

**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

МАГНИТОРАЗВЕДКА

Специальность
Специализация

21.05.02 Прикладная геология
Геология месторождений нефти и газа

Ставрополь, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Сущность магниторазведки

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Магнитное поле Земли и его элементы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Структура земного магнетизма

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Способы измерения характеристик магнитного поля Земли

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 Методика магниторазведки

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 Прямые и обратные задачи магниторазведки

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 Обработка и интерпретация магниторазведочных данных

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 Примеры применения магниторазведки

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Требования к оформлению отчета по выполнению лабораторных работ

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Инструктаж по технике безопасности

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ВВЕДЕНИЕ

Магниторазведка — один из ведущих геофизических методов, основанных на изучении аномалий гравитационного поля Земли. Гравитационные аномалии обусловлены плотностными неоднородностями тел, слагающих земную кору.

Магниторазведка в комплексе геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых выполняется одной из первых. С помощью магниторазведки решается широкий спектр геологических задач, начиная с изучения глубинного строения земной коры и заканчивая нахождением месторождений полезных ископаемых с указанием характеристик объектов, слагающих данное месторождение. Полевые данные, как правило, допускают несколько вариантов геологической интерпретации, в связи с чем, современная прикладная геофизика представляет собой комплекс методов, направленных на получение наиболее полной и адекватной картины изучаемой части земной коры.

Сегодня, за счет появления высокоточной геофизической аппаратуры, магниторазведка активно используется при решении задач инженерной геофизики, а также археологии. Такие приборы позволяют также проводить детальные крупномасштабные съемки, что открывает большие возможности для обнаружения перспективных, но малоинтенсивных локальных объектов, уточнения характеристик и непосредственного мониторинга залежей.

Дисциплина «Магниторазведка» ставит своей целью формирование у будущего специалиста знаний о природе земного магнетизма, методах исследования магнитного поля Земли и геологической интерпретации магнитных аномалий, а также овладение навыками организации и проведения магниторазведочных работ.

В связи с этим основными задачами изучения дисциплины являются:

- приобретение знаний о методах научного познания природы, о современной физической картине мира, свойствах вещества и поля;

- приобретение знаний о методах проведения магниторазведочных исследований;
- приобретение знаний об устройстве и принципах работы магниторазведочной аппаратуры;
- приобретение знаний о способах решения прямой и обратной задач магниторазведки;
- приобретение знаний о методах построения и интерпретации магнитных карт;
- развитие навыков использования современной магниторазведочной аппаратуры при проведении магниторазведочных работ;
- приобретение навыков обработки и интерпретации результатов магниторазведочных измерений;
- овладение навыками построения физико-геологических моделей и решения конкретных геолого-геофизических задач различной степени сложности.

Лабораторный практикум является неотъемлемой частью подготовки специалиста геофизика и направлен на формирование ряда общекультурных, общепрофессиональных, профессиональных и профессионально-специализированных компетенций, приведенных в рабочей программе дисциплины, а также конкретно в каждой лабораторной работе в данном учебном пособии.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Сущность магниторазведки

Цель работы: приобретение навыков расчета элементов магнитного поля Земли.

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

Формируемые компетенции или их части:

ОК-3: готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала;

ОПК-4: способностью организовать свой труд на научной основе, самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владением навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;

ОПК-5: пониманием значимости своей будущей специальности, ответственным отношением к своей трудовой деятельности;

ПСК-2.2: способностью применять знания о современных методах геофизических исследований.

Теоретическая часть

1. Структура земного магнетизма

Наблюдаемое на поверхности Земли поле можно записать в виде:

$$\vec{T}_n = \vec{T}_0 + \vec{T}_a + \delta \vec{T}, \quad (1)$$

где $\vec{T}_0$ – нормальное магнитное поле Земли, $\vec{T}_a$ – аномальное магнитное поле, обусловленное намагниченностью верхних частей земной коры (связано с наличием намагниченных геологических тел в земной коре), $\delta \vec{T}$ – поле вариаций, созданное внешними причинами.

2. Основы теории нормального магнитного поля Земли

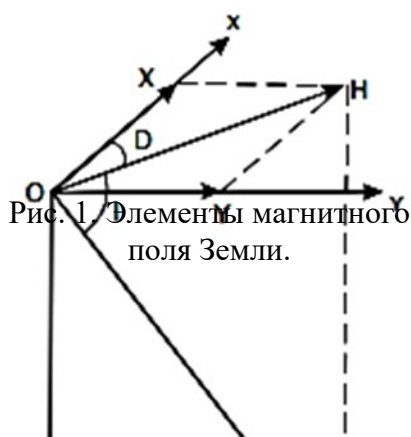
Нормальное магнитное поле Земли можно представить в виде:

$$\vec{T}_0 = \vec{T}_d + \vec{T}_m + \vec{T}_e, \quad (2)$$

где $\vec{T}_d$ – дипольное поле, $\vec{T}_m$ – материковое поле (недипольное поле, или поле материковых (мировых) аномалий), обусловленное неоднородностями глубоких слоев земного шара, $\vec{T}_e$ – внешнее поле, создаваемое токами в ионосфере.

Сумму дипольного и недипольного полей называют главным магнитным полем Земли.

Итак, в первом приближении магнитное поле нашей планеты можно рассматривать как дипольное, т. е. поле однородно намагниченного шара или диполя с осью, отклоняющейся от оси вращения Земли приблизительно на $11,5'$. Центр диполя не совпадает с центром Земли и смещен относительно последнего на 430 км в Восточное полушарие. Точки пересечения диполя с дневной поверхностью Земли называются **геомагнитными полюсами**. Экспериментальные данные о индукции поля позволяют вычислить магнитный момент Земли, который по современным данным считается равным $8,3 \cdot 10^{22}$ А/м ($8,3 \cdot 10^{25}$ ед. СГС). Индукция магнитного поля в каждой точке Земли имеет определенное направление и величину, т. е. является векторной величиной. Вектор может быть представлен составляющими по осям определенной координатной системы. При определении вектора магнитного поля Земли за координатную систему принимается прямоугольная система координат; в таком измерении плоскость XOY принимается горизонтальной, ось X направлена по географическому меридиану на север, ось Y – по параллели на восток, ось Z – к центру Земли.



Индукцию магнитного поля T можно разложить на составляющие – вертикальную Z , которая направлена к центру Земли, и горизонтальную H , которая в плоскости направлена по касательной к поверхности

Земли. Проекции горизонтальной составляющей H на оси X и Y получили название X – северной и Y – восточной составляющих геомагнитного поля (рис. 1).

Как видно из рисунка, между числовыми значениями H , X , Y существует зависимость $H^2 = X^2 + Y^2$.

Вертикальная плоскость, в которой располагаются H и T , называется плоскостью магнитного меридиана, а линия сечения поверхности Земли плоскостью магнитного меридиана – **магнитным меридианом**. Направление горизонтальной составляющей H определяет положение магнитного меридиана в данной точке. Положение магнитного меридиана используется для определения магнитного азимута какого-либо направления. **Магнитным азимутом** называется угол между направлением магнитного меридиана в данной точке и заданным направлением, отсчет угла производится от направления магнитного меридиана по часовой стрелке. Магнитные меридианы сходятся в северном и южном магнитных полюсах. **Магнитными полюсами** Земли называют точки на ее поверхности, в которых вектор индукции магнитного поля Земли направлен вертикально (в настоящее время: вниз на Северном полюсе и вверх на Южном). Магнитные полюсы Земли (полюсы фактического магнитного поля Земли) не совпадают с геомагнитными полюсами.

Угол между географическим и магнитным меридианами называется **магнитным склонением D** (отсчитывается от направления оси x по часовой стрелке), а угол между направлением горизонтальной составляющей H и направлением полного вектора индукции магнитного поля T или угол наклона T к горизонту – **наклоном J** (отсчитывается от горизонтальной плоскости вниз).

Склонение D , наклонение J и составляющие полного вектора T (горизонтальная H , вертикальная Z , северная X и восточная Y) называются **элементами земного магнетизма**.

Элементы H , Z , X и Y измеряются в теслах (Тл) в системе СИ или гауссах (Гс) в системе СГС ($1 \text{ Тл} = 10^4 \text{ Гс}$), а D и J – в градусах.

Аналогично индукции магнитного поля напряженность и ее составляющие обозначаются теми же буквами, но со звездочкой (T^* , H^* , Z^* , X^* и Y^*).

Связь между напряженностью и индукцией в системе СИ выражается формулой $T = \mu_0 \cdot T^*$ (где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$), а в системе СГС напряженность и индукция совпадают ($T = T^*$).

Напряженность и ее составляющие измеряются в амперах на метр (А/м) в системе СИ или эрстедах (Э) в системе СГС ($1 \text{ Э} = \frac{10^3}{4\pi} \approx 79,6 \text{ А/м}$).

При измерении слабых магнитных полей употребляется более мелкая единица – γ (гамма): $1 \text{ Э} = 10^5 \gamma$.

Геомагнитное поле в первом приближении может быть описано дипольной составляющей.

Магнитный потенциал диполя в любой точке наблюдения можно вычислить по формуле:

$$U = M \frac{1}{R^2} \cos \theta \quad (3)$$

где R – радиус Земли, равный $6371 \cdot 10^3 \text{ м}$,

M – магнитный момент, равный $8,3 \cdot 10^{25} \text{ ед. СГС}$,

θ – угол между осью земного магнитного диполя и радиусом-вектором, проведенным из центра Земли в данную точку на ее поверхности. Магнитная широта, связана с географической широтой φ соотношением $\theta = 90^\circ - \varphi$.

Чтобы найти вертикальную и горизонтальную составляющие напряженности земного магнитного поля Z и H надо найти выражения соответствующих производных магнитного потенциала в принятой системе

координат, когда плоскость ХОУ касательна к поверхности шара в точке наблюдения, т. е. вычисляем производные по dR и $Rd\theta$.

Получим:

$$Z = \frac{2M}{R^3} \cos \theta; \quad (4)$$

$$H = \frac{M}{R^3} \sin \theta. \quad (5)$$

Полный вектор T равен

$$T = \frac{M}{R^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta} \quad (6)$$

или

$$T = \sqrt{Z^2 + H^2} \quad (7)$$

направление его определяется углом наклона J

$$\operatorname{tg} J = \frac{Z}{H} = 2 \operatorname{ctg} \theta = 2 \operatorname{tg} \varphi \quad (8)$$

Величина изменения индукции поля в 1Тл, называется нормальным градиентом. Нормальный градиент вертикальной составляющей равен

$$\frac{\partial Z}{R \partial \theta} = \frac{-2M}{R^4} \sin \theta = -Z \frac{1}{R} \operatorname{tg} \theta, \quad (9)$$

горизонтальной составляющей

$$\frac{\partial H}{R \partial \theta} = \frac{M}{R^4} \cos \theta = H \frac{1}{R} \operatorname{ctg} \theta \quad (10)$$

Выражения 4–10 дают общее представление об изменении элементов геомагнитного поля в зависимости от магнитной широты θ .

Полный вектор T достигает наибольшего значения на полюсах, где $\theta = 0^\circ$, а наименьшего – на экваторе, при $\theta = 90^\circ$. Диапазон изменения T от $2M/R^3$ до M/R^3 . Подставив значения M и R , получим, что напряженность T изменяется от 0,66 до 0,33 Э (эрстед). Вертикальная составляющая Z изменяется от 0,66 Э на

полюсах до нуля на экваторе, а горизонтальная H – от нуля на полюсах до 0,33 Э на экваторе.

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. Вычислить значение U , T , H , Z , J и построить графики изменения их на поверхности Земли. Угол θ изменяется от 0° до 90° с шагом 10° .
2. Полученные данные представить в виде таблицы 1.

Таблица 1

θ	U	Z	H	T	J

3. На миллиметровой бумаге в произвольном масштабе строятся графики изменения элементов геомагнитного поля в зависимости от магнитной широты (ось x).
4. 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. Напряженность и индукция магнитного поля.

2. Потенциал магнитного поля.
3. Поле диполя.
4. Природа земного магнетизма.
5. Структура магнитного поля Земли.
6. Нормальное магнитное поле Земли.
7. Элементы земного магнетизма.
8. Связь между элементами земного магнетизма.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Магнитное поле Земли и его элементы

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.

Формируемые компетенции или их части:

ОПК-5: пониманием значимости своей будущей специальности, ответственным отношением к своей трудовой деятельности;

ПСК-2.4: способностью профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование и средства измерения;

ПСК-2.6: способностью выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

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 (гиромагнитное) отношение протона. Прецессия

суммарного магнитного момента M приводит к появлению в катушке P переменной ЭДС с частотой, равной частоте прецессии ω . Прецессия постепенно затухает благодаря процессу релаксации, обусловленному слабым взаимодействием между протонами и атомами парамагнитных примесей, растворенных 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.

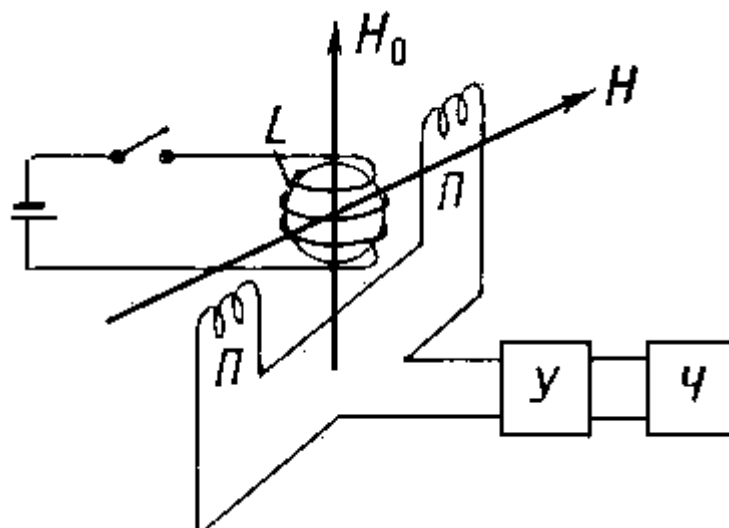


Рис. 1. Схема протонного магнитометра: L – катушка, создающая вспомогательное намагничивающее поле H_0 ; Π – катушка, в которой возникает ЭДС, обусловленная прецессией ядерных моментов вокруг измеряемого магнитного поля H ; Y – усилитель сигнала; $Ч$ – частотомер.

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 (T) одновременно получать значения градиента (Γ_r) или приращения поля (P).

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
--	---

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 OVN 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:

9. Абсолютные и относительные способы измерения индукции ГМП.
10. Магнитометры. Виды магнитометров.
11. Магнитные моменты электронов, ядер атомов и атомов.
12. Протонные магнитометры. Схема и принцип действия протонного магнитометра.
13. Эффект Оверхаузера.
14. Погрешности в измерении ГМП с помощью протонного магнитометра.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Структура земного магнетизма

Цель работы: ознакомиться с техническими характеристиками и принципом действия скважинного измерителя магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД.

Оборудование и материалы: руководство по эксплуатации скважинного измерителя магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД.

Формируемые компетенции или их части:

ОПК-5: пониманием значимости своей будущей специальности, ответственным отношением к своей трудовой деятельности;

ПСК-2.4: способностью профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование и средства измерения;

ПСК-2.6: способностью выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

Теоретическая часть

Каротажем магнитной восприимчивости (КМВ) называют метод, предназначенный для изучения магнитной восприимчивости горных пород и руд в скважинах. Метод основан на измерении характеристик вторичного поля, возникающего под воздействием намагничивания пород, окружающих скважину, если в них возбуждается первичное поле генераторной катушки индукционного зонда. Устанавливаемые по данным КМВ значения магнитной восприимчивости относятся к единице объема вещества, она характеризует его способность воспринимать магнитное поле. По данным КМВ также определяют величину индуктивной намагниченности при помещении породы в магнитное поле напряженностью H .

О величине магнитной восприимчивости судят по ЭДС, индуцируемой вторичным полем в измерительной катушке зонда:

$$\Delta E = \frac{E}{E_0} = \frac{K}{\chi}, \quad (1)$$

где E – приращение вторичной ЭДС, обусловленной средой; E_0 – первичная ЭДС; K – коэффициент, учитывающий влияние формы и размеров зонда и скважины; χ – магнитная восприимчивость единицы объема вещества.

Магнитная восприимчивость горных пород зависит главным образом от присутствия в них минералов, обладающих ферромагнитными свойствами. Метод КМВ основан на четкой дифференциации пород по магнитным свойствам. Применение метода эффективно при решении ряда геолого-геофизических задач: литологического расчленения и корреляции разрезов; выделения и корреляции подсеченного скважиной оруднения, определения глубин залегания, мощности рудных залежей, оценки качества руд.

Радиус исследования в каротаже магнитной восприимчивости зависит от длины зонда. Магнитную восприимчивость окружающих зонд пород определяют по приращению ЭДС в измерительном контуре, обусловленному изменением индуктивности (в однокатушечном зонде) или взаимоиנדукции (в двухкатушечном зонде) при перемещении зонда из немагнитной среды в магнитную. Существуют различные приборы для измерения магнитной восприимчивости, действующие на основе амплитудно-фазовых или частотных схем измерений. Аппаратура с амплитудно-фазовыми схемами – КМВ (аппаратура каротажа магнитной восприимчивости), КШСМ (комплексный шахтно-скважинный магнитометр), РИМВ (рудничном измерителе магнитного влияния среды), ЭМК (аппаратура электрического и магнитного каротажа). Приборы с частотными схемами – ТМСК–30 и ТСМК–40 (трехкомпонентный скважинный магнитометр комплексный).

Аппаратура каротажа магнитной восприимчивости КМВ создана на базе соленоидных индукционных зондов. Результаты измерений оформляют в виде диаграмм КМВ, по которым устанавливаются границы раздела сред с

различной намагниченностью, выделяются особенности геологического разреза. Одиночные магнитные пласты выделяются симметричными относительно центра пласта аномалиями. На диаграммах по однокатушечным зондам границы пласта при $h \geq L$ соответствуют точкам перегиба на половине аномалии, на диаграммах по двухкатушечным зондам границы пласта устанавливают по точкам, расположенным на расстоянии $L/2$ от пересечения кривой с нулевой линией к середине аномалии.

Геологическая эффективность каротажа магнитной восприимчивости зависит от дифференциации пород по магнитной восприимчивости и их связи с геологическими характеристиками исследуемых объектов.

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

Выполнение работы

Измеритель магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД предназначен для измерения и регистрация магнитной восприимчивости горных пород по данным каротажа скважин. Частота выходного сигнала скважинного зонда пропорциональна магнитной восприимчивости в диапазоне $(5 \cdot 10^{-5} - 1)$ ед. СИ. Используется с одножильным (коаксиальным или бронированным) кабелем в составе каротажных станций с частотно-измерительным каналом. Измеритель магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД имеет малый диаметр (38 мм) скважинного снаряда, обладает высокой термостабильностью измерительных характеристик зонда в рабочем диапазоне температур.

Областью применения измерителя магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД являются поиски и разведка алмазов, полиметаллов, золота, магнитных руд и других твердых полезных ископаемых. Аппаратура может применяться также для решения задач геологического картирования и инженерной геологии.

**Технические характеристики скважинного измерителя магнитной
восприимчивости ЭРА-ЗОНД:**

Диапазон измерений	5×10^{-5} до 1 ед. СИ
Максимальная глубина погружения зонда	1500 м
Диаметр исследуемых скважин	45–120 мм
Диапазон рабочих температур	от минус 10 °С до 45 °С
Напряжение источника питания	27 ± 1 В
Ток питания скважинного зонда	40 ± 2 мА
Объем встроенной памяти	7500 измерений
Измерительное устройство зонда	расстояние между генераторной и приемной катушками – 200 мм
	рабочая частота – 625 Гц
	удельная электропроводность среды – 10 м/Ом
Выходной сигнал скважинного зонда	амплитуда импульсов – 1–1,5 В
	частота следования импульсов – 0–10 кГц
Каротажный коаксиальный кабель	погонное сопротивление – не более 50 Ом/км
	погонная емкость – не более 250 пФ/км
Кабельный наконечник зонда	НКБ-3-36 по ГОСТ 14213-898
Габаритные размеры и масса	зонд скважинный – 38x1800 мм, 6,5 кг
	наземный пульт – 190x80x80 мм, 0,6 кг

В стандартный комплект входят: зонд скважинный, источник питания, наземный пульт, документация.

Задание

1. Ознакомиться с техническими характеристиками скважинного измерителя магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД.
2. Изучить состав скважинного измерителя магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД.
3. Изучить устройство и принцип работы скважинного измерителя магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД.
4. Изучить эксплуатационные ограничения, подготовку скважинного измерителя магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД к работе и порядок работы.
5. Изучить порядок технического обслуживания, проверку работоспособности, порядок хранения, транспортировки и утилизации скважинного измерителя магнитной восприимчивости ЭРА-ЗОНД.
6. 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. Электромагнитная индукция, самоиндукция, взаимная индукция.
2. Метод КМВ.
3. Погрешности в измерении магнитной восприимчивости с помощью метода КМВ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Способы измерения характеристик магнитного поля Земли

Цель работы: ознакомиться с техническими характеристиками и принципом действия приборов ИМВ-2 и ИОН-1.

Оборудование и материалы: руководство по эксплуатации приборов ИМВ-2 и ИОН-1.

Формируемые компетенции или их части:

ОПК-5: пониманием значимости своей будущей специальности, ответственным отношением к своей трудовой деятельности;

ПСК-2.4: способностью профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование и средства измерения;

ПСК-2.6: способностью выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

Теоретическая часть

Для измерения магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности горных пород используется отечественная и зарубежная аппаратура. Магнитные свойства горных пород могут быть изучены путем измерений магнитных характеристик у образцов горных пород или по результатам магнитных наблюдений в скважине. Наиболее широко распространено измерение магнитных свойств по образцам горных пород, чаще всего исследуется величина магнитной восприимчивости, реже – естественная остаточная намагниченность.

Наиболее распространенными являются магнитометрический и индукционный способы измерения.

Магнитометрический способ является наиболее простым, для его применения может быть использован любой полевой магнитометр. Магнитометрический метод основан на измерении напряженности магнитного поля, создаваемого намагниченным образцом на некотором расстоянии от него. Величина магнитного поля образца однозначно связана с его магнитным моментом и, следовательно, его намагниченностью. Например, при

воздействии исследуемого намагниченного образца на расположенную вблизи него магнитную стрелку, последняя отклоняется. По углу отклонения магнитной стрелки от начального положения определяют магнитный момент образца, а затем намагниченность. Магнитометрический метод реализован в измерителе остаточной намагниченности ИОН–1.

Индукционный метод основан на измерении ЭДС индукции, которая возбуждается во вторичной обмотке при пропускании намагничивающего переменного тока через первичную обмотку образца. Метод может быть также использован для измерения намагниченности в сильных импульсных магнитных полях и магнитной восприимчивости диа- и парамагнитных веществ в радиочастотном диапазоне. Индукционный метод реализован в измерителе магнитной восприимчивости ИМВ–2.



Рис. 1. Измеритель остаточной намагниченности ИОН–7.

Одним из первых приборов для измерения магнитной восприимчивости образцов произвольной формы, нашедших широкое применение, являлся каппаметр ИМВ–2, для измерения остаточной намагниченности – ИОН–1. В настоящее время эти приборы не выпускаются промышленностью и применяются крайне редко. Вместо ИОН–1 для измерения остаточной намагниченности используется ИОН–7 (рис. 1). Вместо ИМВ–2 для измерения

магнитной восприимчивости пород и руд используются электронные каппаметры КТ–2, КТ–3, КТ–5 (рис. 2), КТ–6 в полевых и лабораторных условиях.



Рис. 2. Измеритель магнитной восприимчивости КТ–5.

Выполнение работы

Каппаметр ИМВ-2 позволяет измерять магнитную восприимчивость в интервале от $25 \cdot 10^{-6}$ до 12,5 ед. СИ, разбитым на пять диапазонов: $12,5 \cdot 10^{-4}$; $12,5 \cdot 10^{-3}$; $12,5 \cdot 10^{-2}$; $12,5 \cdot 10^{-1}$ ед. СИ.

Измерение магнитной восприимчивости горных пород ведется индукционным способом. Чувствительный элемент прибора представляет собой дифференциальный магнитный мост, который состоит из *H*-образного сердечника, собранного из магнитомягкого листового пермаллоя, и обмотки возбуждения, включающей четыре катушки.

Обмотки катушек выполнены так, что в диагонали моста магнитные потоки от токов, протекающих по парам катушек, компенсируют друг друга. В

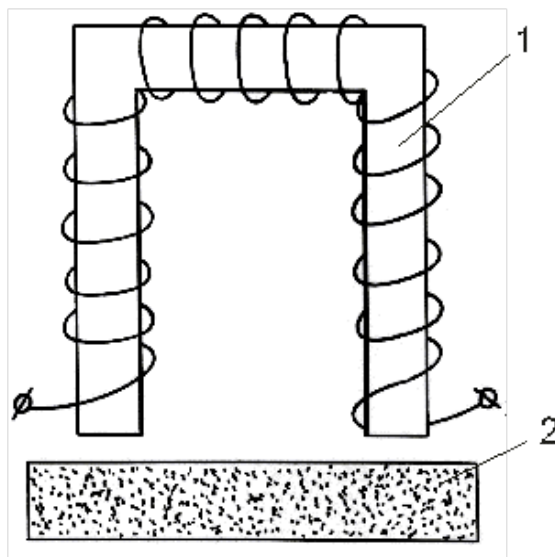


Рис. 3. Схема действия прибора ИМВ-2 (1 – кольцевой сердечник магнитной катушки; 2 – образец горной породы).

результате у сбалансированного моста, находящегося в немагнитной среде, суммарный поток через измерительную катушку равен нулю. При замыкании пары полюсов моста магнитным образцом равенство магнитных потоков нарушится и на концах измерительной катушки появится ЭДС, обусловленная влиянием магнитной восприимчивости образца. Питание в цепь подается от генератора.

Конструктивно прибор представлен магниточувствительным преобразователем и измерительным блоком, соединенными между собой кабелем. Шкала прибора имеет 100 делений и градуирована в значениях X' . Прибор состоит из основного корпуса с измерительной панелью и датчика, которые соединены между собой экранированным кабелем. На лицевой панели корпуса имеются ручки управления и микроамперметр на 100 мА. Датчик (мост и приемная катушка) помещен в пластмассовом разъемном корпусе, куда вмонтированы два построечных винта для точной балансировки магнитометра специальным торцевым ключом. Датчик находится в корпусе прибора. Прибор питается от трех круглых элементов типа «Сатурн» или «Марс».

Измерение магнитной восприимчивости прибором ИМВ-2 производят по принципу замыкания кольцевого сердечника магнитной катушки 1 образцом 2 горной породы (рис. 3). Однако при этом измеряется не истинная магнитная восприимчивость образца X , а кажущаяся X' .

При работе с прибором ИМВ-2 не следует иметь при себе металлические предметы, вносящие погрешность в показания прибора при измерении (часы, ключи, монеты и др.).

Проведение измерений

1. Описать 4–5 испытуемых образцов различных горных пород.
2. Вынуть датчик из корпуса прибора и установить его на подставке прибора так, чтобы он находился на расстоянии не менее 0,5 м от металлических предметов.
3. Включить прибор и ручкой «УСТАН. 0» подвести стрелку прибора на нуль шкалы. Переключатель диапазонов при этом должен стоять на «0».
4. Перевести переключатель диапазонов в положение «1». При этом стрелка прибора не должна отклоняться от «0» шкалы.
5. Приложить поочередно торцевые поверхности образца к датчику и измерить магнитную восприимчивость X' в трех местах каждой торцевой поверхности образца.

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

Задание:

1. Ознакомиться с техническими характеристиками измерителя магнитной восприимчивости ИМВ–2.
2. Изучить состав измерителя магнитной восприимчивости ИМВ–2.

3. Изучить способ измерения кажущейся магнитной восприимчивости с помощью каппаметра ИМВ–2.
4. 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. Магнитное поле. Силовые характеристики магнитного поля.
2. Намагниченность и ее виды.
3. Магнитная восприимчивость и ее виды.
4. Электромагнитная индукция, самоиндукция, взаимная индукция.
5. Магнитометрический и индукционный способы измерения магнитных свойств образцов горных пород.
6. Погрешности в измерении магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности с помощью современных приборов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Методика магниторазведки

Цель работы: ознакомление с методикой и проведение микромагнитной съемки с помощью современных протонных магнитометров ММРОС–2 и ММПГ–1.

Оборудование и материалы: магнитометры ММРОС–2 и ММПГ–1, руководство по эксплуатации магнитометров, шпагат, измерительная рулетка, колышки, бумага, скотч, маркер, ножницы.

Формируемые компетенции или их части:

ОК-3: готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала

ОПК-4: способностью организовать свой труд на научной основе, самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владением навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;

ОПК-5: пониманием значимости своей будущей специальности, ответственным отношением к своей трудовой деятельности;

ПК-19: способностью предлагать и внедрять мероприятия, обеспечивающие повышение производительности технологий геологической разведки;

ПК-20: владением методами и средствами управленческой работы, планирования эффективной организации труда, непрерывного контроля качества и результатов своей работы;

ПСК-2.2: способностью применять знания о современных методах геофизических исследований;

ПСК-2.3: способностью планировать и проводить геофизические научные исследования, оценивать их результаты;

ПСК-2.4: способностью профессионально эксплуатировать современное геофизическое оборудование и средства измерения;

ПСК-2.6: способностью выполнять поверку, калибровку, настройку и эксплуатацию геофизической техники в различных геолого-технических условиях.

Теоретическая часть

1. Методики полевой магнитной съемки

Наземная полевая магнитная съемка проводится с помощью пешеходных магнитометров. На каждой точке измеряются или абсолютные значения полного вектора геомагнитного поля (T), или относительные значения ΔT (ΔZ). Под относительными понимаются приращения той или иной составляющей поля в любой точке наблюдения по отношению одного исходного пункта. При снятии отсчетов записывается время (t). Полевая съемка отличается высокой производительностью: отряд из двух человек обрабатывает от нескольких десятков до двухсот точек в день.

Методика, то есть способ проведения магниторазведочных работ, сводится к выбору вида съемок, их масштаба, направления профилей, густоты точек наблюдения, точности измерений и способа изображения результатов.

Различают три вида наземных магнитных съемок: 1) картировочно-поисковые, 2) поисково-разведочные, 3) разведочные (или детальные). Остановимся на краткой характеристике этих видов съемок.

Целью картировочно-поисковых магнитных съемок является решение задач крупномасштабного геологического картирования (масштабы 1:50000, 1:25000, 1:10000), а также непосредственные поиски железосодержащих руд.

Съемка ведется по системам профилей, маршрутов, расстояния между которыми меняются от 200 до 500 м. Расстояния между точками не менее 50 м.

Целью поисково-разведочных магнитных съемок является детализация аномалий картировочно-поисковых съемок: выявление тектонических нарушений, оценка размеров, формы и положения рудных тел. Поисково-разведочные съемки выполняются в масштабах 1:10000, 1:5000, 1:2000, 1:1000. Съемка осуществляется по системам профилей, удаленных на расстояния 50–200 м, с шагом наблюдений от 10 до 50 м.

Целью детальных разведочных магнитных съемок является выяснение размеров, формы и положения включений пород с различными магнитными свойствами, разведка рудных месторождений, детальное геологическое картирование. Масштабы съемок от 1:2000 и крупнее, а расстояния между профилями могут изменяться от 10 до 100 м. Расстояния между точками наблюдений меняются от 5 до 20 м в зависимости от размеров рудных тел, их глубины и интенсивности намагничения.

Полевые магнитные съемки бывают профильными и площадными. Съемки по отдельным профилям используются при рекогносцировочных исследованиях для выявления общих закономерностей аномальных полей. Однако иногда интерпретационные профили задаются вкрест выявленных площадной съемкой аномалий. Основным же видом съемок являются площадные, выполненные по системам параллельных профилей.

Подходы к выбору сети наблюдений такие же, как и в гравиразведке. Однако при магнитной съемке менее жесткие требования к топопривязке, отсутствует опорная сеть, а густота рядовых пунктов наблюдения несколько больше.

Сеть наблюдений разбивается как инструментально, так и визуально с измерением шагами расстояний между пунктами и инструментальной привязкой начала и конца профилей, а также исходной точки. Последняя выбирается на базе экспедиции. Здесь же желательно установить один магнитометр для снятия индукции геомагнитного поля через 30–60 минут или

магнитовариационную станцию для ее непрерывной записи. Эти приборы служат для расчета вариаций $T_{\text{вар}}$, $Z_{\text{вар}}$ геомагнитного поля в любое время t . Вариации можно получить и из ближайших обсерваторий, удаленных от десятков до первых сот километров по мере уменьшения требований к точности съемки.

Расстояния между профилями берут в 3–5 раз меньше длины, а между точками съемки (шаг наблюдений) – в 3–5 раз меньше ширины предполагаемых аномалосоздающих объектов. Для стандартизации методики рекомендуют шаг съемки делать равным 1, 5, 20, 25, 50 или 100 м. Расстояния между профилями, направленными всегда вкрест предполагаемого простирания разведываемых структур или рудных тел, могут быть равны шагу или в 2–3 раза превышать его.

Качество выдаваемых геомагнитных карт (кондиционность) определяется прежде всего густотой сети (расстояние между профилями должно составлять примерно 1 см в масштабе карты) и точностью съемки. Для оценки точности съемки на ряде точек, называемых контрольными (5–10% от общего количества), ведутся повторные наблюдения и рассчитывается средняя квадратическая погрешность измерений:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{2n-1}} \quad (1)$$

где δ_i – разность отсчетов на i -той точке при основном и повторном замерах, а n – число контрольных (повторных) точек. Требования к точности наблюдений при наземной съемке устанавливаются в зависимости от масштаба съемок и напряженности магнитного поля. В слабых полях точность наблюдений должна быть высокой: среднеквадратическая погрешность съемки не больше 5 нТл при мелкомасштабных съемках и не больше 2 нТл при крупномасштабных. При наличии интенсивных магнитных аномалий (сотни и тысячи нТл) среднеквадратическая погрешность не должна превышать 20–30 нТл.

В результате полевой съемки по наблюдаемым составляющим (T , ΔT , ΔZ) рассчитываются аномальные магнитные поля:

$$\begin{aligned} T_a &= T - T_n - T_{вар}, \\ \Delta T_a &= \Delta T - \Delta T_{вар}, \\ \Delta Z_a &= \Delta Z - \Delta Z_{вар}, \end{aligned} \quad (2)$$

где T_n – нормальное поле, $T_{вар}$, $\Delta T_{вар}$, $\Delta Z_{вар}$ – вариации поля на время t замера T , ΔT , ΔZ . В выражениях для относительных параметров ΔT_a и ΔZ_a часто принимается, что T_0 и Z_0 на опорном пункте равны нулю. Это допустимо, если изучаемая площадь не превышает нескольких десятков квадратных километров. Для съемок больших территорий необходимо знать T_0 и Z_0 , т.е. «привязать» опорные пункты к системам сети нормального магнитного поля Земли.

Результаты магнитной съемки изображаются в виде графиков T_a , ΔT_a , ΔZ_a (их называют иногда профилями), карт профилей и карт.

Аэромагнитная съемка проводится по системе профилей при непрерывной записи T или ΔT на каждом профиле (маршруте). Направления профилей выбираются вкрест предполагаемого простиранья структур или тектонических нарушений.

Расстояние между профилями зависит от масштаба съемки: при миллионном масштабе расстояния между маршрутами устанавливаются 10 км, при масштабе 1:500000 – 5 км, при масштабе 1:100000 – 1 км, при масштабе 1:50000 – 500 м. Чем крупнее масштаб, тем меньшей должна быть высота полета аэромагнитной станции. Обычно она меняется от 50 до 500 м. Скорость полета 100–200 км/ч.

Привязка профилей при аэромагнитной съемке осуществляется разными способами: по аэрофотоснимкам, радиогодезическая и др. и должна быть тем точнее, чем крупнее масштаб съемки.

Для учета вариаций и сползания нуль-пункта прибора перед началом рабочего дня и после его окончания делается специальный залет на опорный

(контрольный) маршрут длиной до 10 км. Все рабочие маршруты «привязываются» к контрольным маршрутам.

Для оценки погрешности измерений и увязки между собой маршрутов выбирается несколько профилей, перпендикулярных рабочим маршрутам. На этих профилях проводятся повторные залеты. По результатам повторных измерений вычисляется среднеквадратическая погрешность измерений. Точность съемки считается хорошей, если погрешность не превышает 10 нТл или 20% от амплитуд выявленных аномалий. При обработке магнитограмм аномальные значения рассчитываются путем вычитания из наблюдаемого значения T_n поля T_a . Последнее определяется по картам нормального магнитного поля или с помощью расчета так называемого нормального градиента по данным аэромагнитной съемки. В результате аэромагнитной съемки строятся карты, графики, а также карты графиков T_a или ΔT_a .

Гидромагнитная съемка в океанах, морях и на озерах ведется как на специальных судах, так и попутно на кораблях любого назначения. Для исключения влияния металлического корпуса судна применяются специальные приемы, а датчик поля буксируется за ним на кабеле длиной свыше 100 м в специальной немагнитной гондоле либо вблизи дна, либо на некоторой глубине. Профили (галсы) привязываются по штурманским картам. Съемки бывают профильными, реже площадными. В результате строятся графики, карты графиков и карты T_a или ΔT_a .

2. Микромагнитная съемка

Микромагнитной съемкой называют **высокоточную** (ε до ± 1 нТл) **наземную** магнитную съемку небольших участков (сотни квадратных метров) с равномерной и густой сетью точек наблюдения и шагом квадратной съемки 1–5 м (часто 5x5, 3x3, 1x1 м). При этом используют высокоточные полевые магнитометры (ядерные, квантовые). Для исключений вариаций через несколько замеров на рядовых точках берется отсчет на опорном пункте.

С помощью микромагнитной съемки можно выполнять изучение геолого-петрографических особенностей и трещиноватости пород. Высокоточную магниторазведку также применяют для решения некоторых инженерно-геологических задач (картирование скального основания, определение скоростей движения оползней по смещению изолиний с магнитными реперами в них и др.). Детальные же съемки используются в археологии для обнаружения стен, фундаментов, рвов, каналов, очагов и других объектов, намагниченных в условиях воздействия температур.

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

Выполнение работы

Магнитометры ММРОС–2 и ММПГ–1 могут использоваться для регистрации индукции, градиентов, а также вариаций ГМП. Оператор самостоятельно выбирает в качестве какого измерителя использовать данный магнитометр.

Задание:

1. Включить магнитометр (ММРОС–2 или ММПГ–1) и проверить его работоспособность.
2. Найти площадку для проведения микромагнитной съемки. Для этого, перемещаясь на местности, следует производить измерения индукции ГМП в тестовом режиме. Оператору, производящему измерения, следует избавиться от металлических предметов (монет, ключей и т. д.) и держаться вдали от ЛЭП (линий электропередач), бытового мусора, железных предметов и сооружений. Пригодной для исследований является площадка, в пределах которой магнитометр не обнаруживает шумовые помехи.

3. На выбранной площадке с помощью шпагата, колышков и измерительной рулетки разбейте квадратную сетку 10x10 м.
4. Расстояния между профилями выберите 1–2 м, шаг по профилю 1 м.
5. Используя бумагу, скотч, ножницы и маркер обозначьте все пункты наблюдений. Выберите опорные точки и обозначьте их. Опорные точки должны составлять 10–20% от общего количества пунктов наблюдений. Опорная сеть должна быть равномерно распределенной по площадке. Отобразите созданную сетку на чистом листе бумаги.
6. Произведите измерения индукции ГМП на всех пунктах наблюдений. При этом отрабатывайте площадь «змейкой» таким образом, чтобы на опорных точках иметь 2 (или более 2) измеренных значения.
7. Для регистрации вариаций поля, перед тем как отработать площадь найдите точку вблизи исследуемого участка, в которой нет градиентов поля или они незначительны. Расположите на данной точке второй магнитометр и, по мере отработки площадки, через строго определенный промежуток времени (период) производите измерения на ней. Если в качестве второго магнитометра выбран MMPOS–2, то, включив его в режиме МВС (магнитовариационной станции), и, задав период измерений, можно обойтись без второго оператора.
8. После отработки площадки вручную, проведите измерения индукции ГМП на всем исследуемом участке в автоматическом режиме, задав необходимый период измерений.
9. С помощью порта разгрузки RS 232 и соответствующего кабеля сбросьте информацию на компьютер.
10. Все данные занесите в отчет.

Примечания:

1. Высокоточные магнитометры, производящие прецизионные измерения (ϵ до ± 1 нТл), характеризуются стабильностью нуля-пункта, в связи с чем, при работе с ними отпадает необходимость в опорной сети.

Поэтому при проведении микромагнитной съемки можно обойтись без опорной сети.

2. Для регистрации вариаций при проведении микромагнитной съемки можно обойтись без второго магнитометра. Для этого по обе стороны от площадки выбирают по одной точке, на которых производят измерения каждый раз после прохождения профиля в одну или в другую сторону.

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

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы:

1. Микромагнитная съемка.
2. Задачи, решаемые микромагнитной съемкой.
3. Область применения микромагнитной съемки.
4. Рядовая сеть.
5. Опорная сеть.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Прямые и обратные задачи магниторазведки

Цель работы: приобретение навыков решения прямой задачи гравимагниторазведки 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).

Формируемые компетенции или их части:

ОК-3: готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала;

ОПК-4: способностью организовать свой труд на научной основе, самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владением навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;

ОПК-5: пониманием значимости своей будущей специальности, ответственным отношением к своей трудовой деятельности;

ПСК-2.7: способностью решать прямые и обратные (некорректные) задачи геофизики на высоком уровне фундаментальной подготовки по теоретическим, методическим и алгоритмическим основам создания новейших технологических геофизических процессов.

Теоретическая часть

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

В гравимагниторазведке прямая задача для тел простейшей формы решается с помощью аналитических формул, которые получены из выражения

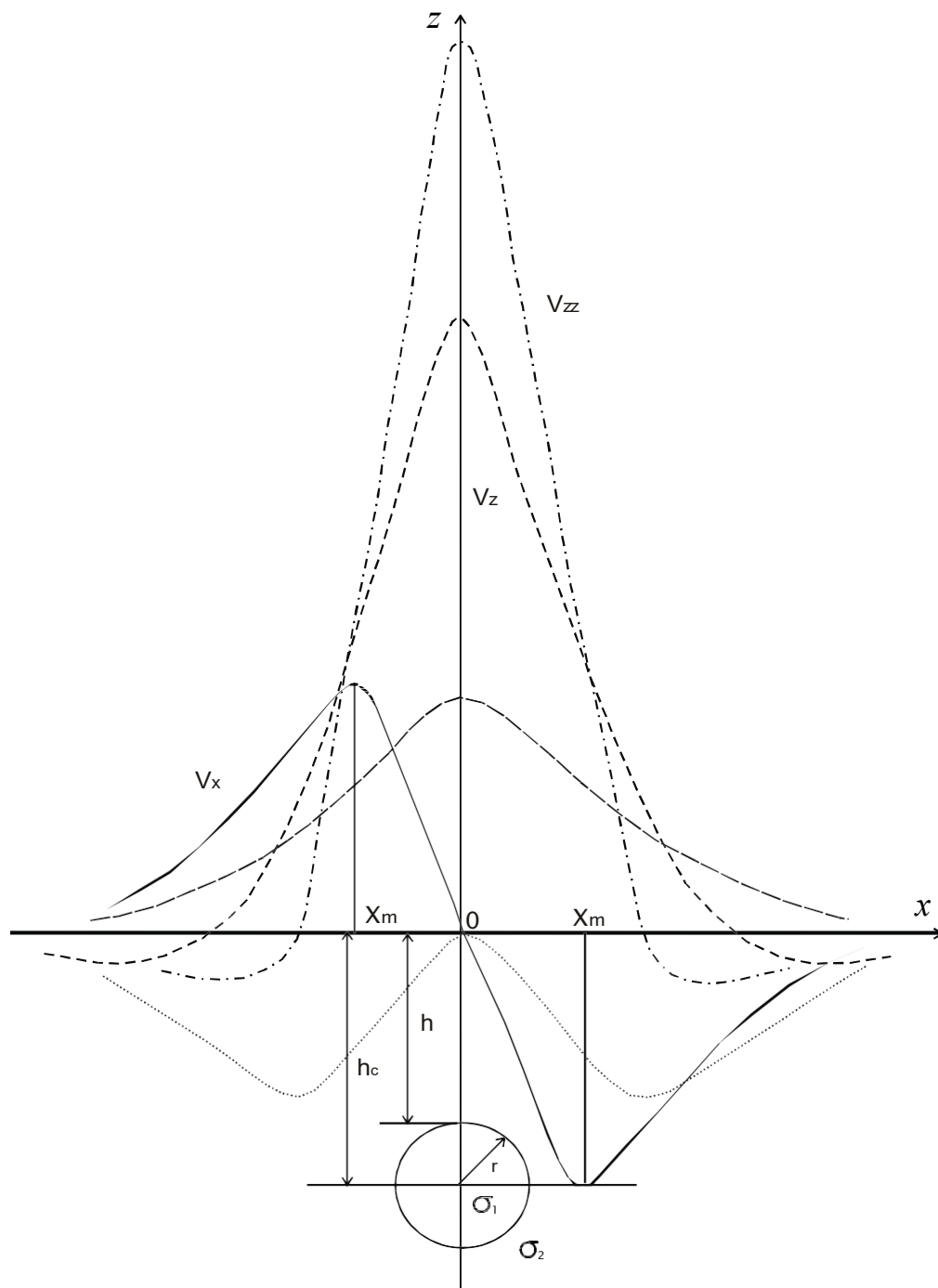


Рис. 1. Кривые гравитационных аномалий над шаром.

для потенциала точечной массы (гравиразведка) и элементарного диполя (магниторазведка).

Для точки наблюдений, внешней по отношению к притягивающим массам, например к шару (точечной массе), потенциал гравитационного притяжения равен:

$$V = f \frac{M}{r}, \quad (1)$$

где r – расстояние между притягиваемой точкой с координатами $(X; Y; Z)$ и притягивающей точкой шара с координатами $(\xi; \eta; \zeta)$, равное

$$r = \sqrt{(X - \xi)^2 + (Y - \eta)^2 + (Z - \zeta)^2}, \quad (2)$$

отсюда:

$$V = f \frac{M}{r = \sqrt{(X - \xi)^2 + (Y - \eta)^2 + (Z - \zeta)^2}}, \quad (3)$$

где $f = 6.67 \cdot 10^{-8} \frac{CM^3}{2 \cdot C^2}$ – гравитационная постоянная в системе СГС,
 $M = \frac{4}{3} \pi R^3 \sigma$ – масса шара радиуса R , притяжение которого во внешнем пространстве равно притяжению точечной массы, σ – избыточная плотность.

Формулы для вычисления аномального эффекта для тел различной формы даны в таблице 2, в которой для физических величин приняты следующие обозначения:

V_z, V_{xz}, V_{zz} – производные гравитационного потенциала,

$M = \sigma \cdot v$ – масса,

σ – плотность,

v – объем,

λ – масса единицы длины ($\lambda = \sigma \cdot S$),

S – площадь поперечного сечения (для кругового цилиндра $S = \pi \cdot R^2$),

μ – масса единицы поверхности ($\mu = \sigma \cdot h$),

h и L – толщина и ширина плоскости соответственно,

ξ – глубина залегания тела,

ξ_1, ξ_2 – глубины залегания верхней и нижней кромок аномальных тел.

Все формулы даны для профиля, проходящего по оси x через середину возмущающего тела ($y = 0$). Кривые V_z, V_{xz} будут иметь вид подобный графикам рисунка 1.

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 1км. При выполнении задания следует учитывать размерность, все вычисления удобнее проводить в системе СГС. Для справок ниже приводятся соотношения используемых единиц:

$$1 \text{ км (километр)} = 10^3 \text{ м} = 10^5 \text{ см}$$

$$1 \text{ мГал (миллигал)} = 10^{-5} \text{ м/с}^2 = 10^{-3} \text{ см/с}^2 (V_z, \Delta g)$$

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

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

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		27E
15		V_{zz}			2		0,3	2		40E
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		38,4E
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	$\frac{-4f\lambda\xi x}{(X^2+\xi^2)}$	$\frac{1.299f\lambda}{\xi^2}$ (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	$\frac{-f\lambda x}{(x^2+\xi^2)^{3/2}}$	$\frac{0.385f\lambda}{\xi^2}$ (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	$2f\mu \left(\arctg \frac{x+1}{\xi} \right)$ $- \arctg \frac{x-1}{\xi}$	$2f\mu \frac{1}{\xi}$ ($x = 0$)	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 гравirazведки.
2. Способы решения прямой задачи гравirazведки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Обработка и интерпретация магниторазведочных данных

Цель работы: приобретение навыков определения глубины залегания и намагниченности аномального тела.

Оборудование и материалы: карты изодинам вектора $\vec{T}$.

Формируемые компетенции или их части:

ОК-3: готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала;

ОПК-4: способностью организовать свой труд на научной основе, самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владением навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;

ОПК-5: пониманием значимости своей будущей специальности, ответственным отношением к своей трудовой деятельности;

ПСК-2.7: способностью решать прямые и обратные (некорректные) задачи геофизики на высоком уровне фундаментальной подготовки по теоретическим, методическим и алгоритмическим основам создания новейших технологических геофизических процессов.

Теоретическая часть

Обратная задача магниторазведки заключается в вычислении по заданному распределению аномального поля тела: глубины залегания, размеров, намагниченности и т.д. В общем случае решение обратной задачи неоднозначно.

При интерпретации необходимо опираться на полный и всесторонний анализ всех имеющихся геологических данных по району исследований. Такой анализ позволяет составить наиболее вероятную схему геологического

строения. При решении обратной задачи часто делают допущение о правильной форме тела, создающего аномалию. Для таких тел можно найти аналитическое выражение, связывающее параметры тела со значением

аномалии в некоторых точках.

Широкое распространение, особенно при интерпретации данных магниторазведки, получил способ касательных. Этот способ был предложен Ю.Н. Грачёвым для определения глубины залегания верхней кромки возмущающих тел по резкоаномальным кривым ΔZ и ΔT . В общем виде формулу метода касательных можно записать так:

$$h = K (X_2 - X_1) \quad (1)$$

где h – глубина залегания верхней кромки магнитоактивных масс, $X_2 - X_1$ – разность абсцисс пересечения касательных к исходной кривой, K – коэффициент, определяемый формой тела.

В.К. Пятницкий, изучив ряд теоретически рассчитанных аномалий, оценил величины возможной погрешности определения h и предложил вводить поправочные коэффициенты, учитывающие форму тела. Им исследованы аномалии, обусловленные пластами и уступами.

При интерпретации аномалии от пластообразных тел рекомендуется вычислить отношение

$$\frac{X_0 - X_m}{X_m} = \xi \quad (2)$$

и по нему, используя график (рис. 1), определять коэффициенты:

$$\frac{b}{h} = K, \quad \frac{X_0}{h} = K_1, \quad \frac{X_0 - X_m}{h} = K_3.$$

Глубина может быть определена как:

$$h = \frac{X_0}{K_1}, \quad (3)$$

$$h = \frac{X_0 - X_m}{K_3}, \quad (4)$$

где X_m – абсцисса пересечения касательных к точке перегиба и точке максимума (рис. 2), X_0 – абсцисса пересечения касательной с осью x , X_{II} – абсцисса точки перегиба.

Мощность пласта оценивается формулой

$$2b = 2Kh, \quad (5)$$

где b – полумощность пласта.

Намагниченность равна:

$$I = \frac{T_{a \max}}{K_4} \quad (6)$$

где $T_{a \max}$ — максимальное значение аномального магнитного поля.

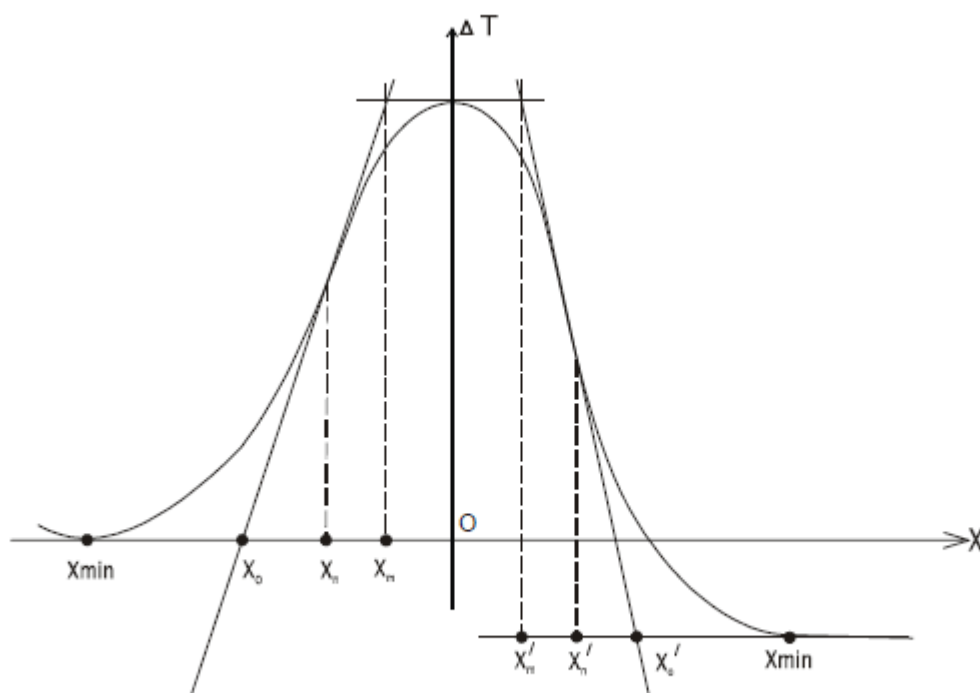


Рис. 2. Характерные точки по методу касательных.

Глубину залегания нижней кромки магнитоактивных масс H можно определить по формуле Булиной:

$$H = 2 X_{\min} - 1,8 \cdot (b + h) \quad (7)$$

где $X_{\min}$ — абсцисса точки минимума.

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. С карты изодинам, выданной преподавателем, вкрест простираения аномалии снять значения изолиний и по ним построить график $\Delta T_a(x)$.
2. Используйте следующие рекомендации:
 - а) за начало координат принимается положение точки максимума $\Delta T_a(x)$.
 - б) к интерпретируемой кривой проводятся касательные к точкам перегиба, максимума, минимума;
 - в) выделяются характерные точки;
 - г) определяются абсциссы X_{Π}, X_0, X_m .
3. По формуле (2) определяется входной параметр ξ , используя который, с графика снимают значение коэффициентов K, K_1, K_3, K_4 .
По формулам (3) и (4) определяют h , по формуле (5) вычисляют значение $2b$, по формуле (6) – I , по формуле (7) – H .
4. Расчеты производятся по обеим ветвям кривой $\Delta T_a(x)$. На миллиметровке изображается график $\Delta T_a(x)$ и полученные размеры тела.

✓ **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. Методы решения обратных задач магниторазведки.
3. Интерпретация данных магниторазведки с помощью метода касательных.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Примеры применения магниторазведки

Цель работы: приобретение навыков определения магнитных характеристик горных пород.

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

Формируемые компетенции или их части:

ОК-3: готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала;

ОПК-4: способностью организовать свой труд на научной основе, самостоятельно оценивать результаты своей профессиональной деятельности, владением навыками самостоятельной работы, в том числе в сфере проведения научных исследований;

ОПК-5: пониманием значимости своей будущей специальности, ответственным отношением к своей трудовой деятельности;

ПК-15: способностью обрабатывать полученные результаты, анализировать и осмысливать их с учетом имеющегося мирового опыта, представлением

результатов работы, обоснованием предложенных решений на высоком научно-техническом и профессиональном уровне;

ПСК-2.2: способностью применять знания о современных методах геофизических исследований

ПСК-2.3: способностью планировать и проводить геофизические научные исследования, оценивать их результаты

Теоретическая часть

Компоненты вектора намагниченности J_x , J_z , размагничивающей силы B_{px} , B_{pz} и внутреннего размагничивающего поля B_x , B_z определяются по формулам:

$$J_x = \frac{\chi \cdot B_{ex}}{\mu_0 (1 + \chi \cdot N_x)}, \quad (1)$$

$$J_z = \frac{\chi \cdot B_{ez}}{\mu_0 (1 + \chi \cdot N_z)}, \quad (2)$$

$$B_{px} = \mu_0 N_x J_x, \quad (3)$$

$$B_{pz} = \mu_0 N_z J_z, \quad (4)$$

$$B_x = B_{ex} - B_{px}, \quad (5)$$

$$B_z = B_{ez} - B_{pz}. \quad (6)$$

В этих формулах:

$N_x = \frac{B}{A+B}$ – размагничивающий фактор (коэффициент размагничивания) вдоль оси x ,

$N_z = \frac{A}{A+B}$ – размагничивающий фактор (коэффициент

размагничивания) вдоль оси z ,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Магнитная восприимчивость горной породы связана с значениями кажущейся магнитной восприимчивости χ'_x , χ'_y , χ'_z вдоль трех взаимно перпендикулярных направлений посредством соотношения:

$$\chi = \frac{3}{\frac{1}{\chi'_x} + \frac{1}{\chi'_y} + \frac{1}{\chi'_z} - 1} \quad (7)$$

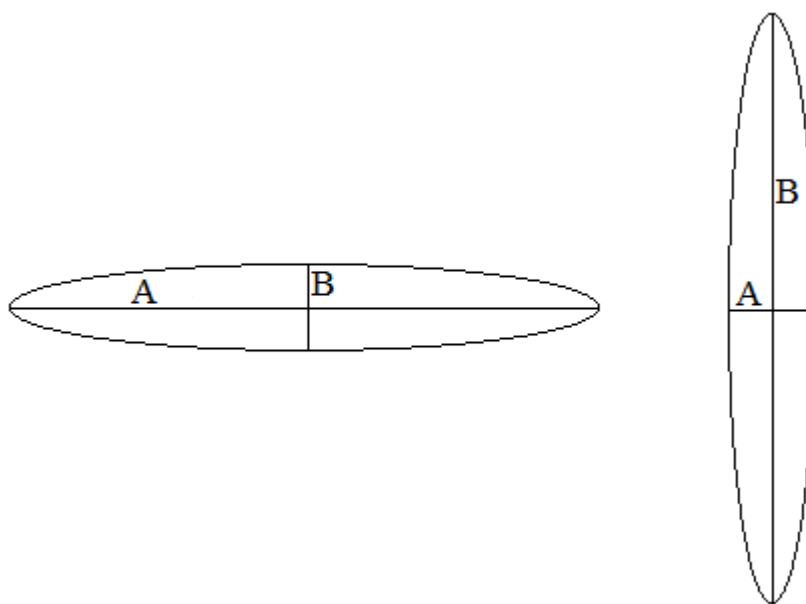


Рис 1. Эллипс поперечного сечения для: слева – горизонтального цилиндра, справа – вертикального цилиндра (А и В – полуоси эллипса).

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:

1. Рассчитайте, до какой интенсивности намагничиваются в магнитном поле круто падающий и горизонтально лежащий пласты сильномагнитных пород. Пласты можно уподобить вытянутому и сжатому эллиптическим цилиндрам (рис. 1). Используйте данные из таблицы 1. Оба пласта намагничиваются во внешнем магнитном поле $B_e = 50000$ нТл, которое направлено по вертикали. Магнитная восприимчивость пород в обоих случаях равна $\chi = 3 \cdot 10^{-2}$ ед. СИ.
2. Найдите размагничивающую силу, действующую внутри обоих пластов.
3. Найдите внутреннее намагничивающее поле для обоих пластов.
4. Решите ту же задачу, считая, что магнитная восприимчивость горных пород в обоих случаях равна 3 ед. СИ.
5. Изменится ли намагниченность пластов, если величины А и В одновременно увеличатся или уменьшатся в 10 раз?

Таблица 1

Соотношения полуосей эллипса поперечного сечения для круто падающего и горизонтально лежащего пластов

№ варианта	В/А	
	горизонтальный пласт	вертикальный пласт
1.	1/2	2
2.	1/3	3
3.	1/4	4
4.	1/5	5
5.	1/6	6
6.	1/7	7
7.	1/8	8
8.	1/9	9
9.	1/10	10

10.	1/11	11
11.	2/3	3/2
12.	2/4	2
13.	2/5	5/2
14.	2/6	3
15.	2/7	7/2
16.	2/8	4
17.	2/9	9/2
18.	2/10	5
19.	2/11	11/2
20.	2/12	6

Задание 2:

1. Решите ту же задачу в обоих вариантах, считая, что внешнее поле B_e направлено под углом 70° к горизонту. В процессе решения задачи нужно найти:

- a) вектор намагниченности $\vec{J}$ по абсолютному значению;
- b) угол наклона вектора $\vec{J}$ по отношению к горизонту;
- c) угол между направлениями вектора $\vec{J}$ и внешнего поля;
- d) компоненты размагничивающей силы;
- e) компоненты внутреннего намагничивающего поля.

Задание 3:

1. При измерении магнитной восприимчивости горных пород с помощью каппаметра КТ–5 найдена кажущаяся магнитная восприимчивость вдоль трех осей образца:

$$\chi'_x = \chi'_y = \chi'_z = 1,5 \text{ ед. СИ}$$

Найти истинную магнитную восприимчивость горной породы.

✓ Данные по выполненной работе занести в отчет

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы:

1. Магнитный момент. Магнитный диполь. Магнитное поле диполя.
2. Намагничивание. Намагниченность. Виды намагниченности.
3. Истинная магнитная восприимчивость. Кажущаяся магнитная восприимчивость. Размагничивающий фактор.
4. Зависимость намагниченности от величины внешнего магнитного поля, формы тела и температуры.
5. Магнитные свойства горных пород и минералов.
6. Способы измерения магнитных свойств горных пород.

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.

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

**Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине**

Магниторазведка

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.

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

Куриль 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 разъёмы 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. Закрыть активные задачи.
- 5.2. Убедиться, что в дисковом 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.