последовательно увеличивается разнос питающей линии АВ. Поэтому при ВЭЗ исследуется

изменение удельного электрического сопротивления горных пород с глубиной.

Метод ВЭЗ используется в основном при исследовании горизонтально слоистых разрезов, сложенных различными по электрическому сопротивлению породами. К числу геологических задач, решаемых методом ВЭЗ, относятся:

- глубинные структурные исследования участков платформ, в частности поиски и разведка нефтяных и газовых структур;
- картирование рельефа кристаллических фундаментов платформенных областей;
- поиски и разведка погребенных речных долин, в том числе палеодолин; гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания и т.п.

Моделирование метода ВЭЗ выполняется на электропроводной бумаге, т.е. плоском двумерном пространстве.

Объектом исследования является трехслойный разрез с плоскопараллельными границами раздела, имитируемый склеенными между собой полосками бумаги различной электропроводности. Параметры разреза:

h_1	h_2	$h_3=\infty$
ρ_1	ρ_2	ρ_3

Целью лабораторной работы является выполнение вертикального зондирования над указанным разрезом и получение зависимости $\rho_k = f(AB/2)$, т.е. кривой ВЭЗ. При измерениях используется лабораторная установка ВЭЗ со стандартными разносами линии АВ и MN и аппаратура МЭРИ-24 с генератором АСТРА-100 или Измеритель и генератор ERA-MAX.

Результаты измерений заносятся в журнал следующей формы:

AB(см)	MN(см)	K	ΔU	I	ρ_k (Ом*см)
3	1.2	0.0098			
4.2	1.2	0.0134			

6.0	1.2	0.0194			
8.0	1.2	0.0261			
8.0	3	0.00963			
10	1.2	0.0328			
10	3	0.0124			
13	3	0.0163			
18	3	0.0228			
30	3	0.0379			
50	3	0.0632			

Величины ρ_k подсчитываются по формуле: $\rho_k = K \frac{\Delta U}{I}$, где K – коэффициент установки:

$$K = \frac{\pi h}{\ln \left(\frac{AN}{AM} \right)}$$

h – толщина электропроводной бумаги, AN и MN – величины разносов питающей и приемных линий.

По вычисленным значениям ρ_k строится кривая ВЭЗ на стандартном билогарифмическом бланке. По характеру кривой необходимо сделать выводы о количестве слоев в разрезе и соотношении удельных сопротивлений слоев.

Для выполнения работы студенты разбиваются на бригаду, состоящую из оператора, вычислителя и рабочих на профиле. По выполнении 5-6 замеров студенты меняются местами. Для оценки качества измерений проводятся контрольные замеры ρ_k в объеме 5-10% от общего числа измерений и рассчитывается средняя относительная погрешность.

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать технику безопасности при эксплуатации электроустановок. Перед каждым включением генератора необходимо оповестить об этом. Запрещается прикасаться без защитных резиновых перчаток к проводам и электродам

питающей линии "АВ", находящимся под напряжением. Во время перерывов в работе и после окончания работ генератор следует немедленно отключать от питающей линии АВ.

Порядок выполнения работы:

- а) собрать схему
- б) провести измерения согласно разностям, указанным в таблице
- в) построить кривую ВЭЗ, определить тип кривой

Контрольные вопросы

- 1. Что в электроразведке называют установкой?
- 2. По какой формуле рассчитывается коэффициент установки для симметричной установки?
- 3. Какие геологические задачи решаются методом вертикальных электрических зондирований?
- 4. За счет чего меняется глубина исследования в методе ВЭЗ?
- 5. Что такое кривая ВЭЗ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Определение удельных сопротивлений горных пород с помощью электрического каротажа

Электрический каротаж (ЭК) - методы исследования скважин, основанные на изучении электрических свойств горных пород и насыщающих их флюидов. При электрическом каротаже производятся измерения электрических полей генерируемых токовыми электродами или электромагнитными катушками. По характеру изучаемого поля методы электрометрии делятся на две больших группы – естественного и искусственного электромагнитного поля, а по частоте поля – на методы постоянного, квазипостоянного и переменного поля.

Рассмотрим электрическое поле для точечного заряда в однородной среде. Из электростатики известно, что два точечных электрических заряда q_1 и q_2 будут взаимодействовать по прямой линии с силой F , прямо пропорциональной величине этих зарядов и обратно пропорциональной

квадрату расстояния между ними r . Эта зависимость носит название **закона Кулона** и имеет вид:

$$F = q_1 q_2 / r^2, \quad (1)$$

где q_1 – первый точечный заряд;

q_2 – второй точечный заряд;

r – расстояние, между точечными зарядами.

Электрическое поле характеризуется напряженностью, имеющей в каждой его точке различные значения. Напряженность поля является величиной векторной (рис. 1).

По закону Кулона **напряженность** электрического поля в точке, находящейся на расстоянии r от заряда q :

$$E = q/r^2 \quad (2)$$

Если электрическое поле образовано несколькими зарядами, то общая напряженность поля равна геометрической сумме напряженностей полей всех зарядов. Линии, указывающие направление напряженности поля, называются силовыми линиями. Элементарный положительный заряд в электрическом поле движется вдоль силовых линий.

Для перемещения электрического заряда из одной точки поля в другую с разными значениями напряженности надо выполнить определенную работу, затрачивая энергию для преодоления силы взаимодействия этих зарядов. Работа, которую необходимо совершать для перемещения единичного положительного заряда из бесконечности в данную точку электрического поля, носит название **потенциала (1) этой точки**. Потенциал U каждой точки электрического поля имеет вполне определенное значение. Потенциал некоторой точки A электрического поля прямо пропорционален величине заряда и обратно пропорционален расстоянию до заряда:

$$U_A = q/r, \quad (3)$$

или, используя (2), $U_A = Er$.

Геометрическое место точек с одинаковыми потенциалами электрического одиночного заряда образует эквипотенциальную поверхность

(2), которая в однородной среде имеет форму шара, если поле вызвано несколькими зарядами, то потенциал точки равен алгебраической сумме потенциалов полей, образованных отдельными зарядами. Как видно из формулы 3, потенциал и напряженность электрического поля взаимосвязаны. В очень малом интервале напряженность, взятая с противоположным знаком, характеризует изменение потенциала и носит название градиента потенциала ΔU .

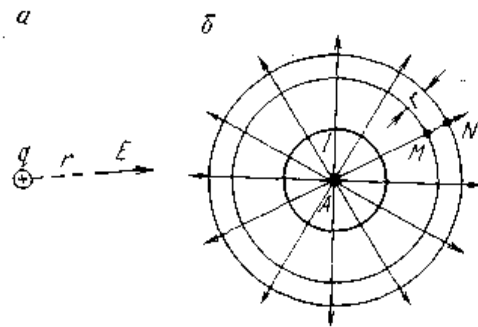


Рисунок 1 – Электрическое поле одиночного заряда (а) и точечного источника тока
ника тока
в проводящей однородной среде (б)

Установка (зонд) для измерения удельного сопротивления пород состоит из двух токовых (А и В) и двух измерительных (М и N) электродов.

Если электрическое поле, созданное током I , вытекающим из точки А (точка В удалена в бесконечность), находится в условиях однородной проводящей среды (рис. 1), то токовые линии будут иметь вид силовых линий. Точки М и N (называемые измерительными электродами), находящиеся на разных расстояниях от точки А, будут лежать на различных эквипотенциальных поверхностях электрического поля. Таким образом, проходя через шаровые эквипотенциальные поверхности точек М и N, ток I создает между ними разность потенциалов ΔU :

$$\Delta U = U_M - U_N, \quad (4)$$

где U_M – потенциал измерительного электрода М;

U_N – потенциал измерительного электрода N.

но

$$\Delta U = I R, \text{ а } R = \rho_n \frac{l}{S} \quad (5)$$

тогда

$$\Delta U = I \rho_n \frac{l}{S} \quad (6)$$

где I – сила тока, вытекающего из точки А;

R – электрическое сопротивление между шаровыми поверхностями точек М и N;

$l = r$ – расстояние между поверхностями точек М и N ($l = AN - AM$);

ρ_n – удельное электрическое сопротивление среды;

S – сечение проводника, площадь эквипотенциальной поверхности ($S = 4\pi r^2$).

Учитывая, что рассматриваемые эквипотенциальные поверхности точек М и N расположены **близко** друг к другу и расстояние MN значительно меньше AM или AN, для упрощения можно считать:

$$S = 4\pi AM \cdot AN, \quad (S = 4\pi r^2), \quad (7)$$

Подставив это уравнение в (6), получим:

$$\Delta U = I \frac{\rho_n (AN - AM)}{4\pi AM \cdot AN} = I \frac{\rho_n}{4\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right) \quad (8)$$

В электрическом каротаже при измерении ΔU расстояния между электродами сохраняются постоянными и характеризуют коэффициент зонда К:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} \right) \quad (9)$$

или

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{4n} \left(\frac{MN}{AN \cdot AM} \right),$$

$$K = \frac{4nAN \cdot AM}{MN}$$
(10)

Для оценки удельного электрического сопротивления однородной среды необходимо знать коэффициент зонда, величину протекающего в цепи АВ тока и величину разности потенциалов между электродами М и N.

При постоянных значениях I и K регистрируется изменение значения ΔU , которое и будет пропорционально удельному сопротивлению среды:

$$\rho_n = K \frac{\Delta U}{I},$$
(11)

где, K – коэффициент зонда;

I – ток протекающий в цепи токовых электродов АВ;

ΔU – разность потенциалов между измерительными электродами М и N.

В действительности при каротаже методом сопротивлений встречаются с неоднородной по удельному сопротивлению средой. В результате искажающего влияния таких факторов, как промывочная жидкость, зона проникновения фильтрата глинистого раствора в пласт, незатронутая проникновением часть пласта, переслаивание пластов с различными электрическими характеристиками и другие, определяется не истинное удельное сопротивление, а приближенное, которое носит название кажущегося удельного сопротивления p_k .

Для измерения p_k пользуются формулой (11), справедливой для однородной среды. Результаты измерений кажущегося удельного сопротивления представляют в виде кривой изменения p_k по стволу скважины с глубиной – кривая кажущегося сопротивления (КС).

Горные породы состоят из породообразующих минералов, которые имеют очень высокие значения электрического сопротивления. Однако присутствие в породах минерализованной воды в значительной степени снижает их сопротивление, так как насыщенные минерализованной водой

горные породы обладают **ионной проводимостью (3)**. Содержание воды в породе в общем случае зависит от значения коэффициента пористости горной породы (K_p), который выражается в %, т.е. показывает объем пустот в породе. Нефть и газ, которыми могут быть насыщены пласты коллектора, также имеют очень высокое электрическое сопротивление, но при регистрации электрокаротажа пласты, насыщенные нефтью или газом **не имеют** бесконечно высокого сопротивления, поскольку нефть заполняет только центральную часть пор, а сами зерна минералов, которыми сложен пласт, всегда содержат на своей поверхности физически связанную воду.

Процесс записи каротажных диаграмм на скважине представлен на рисунке 2.

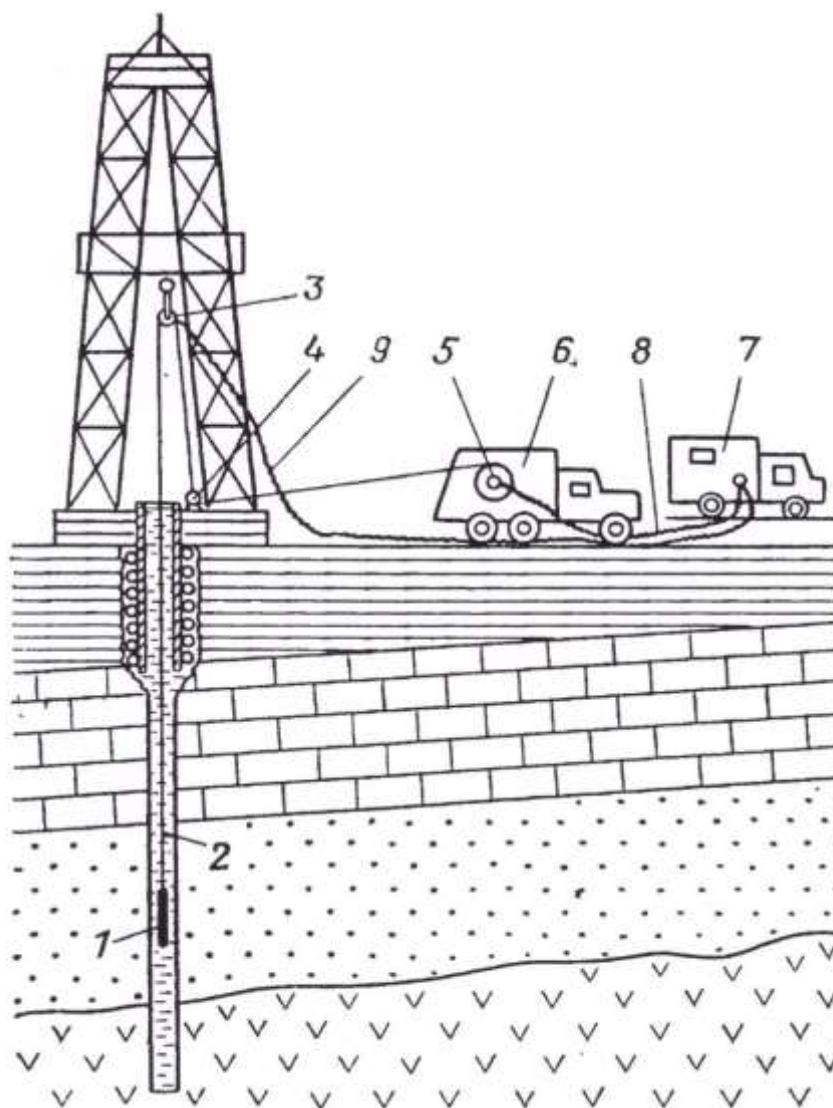


Рисунок 2 – Процесс записи каротажных диаграмм на скважине

Основными факторами, определяющими УЭС водных растворов – концентрация солей в растворе, химический состав и температура.

В пластовых водах нефтяных и газовых месторождений 70 – 95 % NaCl. Температура понижает сопротивление растворов т. к. увеличивается подвижность ионов и уменьшается вязкость.

Для измерения удельного сопротивления горных пород вскрытых скважиной применяют несколько электрических зондовых устройств. Пример простейшего зондового устройства для измерения удельного сопротивления горных пород в скважине показан на рисунке 3.

Удельное сопротивление горных пород наиболее тесно связано с их литологической характеристикой, характером насыщения (вода, газ, нефть), пористостью и проницаемостью, т. е. с параметрами, оценивающими коллекторские свойства пласта. В связи с этим метод удельного сопротивления в настоящее время является основным методом исследования геологического разреза скважин.

В зависимости от минерализации пластовой воды, заполняющей поры и трещины горных пород, их удельное сопротивление изменяется в широких пределах – от долей Ом-метра до нескольких тысяч Ом-метров. Повышение минерализации водных растворов ведет к уменьшению их удельного сопротивления за счет увеличения общего числа ионов.

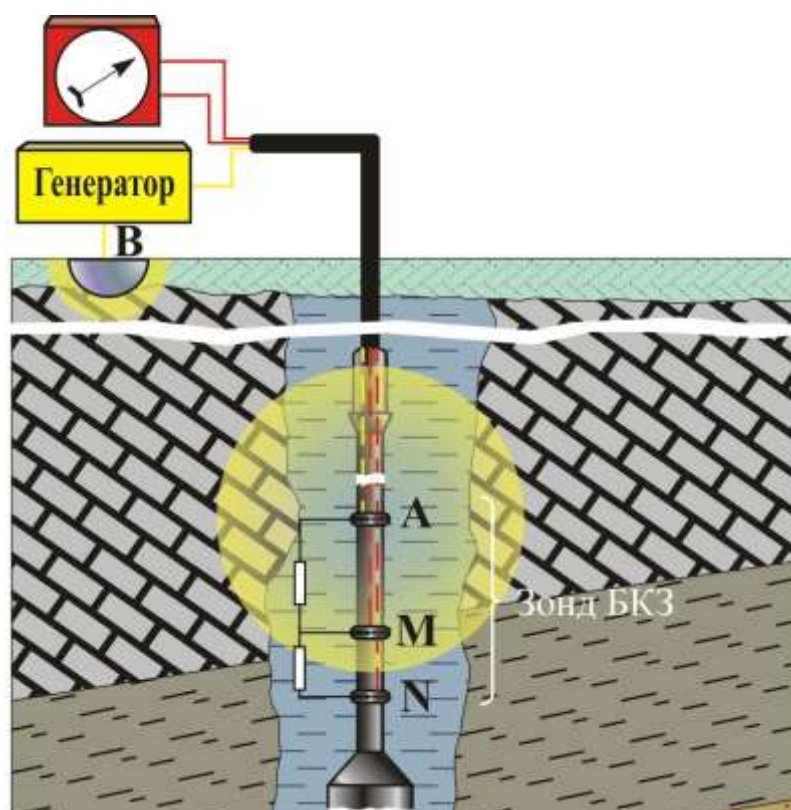


Рисунок 3 – Зондовое устройство для измерения удельного сопротивления горных пород в скважине

С повышением температуры удельное сопротивление растворов и горных пород *понижается*. Значения удельных сопротивлений наиболее распространенных осадочных горных пород приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения удельных сопротивлений горных пород

Горная порода	Удельное электрическое сопротивление, Ом м	Горная порода	Удельное электрическое сопротивление, Ом м
Глина, содержащая минерализованную воду	0,5 – 15	Песок, песчаник, насыщенный минерализованной водой	0,5 – 5

Известняк	40 – 100 000	Песок, песчаник, насыщенный минерализованной водой	10 – 10 000
-----------	--------------	--	-------------

Поскольку удельное сопротивление большинства породообразующих минералов осадочных пород на 5–10 порядков выше удельного сопротивления пластовой воды, то удельное сопротивление породы зависит в основном от удельного сопротивления пластовой воды, насыщающей породу, объемной влажности и геометрии пространства, занимаемого в породе водой.

Прибор электрического каротажа отображен на рисунке 4.

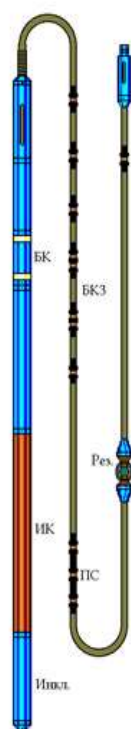


Рисунок 4 – Прибор электрического каротажа

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Требования к оформлению отчета по выполнению лабораторных работ

Отчет должен содержать следующие элементы:

Титульный лист

Цель работы

Оборудование и материалы

Задание

Порядок выполнения работы

Вывод

Образец титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

Кафедра «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных
ископаемых»

Отчет по лабораторной работе №

название работы

Вариант №

Выполнил студент группы _____

Ф.И.О.

Проверил преподаватель

должность, Ф.И.О.

Ставрополь, 20__ г.

Цель работы: приводится формулировка цели лабораторной работы. Формулировки цели для каждой лабораторной работы приведены в методических указаниях.

Оборудование и материалы: перечисляется используемое оборудование и материалы.

Задание: приводится описание задания в соответствии с выданным вариантом.

Порядок выполнения работы: описываются последовательно этапы выполнения работы с указанием результатов.

Вывод: кратко описываются итоги проделанной работы и приводится анализ полученных результатов.

Параметры форматирования

Текст работы должен быть напечатан через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги (А4).

Текст и другие отпечатанные элементы работы должны быть черными, контуры букв и знаков – четкими, без ореола и затенения.

Шрифт Times New Roman, размер шрифта 14.

Названия глав и параграфов выделяются полужирным шрифтом.

Лист с текстом должен иметь поля: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху – 20 мм, снизу – 20 мм.

Необходимо различать в тексте **дефис** (-) (например, корреляционно-регрессионный) и **тире** (–) (Alt + 0150).

Нумерация рисунков, таблиц и формул должна соотноситься с номером лабораторной работы. Например, в лабораторной работе 1 таблицы и рисунки нумеруются так: Таблица 1.1, Рисунок 1.1, (1.1) и так далее.

Рисунки должны быть оформлены с учетом особенности черно-белой печати (рекомендуется использовать в качестве заливки различные виды штриховки и узоров, в графиках различные виды линий – пунктирные,

сплошные и т. д., разное оформление точек, по которым строится график – кружочки, квадраты, ромбы, треугольники).

Рисунки нумеруются снизу (Рис. 1. Название).

Надписи на рисунках должны читаться.

Рисунки должны читаться отдельно от текста, поэтому оси должны иметь название и единицы измерения;

Таблицы должны иметь название. Таблицы нумеруются сверху (Таблица 1.1 – Название).

Формулы выполняются в программе редактор формул **MathType**; выравниваются по центру, их номера ставятся при помощи табулятора в круглых скобках по правому краю. Допускается выполнение формул и уравнений рукописным способом черными чернилами.

Заголовки должны быть выделены относительно основного текста, например, выполнены в полужирном стиле.

Страницы нумеруются арабскими цифрами. Номер страницы ставится в центре нижней части листа без точки. Титульный лист включается в общую нумерацию, номер на нем не ставится.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ИНСТРУКТАЖ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда при работе в компьютерном классе для обучающихся согласно инструкции ИОТ-УИ-274-13, утвержденной ректором СКФУ.

1. Общие требования охраны труда

1.1. К самостоятельной работе с ПЭВМ допускаются обучающиеся после прохождения ими инструктажа на рабочем месте, обучения безопасным методам работ и проверки знаний по охране труда.

1.2. Обучающиеся обязаны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, установленные в университете, требования инструкций по охране труда:

по оказанию доврачебной медицинской помощи пострадавшим ИОТ- МЦ -08-13;

по пожарной безопасности в СКФУ ИОТ-УКБ-Об-13;

для операторов и пользователей ПЭВМ, работников, занятых эксплуатацией ПЭВМ и видео дисплейных терминалов ИОТ-УИ-05-13.

1.3. Запрещается употреблять во время учебно-воспитательного процесса алкогольные напитки, а также приходить на занятия в состоянии алкогольного, наркотического или иного опьянения.

Курить запрещено в компьютерных классах, учебных корпусах и студенческих общежитиях.

Курить разрешается на территории университета только в специально оборудованных местах.

1.4. При работе с ПЭВМ рекомендуется организация перерывов на 10 - 15 мин. через каждые 45 - 60 мин. работы.

1.5. При работе на ПЭВМ могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы:

Физические:

- повышенные уровни электромагнитного, рентгеновского, ультрафиолетового, инфракрасного излучения;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенные уровни запыленности воздуха рабочей зоны;
- уровень положительных и отрицательных аэронов в воздухе рабочей зоны;
- неравномерность распределения яркости в поле зрения;
- повышенная яркость светового изображения;
- повышенный уровень пульсации светового потока;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный или пониженный уровень освещенности;
- повышенный уровень прямой и отраженной блескости;
- повышенный уровень ослепленности;
- повышенные энергетические потоки света;
- несоответствие параметров микроклимата нормам.

Химические:

- повышенное содержание в воздухе рабочей зоны двуокиси углерода, озона, аммиака, фенола, формальдегида и полихлорированных бифенилов.

Психофизиологические:

- напряжение зрения и внимания; интеллектуальные и эмоциональные нагрузки;
- длительные статические нагрузки;
- монотонность труда; большой объем информации обрабатываемой в единицу времени;

- нерациональная организация рабочего места.

Биологические:

- повышенное содержание в воздухе рабочей зоны микроорганизмов.

1.6. Запрещается находиться в компьютерном классе в верхней одежде, а также принимать пищу.

1.7. Обучающийся должен знать месторасположение первичных средств пожаротушения и уметь ими пользоваться.

1.8. Обучающийся должен знать местонахождения медицинской аптечки, правильно пользоваться медикаментами и уметь оказать доврачебную медицинскую помощь пострадавшим.

1.9. При несчастном случае на производстве обучающийся обязан:

- устранить травмирующий фактор (если это возможно);
- оказать первую медицинскую помощь пострадавшему;
- при необходимости вызвать скорую медицинскую помощь или организовать доставку пострадавшего в медицинское учреждение;
- немедленно сообщить о случившемся администратору, преподавателю, заведующему кафедрой;
- сохранить до начала расследования несчастного случая обстановку, какой она была на момент происшествия, если это не угрожает жизни и здоровью окружающих и не приведет к аварии или возникновению иных чрезвычайных обстоятельств, а в случае невозможности ее сохранения - зарисовать сложившуюся обстановку (составить схемы, провести фотографирование или видеосъемку).

1.10. При работе с ПЭВМ обучающиеся должны соблюдать правила личной гигиены.

1.11. Работа в компьютерном классе разрешается исключительно в присутствии преподавателя или технического персонала компьютерного класса.

1.12. Запрещается присутствие в помещении компьютерного класса посторонних лиц.

1.13. По всем вопросам, связанным с работой вычислительной техники следует обращаться к техническому персоналу компьютерного класса.

2. Требования охраны труда перед началом работ

2.1. Перед началом работы пользователь ПЭВМ обязан:

- осмотреть и привести в порядок рабочее место, освободив его от посторонних предметов;
- убедиться в достаточности освещенности, отсутствии отражений на экране, отсутствии встречного светового потока;
- проверить комплектность компьютера;
- проверить правильность установки стола, стула, положения оборудования, угла наклона экрана, положения клавиатуры.

2.2. При подключении компьютера необходимо соблюдать следующую последовательность включения оборудования:

- включить блок питания или источник бесперебойного питания (если есть);
- включить периферийные устройства (принтер, монитор, сканер и др.);
- включить питание системного блока или иного оборудования.

2.3. Запрещается приступать к работе при:

- нарушении целостности корпуса компьютера, монитора, клавиатуры, мыши;
- обнаружении неисправности оборудования;
- отсутствии защитного заземления устройств ПЭВМ;
- отсутствии огнетушителя и аптечки первой помощи в компьютерном классе;
- нарушении гигиенических норм размещения мониторов.

3. Требования охраны труда во время работы

3.1. Во время работы на ПЭВМ обучающийся обязан:

- аккуратно обращаться с клавиатурой;
- держать открытыми все вентиляционные отверстия устройств;
- соблюдать расстояние от глаз до экрана в пределах 60-80 см;
- следить, чтобы кабель (шнур) ПЭВМ был защищен от случайного

повреждения и соприкосновения с горячими и сырыми поверхностями.

3.2. Пользователю ПЭВМ во время работы запрещается:

- дотрагиваться до экрана монитора и вращать монитор;
- работать с ПЭВМ при снятом корпусе;
- во избежание внутреннего перегрева и выхода ПЭВМ из строя закрывать во время работы вентиляционные отверстия посторонними предметами или чехлами;
- оставлять включенный ПЭВМ без присмотра;
- самостоятельно вскрывать корпус монитора, системного блока;
- самостоятельно разбирать монитор, системный блок, клавиатуру, мышь;
- самостоятельно переключать силовые питающие кабели проводов связи с периферийными устройствами на задней крышке корпуса системного блока и монитора;
- отключать штепсельные разъемы;
- подключать в цепь нулевого провода предохранители;
- заземлять компьютер на батарею парового или водяного отопления;
- переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании;
- производить отключение питания во время выполнения активной задачи;
- оказывать механические усилия (наступать ногами, дергать)' силовые питающие кабели и за провода связи с периферийными устройствами;
- ударять сильно по клавишам клавиатуры;
- работать грязными руками;
- касаться одновременно экрана монитора и клавиатуры (возможен разряд повышенного электростатического потенциала);
- прикасаться к задней панели системного блока (возможно поражение электрическим током);
- допускать попадание влаги на поверхность системного блока, монитора, клавиатуры;
- загромождать верхние панели устройств бумагами и посторонними предметами; подвергать монитор воздействию прямых солнечных лучей или других источников тепла;
- устанавливать системный блок на полу непосредственно у ног пользователя ПЭВМ, в зоне повышенной влажности и повышенного содержания пыли;
- передвигать столы с оборудованием, переставлять оборудование на столах.

3.3. Необходимо соблюдать следующие меры безопасности:

- не прикасаться одновременно к металлическим частям ПЭВМ и устройствам, имеющим естественное заземление (радиаторы отопления, водопроводный кран и т.д.).

- во избежание повреждения соединительного провода клавиатуры работать с клавиатурой только на столе.

- при размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2.0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1.2 м.

3.4. Помещение для эксплуатации ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение.

3.5. Рабочие столы рекомендуется размещать таким образом, чтобы видео дисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам и естественный свет падал преимущественно слева.

3.6. Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

3.7. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана.

3.8. Должен быть обеспечен свободный доступ к сетевому выключателю ПК и розетке.

3.9. Рабочие места с ПЭВМ не должны размещаться вблизи силовых кабелей, технологического оборудования.

3.10. Необходимо систематически проветривать помещение с ПЭВМ - во время перерывов с обязательным выходом из него обучающихся.

3.11. По всем вопросам, связанным с неисправностями в вычислительной технике следует обращаться к преподавателю или техническому персоналу компьютерного класса.

4. Требования охраны труда в аварийных ситуациях

4.1. Пользователь ПЭВМ обязан немедленно отключить электропитание:

- во всех случаях обнаружения обрыва проводов питания, неисправности заземления, элементов электрооборудования, запаха гари и т. п.)

- при возникновении «дрожания» изображения (рябь, покачивание, подергивание);

- при обнаружении человека, попавшего под напряжение, (немедленно) освободить его от действия тока, оказать до прибытия врача потерпевшему первую медицинскую помощь;

- при повреждении штепсельного соединения кабеля (шнура) или его защитной трубки;

- в случае внезапного прекращения подачи электроэнергии;

- при появлении не характерного для работы ПЭВМ шума;

- при появлении дыма или запаха, характерного для горящей изоляции.

4.2. При возгорании оборудования отключить питание и принять меры к тушению очага пожара имеющимися первичными средствами пожаротушения в соответствии с инструкцией по пожарной безопасности.

4.3. При любой аварии или аварийной ситуации, которая может привести к аварии или несчастному случаю, обучающийся обязан сообщить преподавателю или техническому персоналу компьютерного класса.

5. Требования охраны труда по окончании работ

5.1. Закрывать активные задачи.

5.2. Убедиться, что в дисководе нет дискеты или диска.

5.3. Провести завершение работы.

5.4. Выключить периферийные устройства и монитор.

5.5. Отключить питание системного блока.

5.6. Выполнить упражнение для глаз, шеи, спины в течении 1-2 минут.

5.7. Привести в порядок рабочее место.

5.8. О всех замеченных неполадках сообщить преподавателю или техническому персоналу компьютерного класса.

5.9. По окончании работы сдать свое рабочее место с ПЭВМ преподавателю или техническому персоналу компьютерного класса.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник для

- студентов, обучающихся по направлению «Геология» / [В. В. Авдонин и др.]; под ред. В. В. Авдониной [Текст]. - Москва: Академия, 2011. – 407 с. : ил., фот., карты, граф., диагр.
2. Геофизическая электромагнитная теория и методы [Текст]: монография: пер. с англ. / М. С. Жданов; под ред. Е. П. Велихова. - Москва: Науч. мир, 2012. - 679 с.: ил.; 27 см. Указ. - Библиогр.: С. 645-667. – ISBN 978-5-91522-287-7 (в пер.).
 3. Бакиров А.А., Бакиров Э.А., Габриэлянц Г.А., Керимов В.Ю., Мстиславская Л.П. Теоретические основы поисков и разведки нефти и газа / Под ред. Э.А. Бакирова и В.Ю. Керимова: Учебник для вузов. В 2-х кн. – 4-е изд., перераб. И доп. – Кн. 1: Теоретические основы прогнозирования нефтегазоносности недр. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2012. – 412 с.: с ил.

Дополнительная литература:

1. Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. Основные понятия, термины, определения: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 479 с.
2. Маловичко А.К., Костицын В.И. Гравиразведка: Учебное пособие для студентов геофизических специальностей вузов. – М.: 1992. – 359 с.
3. Гринкевич Г.И. Магниторазведка. – Екатеринбург: УГГА, 2001. – 308 с.
4. В.К. Хмелевской. Геофизические методы исследования земной коры. Кн.1: Методы прикладной и скважинной геофизики. Учебник. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна». – 1997, 276с., с ил.
5. В.К. Хмелевской. Геофизические методы исследования земной коры. Кн. 2: Региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика. Учебное пособие. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна». –1999, 184с., с ил.
6. Серкерев, С. А. Гравиразведка и магниторазведка в нефтегазовом деле: учебное пособие / С. А. Серкерев. – М.: Нефть и газ: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006. – 512 с.: ил. – Библиогр.: С. 498-500. – Предм. указ.: С. 501-506. – ISBN 5-7246-0365-9
7. Булычев А.А., Лыгин И.В., Мелихов В.Р. Численные методы решения прямых задач грави- и магниторазведки (конспект лекций). Учебное пособие для студентов и магистрантов специализации «Геофизика» – М.: 2010. – 164 с. (Библиотека кафедры)

Интернет-ресурсы:

1. <http://geophys.geol.msu.ru> – сайт кафедры геофизики МГУ.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению самостоятельной работы
по дисциплине «Разведочная геофизика»
для специальности 21.05.03 Технология геологической разведки

Ставрополь
2026

Содержание

Пояснительная записка

Технологическая карта самостоятельной работы студента

Методические рекомендации по выполнению заданий

Список литературы, рекомендуемый к использованию в
самостоятельной работе студентов

Пояснительная записка

Наряду с аудиторной работой одной из форм учебного процесса, его существенной частью является самостоятельная работа студентов (СРС).

Задачами СРС являются:

- развитие и привитие навыков самостоятельной учебной работы и формирование знаний;
- освоение, углубление содержания и основных положений курса, выносимых на самостоятельное изучение студента; в ходе составления опорного конспекта, в ходе подготовки к лекционным занятиям
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий при подготовке и написании докладов, рефератов, для эффективной подготовки к итоговому контролю.

Самостоятельная работа студентов может осуществляться как в аудитории, так и вне ее, обычно это в основном внеаудиторная деятельность студента. Для активного владения знаниями в процессе аудиторной работы необходимо не только понимание учебного материала, но и творческое его восприятие.

Основные формы реализации самостоятельной работы и контроля знаний являются:

Комплект разноуровневых задач и заданий – индивидуальное решение репродуктивных, реконструктивных и творческих заданий, позволяющих оценивать и диагностировать уровень обученности, уровень умений и навыков студентов по темам дисциплины. Процедура проведения этой формы учебной деятельности студента включает в себя письменное выполнение заданий трех уровней и защиту их на практическом занятии. При проверке задания, оцениваются полнота и самостоятельность выполнения заданий, оригинальность решения.

Опорный конспект темы – письменный текст, в котором кратко и последовательно изложено содержание основного источника информации. Конспектировать – значит приводить к некоему порядку сведения, почерпнутые из оригинала. В основе процесса лежит систематизация прочитанного или услышанного. Записи могут делаться как в виде точных выдержек, цитат, так и в форме свободной подачи смысла. Данный вид самостоятельной работы направлен на формирование представлений о конфликтах.

Собеседование – средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя со студентом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объёма знаний обучающегося по определённому разделу, теме, проблеме и т.п.

Их содержание должно сформировать умение анализировать философско-методологические и научные тексты, обосновывать своё отношение к изложенным в них оценкам, составлять краткие конспекты, тезисы прочитанного, умение применять полученные знания для постановки и решения исследовательских задач, связанных с изучением студентами той или иной области природы и культуры. Разнообразие заданий позволяет учитывать индивидуальные особенности студентов при организации самостоятельной работы.

Чёткое выполнение самостоятельной работы студентами обеспечит своевременную подготовку к занятию, высокое качество усвоения материала, возможность применения теоретических знаний на практике.

Технологическая карта самостоятельной работы студента

Код реализуемой компетенции	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов
4 семестр				
ОПК-10	Изучение литературы по темам № 3– 6	Конспект	Собеседование	6
ОПК-10	Подготовка к лекциям	Конспект	Опрос	6
ОПК-10	Подготовка к лабораторным работам	Индивидуальные задания	Защита индивидуальных заданий	6
ОПК-10	Подготовка к зачету с оценкой	Вопросы и задачи	Экзамен	8
Итого за 4 семестр				26
Итого				26

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Работа с конспектом лекций

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам и тестам. Умение студентов быстро и правильно подобрать литературу, необходимую для выполнения учебных заданий и научной работы, является залогом успешного обучения. Самостоятельный подбор литературы осуществляется при подготовке к семинарским, лабораторным занятиям, при написании курсовых работ, научных рефератов.

Выполнение СРС на занятиях с проверкой результатов преподавателем позволяет студентам усваивать изучаемый материал более глубоко, меняется отношение к лекциям, так как без понимания теории предмета, без хорошего конспекта трудно рассчитывать на успех в решении заданий. Это улучшает посещаемость как практических, так и лекционных занятий.

При подготовке к лекциям-беседам тема сообщается студентам заранее. Участники дискуссии делятся на группы по 8 человек, в течение 10—15 мин подготавливают свой вариант решения проблемы. Следующим этапом дискуссии является выступление представителей от каждой группы из 8 человек и защиты своего варианта решения. В конце общего обсуждения ведущий подводит итоги дискуссии, дает оценку совместно найденного варианта решения.

Методические рекомендации по организации работы с литературой

Изучение и анализ литературных источников является обязательным видом самостоятельной работы студентов. Изучение литературы по избранной теме имеет своей задачей проследить характер постановки и решения определенной проблемы различными авторами, аргументацию их выводов и обобщений, провести анализ и систематизировать полученный материал на основе собственного осмысления с целью выяснения современного состояния вопроса.

Проработка отобранного материала обязательно должна идти с одновременным ведением записей прочитанного и своих замечаний. Запись может иметь как форму конспекта, так и выписок, а также картотеку положений, тезисов, идей, методик, что в

дальнейшем облегчит классификацию и систематизацию полученного материала. Такого рода записи являются лучшим способом накопления и первичной обработки материал, одной из обязательных форм организации умственного труда.

Планом удобно пользоваться при подготовке к устному выступлению по выбранной теме. Каждый пункт плана должен раскрывать одну из сторон избранной темы, а весь план должен охватывать ее целиком.

Тезисы предполагают сжатое изложение основных положений текста в форме утверждения или отрицания. Они являются более совершенной формой записей и представляют основу для дискуссии. К тому же их легко запомнить.

Аннотация – краткое изложение содержания – дает общее представление о работе.

Резюме кратко характеризует выводы, главные итоги источника.

Конспект является наиболее распространенной формой ведения записей. Основную ткань конспекта составляют тезисы, дополненные доказательствами и рассуждениями. Конспект может быть текстуальным, свободным или тематическим. Текстуальный представляет собой цитатник с сохранение логики работы и структуры текста. Свободный конспект основан на изложении материала в том порядке, который более удобен автору. В этом смысле конспект представляет собирание воедино мыслей, разбросанных по всей книге. Тематический конспект может быть составлен по нескольким источникам, где за основу берется тема, интерпретируемая по-разному.

Экономия времени дает использование при записях различного рода сокращений, аббревиатуры и т.д. многие используют для регистрации исследуемых тем систему карточек. Преимущество карточек в том, что тема там излагается очень сжато, и они очень удобны в использовании, т.к. их можно разложить на столе, перегруппировать и без труда найти искомую тему.

Список литературы, рекомендуемый к использованию в самостоятельной работе студентов

Основная литература:

4. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник для студентов, обучающихся по направлению «Геология» / [В. В. Авдонин и др.]; под ред. В. В. Авдонова [Текст]. - Москва: Академия, 2011. – 407 с. : ил., фот., карты, граф., диагр.
5. Геофизическая электромагнитная теория и методы [Текст]: монография: пер. с англ. / М. С. Жданов; под ред. Е. П. Велихова. - Москва: Науч. мир, 2012. - 679 с.: ил.; 27 см. Указ. - Библиогр.: С. 645-667. – ISBN 978-5-91522-287-7 (в пер.).
6. Бакиров А.А., Бакиров Э.А., Габриэлянц Г.А., Керимов В.Ю., Мстиславская Л.П. Теоретические основы поисков и разведки нефти и газа / Под ред. Э.А. Бакирова и В.Ю. Керимова: Учебник для вузов. В 2-х кн. – 4-е изд., перераб. И доп. – Кн. 1: Теоретические основы прогнозирования нефтегазоносности недр. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2012. – 412 с.: с ил.

Дополнительная литература:

8. Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. Основные понятия, термины, определения: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 479 с.
9. Маловичко А.К., Костицын В.И. Гравиразведка: Учебное пособие для студентов геофизических специальностей вузов. – М.: 1992. – 359 с.
10. Гринкевич Г.И. Магниторазведка. – Екатеринбург: УГГА, 2001. – 308 с.
11. В.К. Хмелевской. Геофизические методы исследования земной коры. Кн.1: Методы прикладной и скважинной геофизики. Учебник. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна». –

- 1997, 276с., с ил.
12. В.К. Хмелевской. Геофизические методы исследования земной коры. Кн. 2: Региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика. Учебное пособие. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна». –1999, 184с., с ил.
 13. Серкеров, С. А. Гравиразведка и магниторазведка в нефтегазовом деле: учебное пособие / С. А. Серкеров. – М.: Нефть и газ: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006. – 512 с.: ил. – Библиогр.: С. 498-500. – Предм. указ.: С. 501-506. – ISBN 5-7246-0365-9
 14. Булычев А.А., Лыгин И.В., Мелихов В.Р. Численные методы решения прямых задач грави- и магниторазведки (конспект лекций). Учебное пособие для студентов и магистрантов специализации «Геофизика» – М.: 2010. – 164 с. (Библиотека кафедры)

Интернет-ресурсы:

2. <http://geophys.geol.msu.ru> – сайт кафедры геофизики МГУ.