

**Охрана окружающей среды и природопользование. Недра  
ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ  
НАЗЕМНАЯ МАГНИТОРАЗВЕДКА**

**Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарастанне. Нетры  
ПРАВИЛЫ ПРАВЯДЗЕННЯ МАГНІТАРАЗВЕДАЧНЫХ РАБОТ  
НАЗЕМНАЯ МАГНІТАРАЗВЕДКА**

Издание официальное



**Минприроды**

**Минск**

**Ключевые слова:** магниторазведочные работы, наземная магниторазведка, магнитометр, петромагнитные исследования горных пород

---

## Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению техническим нормированием и стандартизацией в области охраны окружающей среды установлены Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды».

1 РАЗРАБОТАН научно-производственным республиканским унитарным предприятием «БЕЛГЕО» и Геофизической экспедицией РУП «Белгеология»

ВНЕСЕН Департаментом по геологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28 марта 2012 г. № 11-Т

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ (взамен Инструкции по магниторазведке, утверждённой Министерством геологии СССР 23 марта 1979 г.)

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

## Содержание

Введение	
1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины и определения.....	1
4 Обозначения и сокращения.....	2
5 Общие положения.....	3
6 Особенности разработки проектной документации на проведение наземных магниторазведочных работ.....	5
7 Организация работ.....	9
8 Документирование и контроль качества полевых и камеральных работ.....	13
9 Оформление материалов окончательного отчета.....	16
10 Графическое представление результатов работ в окончательных отчетах.....	18
11 Правила проведения наземной магнитной съемки.....	22
11.2 Топографо-геодезическое обеспечение.....	24
11.3 Правила работы с приборами.....	29
11.4 Правила проведения рядовых и высокоточных съемок.....	31
11.5 Измерения на расчетных профилях.....	33
11.6 Правила обработки материалов съемки.....	34
11.7 Определение качества полевых и камеральных работ.....	37
11.8 Правила проведения микромагнитной съемки.....	41
11.9 Правила измерений градиентов магнитного поля.....	42
11.10 Правила применения наземной магнитной съемки при решении геологических задач.....	45
12 Правила определения магнитных характеристик горных пород.....	48
12.1 Задачи и методы их решения.....	48
12.2 Аппаратура и методика определения магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых.....	52
12.3 Градуировка аппаратуры.....	62
12.4 Правила отбора образцов горных пород и полезных ископаемых, документирование и представление результатов.....	65
13 Правила проведения палеомагнитных измерений.....	68
13.1 Задачи и условия производства работ.....	68
13.2 Правила отбора и обработки ориентированных образцов.....	71
13.3 Магнитные измерения и первичная обработка данных.....	72
13.4 Выделение физических и хронологических компонентов естественной остаточной намагниченности.....	75
13.5 Правила анализа происхождения компонентов намагниченности.....	79
13.6 Определение положения палеомагнитного полюса.....	80
13.7 Отчетность при палеомагнитных исследованиях.....	81
14 Правила магнитных измерений при изучении ореолов рассеяния.....	82
15 Правила изучения магнетизма горных пород.....	83
Приложение А.....	86
(рекомендуемое).....	86
Форма журнала записей полевых измерений магнитного поля при наземной магниторазведке.....	86
Приложение Б.....	87
(рекомендуемое).....	87
Форма каталога результатов определения магнитных свойств пород и руд.....	87
Приложение В.....	88

## ТКП 17.04-39-2012

(рекомендуемое).....	88
Форма каталога основных палеомагнитных данных.....	88
Приложение Г.....	89
(рекомендуемое).....	89
Сведения о выполнении и увязке опорных сетей наземных магнитных съёмок.....	89
Приложение Д.....	101
(рекомендуемое).....	101
Платформы.....	101
Русская и Сибирская.....	101
Русская.....	101
Сибирская.....	101
Русская.....	101

## Введение

При составлении настоящего технического кодекса установившейся практики был использован огромный опыт магниторазведочных работ в СССР, обобщённый и сконцентрированный в инструкции по магниторазведке, изданной в 1981 и 1983 гг. [1, 2]. Вместе с тем, за истекший с момента её издания период, в геофизике в целом и в магниторазведке в частности, произошли коренные изменения: существенно обновился парк аппаратуры, широкое распространение получила спутниковая навигация, укрупнился масштаб съёмок, расширился круг решаемых задач. Повышение точности магнитных измерений заставило считаться с такими видами помех, которые раньше не имели большого значения. Все эти новшества привели к существенному изменению методики магниторазведки, к разработке новых приёмов, к пересмотру смысла и правил выполнения традиционных операций полевых и камеральных работ. Появилась необходимость в более строгой метрологической основе магниторазведки, а также в уточнении терминологии и повышении компьютерной грамотности исполнителей. Настоящий технический кодекс установившейся практики учитывает эти изменения и опирается на опыт магниторазведочных работ РУП «Белгеология», геофизических служб России и Украины.

Настоящий технический кодекс установившейся практики содержит ряд новых положений, основанных на опыте работ, накопленном за последние годы. Добавлен новый раздел – правила изучения магнетизма горных пород, в котором регламентируется изучение ферромагнитных минералов магнитометрическими методами с целью выяснения особенностей формирования содержащих их горных пород.

Согласно требованиям метрологической службы технические характеристики магнитометрической аппаратуры даны здесь в «наноТеслах» – долях единицы магнитной индукции в СИ ( $1 \text{ нТл} = 10^{-9} \text{ Тл}$ ). В остальных случаях, в соответствии с теорией намагниченных тел, которая построена на магнитостатических представлениях о магнитном поле, для удобства решения прямой и обратной задач магниторазведки, использования данных измерений магнитных свойств горных пород и др., применяются единицы СГСМ.

Целью настоящего технического кодекса установившейся практики является определение основных параметров выполнения магнитных съёмок и петромагнитных исследований на всех стадиях геологоразведочных работ и оценки качества получаемых данных.

**ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ**

---

**Охрана окружающей среды и природопользование. Недра  
ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ.  
НАЗЕМНАЯ МАГНИТОРАЗВЕДКА**

**Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры  
ПРАВІЛЫ ПРАВЯДЗЕННЯ МАГНІТАРАЗВЕДАЧНЫХ РАБОТ.  
НАЗЕМНАЯ МАГНІТАРАЗВЕДКА**

Environmental protection and nature use. Subsoil  
Regulations for conducting magnetic prospecting. Ground magnetic prospecting

---

**Дата введения 2012 –06-01**

## **1 Область применения**

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее – ТКП) устанавливает основные требования к проектированию и производству магниторазведочных работ, отвечающие современному уровню техники полевых измерений, обработки и интерпретации материалов.

Настоящий ТКП распространяется на наземные магнитные съёмки, выполняемые на территории Республики Беларусь.

Требования настоящего ТКП обязательны для всех недропользователей, осуществляющих деятельность в области проведения магниторазведочных работ на территории Республики Беларусь.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем ТКП использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее – ТНПА):

ТКП 17.04-18-2010 (02120) Правила проведения аэромагниторазведочных работ

ТКП 17.04-06-2008 (02120) Правила проведения гравиразведочных работ

ТКП 45-4.01-199-2010 (02250) Скважинные водозаборы. Правила проектирования

ГОСТ 24284-80 Гравиразведка и магниторазведка. Термины и определения

Примечание - При пользовании настоящим ТКП целесообразно проверить действие ТНПА по каталогу, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочные документы заменены (изменены), то при пользовании настоящим ТКП следует руководствоваться замененными (измененными) документами. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

## **3 Термины и определения**

В настоящем ТКП применены термины, установленные ГОСТ 24284, а также следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 взаимные превышения:** Приращения поля между любыми соседними узлами опорной сети.

**3.2 внешняя увязка:** Приведение рядовых съёмок на нескольких участках съёмки к единому нулевому (отсчетному) уровню для составления сводных карт (увязка карт).

**3.3 внутренняя увязка:** Приведение к одному отсчетному уровню магнитного поля рядовых маршрутов на отдельных участках (планшетах) съёмки.

Издание официальное

**3.4 градиент:** Вектор, характеризующий скорость изменения физического поля.

**3.5 градиенты геомагнитного поля:** Производные скалярной функции по заданным направлениям.

**3.6 девиация:** Изменение показаний магнитометра в зависимости от азимута – при прочих равных условиях.

**3.7 магниторазведка:** Метод решения геологических задач, основанный на изучении земного магнитного поля, а также магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых.

**3.8 увязка:** Приведение результатов магнитных измерений магнитного поля к единому отсчетному уровню.

**3.9 частные производные скалярной функции по направлениям координатных осей:** Составные части градиента, величины, получающие значение в результате предельного перехода при устремлении интервала изменения аргумента к нулю.

#### 4 Обозначения и сокращения

В настоящем ТКП применены обозначения и сокращения, установленные в ГОСТ 24284, а также следующие сокращения:

<b>АМС</b>	– Аэромагнитная съемка
<b>КП</b>	– Контрольный пункт
<b>МВС</b>	– Наземная магнитовариационная станция
<b>ОМ</b>	– Опорный маршрут
<b>ОС</b>	– Опорная сеть
<b>ПК</b>	– Персональный компьютер
<b>ПМ</b>	– Повторный маршрут
<b>РМ</b>	– Рядовой маршрут площадной съемки
<b>СВМ</b>	– Связующий маршрут
<b>СМ</b>	– Секущий маршрут
<b>GPS-комплекс</b>	– Геодезические аппаратурно-программные комплексы для определения координат, использующие искусственные спутники Земли
<b>A</b>	– Азимут астрономический
<b><math>A_m</math></b>	– Азимут магнитный
<b>D</b>	– Магнитное склонение
<b>I</b>	– Магнитное наклонение
<b>J и J</b>	– Вектор и модуль вектора намагниченности горной породы или ее образца
<b><math>J_i</math> и <math>J_i</math></b>	– Вектор и модуль вектора индуктивной намагниченности
<b><math>J_n</math> и <math>J_n</math></b>	– Вектор и модуль вектора естественной остаточной намагниченности горных пород
<b>N</b>	– Коэффициент размагничивания (коэффициент формы)
<b>N</b>	– Отсчет по шкале магнитометра (число делений)
<b>T и T</b>	– Вектор и модуль вектора геомагнитного поля
<b>Z и H</b>	– Модуль вертикальной и горизонтальной составляющей геомагнитного поля
<b><math>\varepsilon</math></b>	– Цена деления шкалы магнитометра
<b><math>\Delta</math></b>	– Изменение элементов земного магнетизма в пространстве (приращение)
<b><math>\delta</math></b>	– Изменение элементов земного магнетизма во времени
<b><math>\chi</math></b>	– Объемная магнитная восприимчивость вещества или горной породы

## 5 Общие положения

**5.1** Магниторазведка применяется на всех этапах геологического изучения недр и в сочетании с другими методами решает широкий круг задач от мелкомасштабного геологического районирования и металлогенического прогнозирования до крупномасштабных поисков и разведки, а также эффективно используется в процессе эксплуатации месторождений. Для Беларуси актуальны несколько модификаций магнитных съемок и измерений, входящих в состав магниторазведки:

- площадные и маршрутные съёмки геомагнитного поля (наземные (пешеходные));
- измерения геомагнитного поля в буровых скважинах (скважинная магниторазведка);
- измерения магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых (палеомагнитные исследования образцов горных пород; магнитный каротаж; изучение магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых по их образцам и непосредственно на геологических обнажениях).

В таблице 1 приведены возможности современной магнитной съемки при благоприятных геолого-геофизических условиях.

Нормальная последовательность выполнения магниторазведки заключается в том, что аэромагнитные работы предваряют наземные, причём масштабы тех и других последовательно укрупняются. Из этого правила могут быть исключения, связанные с особенностями геологических задач и изученности района, а также с точностью проектируемых съёмок.

Конечной продукцией магниторазведочных работ являются отчёты с приложением карт и графиков магнитного поля и с геологическим истолкованием полученных данных.

**1.2** Основными характеристиками магнитного поля являются магнитная индукция  $B$  и напряженность  $H$ . В вакууме эти величины связаны соотношением

$$B = \mu_0 H, \quad (5.1)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

В изотропной среде индукция  $B$  связана с напряженностью  $H$  равенством

$$B = \mu \mu_0 H, \quad (5.2)$$

где  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость (безразмерный скалярный коэффициент); в средах анизотропных проницаемость  $\mu$  описывается уже набором девяти чисел и представляет собой матрицу третьего порядка (тензор магнитной проницаемости); в данном ТКП  $\mu$  отвечает случаю изотропной среды, представляет собой безразмерный числовой множитель во всех системах единиц (далее – СИ).

Намагниченностью вещества  $J$  – называют суммарный магнитный момент единицы объема данного вещества, характеризующий степень магнитной поляризации среды. С напряженностью  $H$  она связана равенством

$$J = \chi H, \quad (5.3)$$

где скалярный множитель  $\chi$  – объемная магнитная восприимчивость.

В СИ  $\mu$  и  $\chi$  связаны равенством

$$\mu = 1 + \chi, \quad (5.4)$$

а в системе СГС (СГСМ) – равенством

$$\mu = 1 + 4\pi\chi \quad (5.5)$$

Значение относительной магнитной проницаемости среды не изменяется с переходом от одной системы единиц к другой. Значение  $\chi$  зависит от того, в какой системе выражаются результаты магнитных измерений и производятся расчеты. В переводном

$$K_{\text{СИ}} = 4\pi\chi_{\text{СГСМ}} \quad (5.6)$$

индексы при  $\chi$  сигнализируют о масштабе единиц  $\chi$ , разнящемся для этих систем.

**Таблица 1 – Возможности современной магнитной съемки при благоприятных геолого-геофизических условиях**

Геологические задачи	Решаемые задачи
Помощь геологическому картированию	Определение границ не только сильномагнитных, но и осадочных и других весьма слабомагнитных пород (магнитная восприимчивость $\chi = (10 \div 15) \cdot 10^{-6}$ ед. СГСМ) и даже разделение пород с одинаковыми $\chi$ , если они отличаются направлением естественной остаточной намагниченности $J_n$ , или характерными неоднородностями, создающими мелкие аномалии от 1 нТл и выше
Картирование разрывных дислокаций	Выделение и трассирование разломов, сбросов, линий надвигов и т. п., если они вызывают аномалии, 1,5—5 нТл. Изучение микротектоники пород
Поиски осадочных рудных месторождений	Поиск бокситов, лимонитов, сидеритов, фосфоритов и марганцевых руд, а также карстовых полостей, к которым приурочены некоторые осадочные руды
Поиски россыпных месторождений	Поиски золота, платины и др. при наличии ферромагнетиков в тяжелой фракции.
Картирование рудоконтролирующих факторов	Выделение зон гидротермальной и иной переработки пород (участков развития контактово-метасоматических явлений, березитизации, метаморфизма), выявление и прослеживание границ слабомагнитных интрузий и тектонических линий, создающих аномалии 1,5-5 нТл.
Прямые поиски слабомагнитных рудных месторождений в типично рудных районах	Поиски полиметаллических и других месторождений немагнитных руд, при наличии в них примесей ферромагнетиков – пирротина и магнетита.
Прямые поиски сильномагнитных руд	Проведение поисков глубокозалегающих тел, разбраковка аномалий на рудные и нерудные, интерпретация аномалий и выявление деталей строения рудных тел
Картирование даек, кварцевых и пегматитовых жил	Картирование даек и жил в тех случаях, когда связанные с ними положительные или «отрицательные» аномалии находятся в пределах погрешности обычных съемок (1,5-5 нТл), при мощности даек не менее 3 м
Выявление структур в связи с поисками углеводородов	Проведение интерпретационных профилей по разведочным линиям, съемки в районах развития нефтяных ловушек тектонического типа и др.
Поиски каменного угля	Изучение тектоники угленосных толщ по аномалиям 3-10 нТл, связанным с некоторыми маркирующими пластами литофицированных каменных углей
Особые виды работ	Инженерная геология: изучение геологических разрезов, поиск старых объектов коммуникаций, фундаментов, взрывоопасных остатков войн (бомб, снарядов). Археология: изучение строения городищ, селищ, курганов, стоянок древнего человека. Поиск захороненных в земле орудий войн и их фрагментов.

Реально измеряемой величиной всегда является главная характеристика магнитного поля – магнитная индукция  $B$ . Это положение сейчас является общепринятым и все

представления о достаточности для магниторазведочных измерений и расчетов использования напряженности, встречающиеся в некоторых учебниках магниторазведки, следует считать устаревшими. Переход к СИ создает для магнитометрии дополнительные трудности в решении прямой и обратной задач магниторазведки, так как размерность намагниченности искомого объекта совпадает с размерностью напряженности  $H$ , а не магнитной индукции  $B$  (в отличие от системы СГСМ). **Магнитные** величины в различных системах измерения приводятся в таблице 2.

Иногда при определении намагниченности тела приходится учитывать его форму. В общем случае  $J$  и  $H$  связаны формулой

$$J = \frac{\chi H}{1 + \chi N}, \quad (5.7)$$

куда помимо магнитной восприимчивости  $\chi$  входит коэффициент размагничивания  $N$ , изменяющийся от нуля (для очень вытянутых в направлении намагничивающей тел) до  $4\pi$  (для сжатых, пластообразных тел, намагничиваемых внешним полем перпендикулярно к ограничивающим поверхностям).

Буквенное обозначение магнитной индукции  $B$  узаконено существующими стандартами; однако в настоящем ТКП за полной магнитной индукцией (синонимы - абсолютный вектор геомагнитного поля, полное мгновенное значение поля и т. п.) закреплено традиционное для магниторазведки буквенное обозначение  $T$ . Обозначения и символы, применяемые в магниторазведке, приведены в разделе 4.

## **6 Особенности разработки проектной документации на проведение наземных магниторазведочных работ**

**6.1** Основанием для разработки проектной документации на проведение наземных магниторазведочных работ является задание на проект. Назначением проекта на проведение наземной магниторазведки является определение методики, техники и организации магниторазведочных и связанных с ними вспомогательных работ, которые необходимо осуществить для выполнения геологического задания, а также обоснование исходных данных для составления сметы. В проектах должны предусматриваться наиболее рациональная методика и организация работ, обеспечивающие выполнение геологических заданий с минимальными затратами средств и времени. Вспомогательные виды работ (GPS-привязка, радиотелефонная связь, вариационное обеспечение, компьютерная обработка и оформление) рассматриваются в разделах единого проекта. Составление самостоятельных проектов по таким работам не допускается.

Проект должен быть предельно кратким и содержать только те сведения, которые необходимы для выполнения указанных выше задач проектирования.

**6.2** При составлении проектов необходимо руководствоваться [1], [2], определяющими порядок проектирования геологоразведочных работ.

**6.3** Проект состоит из двух частей:

- геолого-методической;
  - производственно-технической
- и оформляется, соответственно, в двух томах.

**6.3** На начальном этапе проектирования определяются конкретные задачи, организация, техника, методика, стоимость и эффективность работ. По району работ изучают сведения о его геолого-геофизической изученности, о геологическом строении (включая геологические результаты предшествующих геофизических работ), о магнитных свойствах горных пород и полезных ископаемых,

Таблица 2 – Магнитные величины в различных системах измерения

Величина	Обозначение	Формула размерности		Наименование единицы и ее обозначение		Соотношение единиц
		СИ	СГСМ	СИ	С ГСМ	
Магнитная индукция (вектор)	B	$MT^{-2}I^{-1}$	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$	тесла (Т)	гаусс (Гс)	$1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Т}$
Магнитный поток (скаляр)	$\Phi$	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$	вебер (Вб)	максвелл (Мкс)	$1 \text{ Мкс} = 10^{-8} \text{ Вб}$
Напряженность магнитного поля (вектор)	H	$L^{-1}I$	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$	ампер на метр (А/м)	эрстед (Э)	$1 \text{ Э} = \frac{1}{4\pi} 10^{-3} \text{ А/м}$
Намагниченность (интенсивность намагничения)	J	$L^{-1}I$	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$	ампер на метр (А/м)	-	$1 \text{ ед. намагн. СГСМ} = 103 \text{ А/м}$
Магнитная восприимчивость	$\chi$	-	-	-	-	$1 \text{ ед. воспр. СГСМ} = 4\pi \text{ ед. воспр. СИ}$
Коэффициент размагничивания	N	-	-	-	-	$1 \text{ ед. СГС} = 1/4\pi \text{ ед. СИ} = 0.08 \text{ СИ}$

## **ТКП 17.04-39-2012**

о наличии и особенностях топографических карт, геодезических знаков на местности, о физико-географических особенностях района - его орогидрографии, залесенности, климате, дорогах, населенных пунктах, аэродромах и т.п., о ближайших магнитных обсерваториях (координаты, удаленность от участка, аппаратура обсерваторий).

**6.4** Геологические данные изучаются не только в пределах намеченного участка съемки, но и для смежных территорий. При отсутствии сведений о физических свойствах пород проводится изучение образцов пород из доступных геологических коллекций.

**6.5** Геолого-методическая часть проекта состоит из следующих разделов:

**6.5.1** Геологическое задание. В разделе приводится утвержденное вышестоящей организацией геологическое задание, являющиеся основанием для составления проекта (программы).

**6.5.2** Географо-экономическая характеристика района работ. В разделе указываются географическое и административное положение района работ, пути сообщения и расстояния до ближайших железнодорожных станций, пристаней, аэродромов, шоссейных магистралей; ближайшие районные центры и населенные пункты; возможность использования различных видов транспорта. Кратко освещаются орогидрография района работ, климатические условия, обнаженность, залесенность, заболоченность, условия проходимости местности. Здесь же в зависимости от характера района и вида проектируемых магниторазведочных работ приводятся данные о ближайших магнитных обсерваториях. Все перечисленное дается в объеме, достаточном для обоснования методики проектируемых работ, их объемов, норм выполнения и поправочных коэффициентов к нормам времени, зарплате и т. п. В разделе также приводятся экономические характеристики района, влияющие на организацию и выполнение планируемых работ.

**6.5.3** Обзор, анализ и оценка ранее проведенных работ. В разделе освещаются степень изученности объектов (геологической, геофизической), обеспеченность работ топографическими картами, изученность физических свойств горных пород и полезных ископаемых, наличие геодезических знаков на местности. В зависимости от вида планируемых работ приводятся сведения о буровых работах. Приводится краткий аналитический обзор ранее выполненных магниторазведочных работ, указываются их объемы и дается оценка их результатов.

**6.5.4** Геологическая, гидрогеологическая и геофизическая характеристика объекта работ. В разделе кратко излагаются данные по стратиграфии, тектонике, магматизму, вулканизму, полезным ископаемым, гидрогеологии объекта работ. Приводятся и анализируются сведения о физических свойствах пород и полезных ископаемых, результаты геофизических (прежде всего магниторазведочных) работ, суждения о геологической природе установленных аномалий и типов магнитных полей. На основании анализа комплекса геолого-геофизических данных, полученных в предыдущие годы, обосновываются конкретные задачи проектируемых работ.

**6.5.5** Методика и объемы проектируемых работ. На основе материала, изложенного в предыдущих разделах и с учетом опыта работ на аналогичных объектах, формулируются все задачи для выполнения геологического задания, и определяется последовательность их выполнения. Указывается ожидаемая геологическая эффективность работ. Выбираются способы решения указанных задач, методика работ, определяются их объемы, сроки, необходимая аппаратура, оборудование. В этом разделе обосновывается выбор сети наблюдений магнитного поля (масштаб съемки, направление профилей, расстояния между точками измерений), способа увязки результатов измерений магнитного поля, плановой привязки и методики топографических работ, способа учета вариаций и других источников помех, указывается организация службы времени. Здесь же перечисляются и обосновываются наблюдения, их объемы; приводятся сведения о

## **ТКП 17.04-39-2012**

масштабах и объемах детализационных съемок, о поверках и полевых проверках параметров приборов, о содержании и объемах камеральных работ в поле и в камеральный период, об их методике. В разделе также указываются масштабы и виды отчетных графических материалов, проектная точность съемки, данные о порядке и способах оценки качества всех видов работ, оговариваются условия, при которых съемка должна прекращаться.

**6.6** Производственно-техническая часть проекта составляется специализированными проектно-сметными подразделениями геологических предприятий, а при их отсутствии – силами организации, выполняющей работы.

Производственно-техническая часть разрабатывается на основании данных, приведенных в первой части проекта, действующих ТНПА и определяет организацию, технологию, технические средства, объемы и сроки выполнения, а также стоимость всех элементов и видов работ для всех этапов выполнения задания.

Производственно-техническая часть содержит вводный раздел («общая часть»), разделы посвященные проектированию, подготовительному периоду, полевому периоду (с самостоятельными подразделениями по всем видам основных и вспомогательных, в том числе лабораторных и опытно-методических, топографических, картографических и других работ), камеральным работам и отчетности. Эта часть проекта должна определять практическое осуществление запланированных работ и исчерпывающе обосновывать смету.

В данной части проекта также рассматриваются:

- структура и состав партии (отряда);
- территориальное размещение партии (отряда);
- перечень приборов, оборудования, снаряжения, материалов и транспортных средств;
- транспортировка к месту базирования партии (отряда) и обеспечение транспортом на месте работ;
- снабжение партии (отряда) электроэнергией, водой, горючим, продуктами питания;
- организация связи;
- объемы всех видов работ, объемы магнитной съемки указываются как в физических единицах, так и в единицах площади;
- особенности работ и факторы, влияющие на производительность труда; затраты времени на ремонтные и регламентные работы, на переезды от участка к участку, перебазировку магнитных вариационных станций;
- выбор категории трудности по видам и участкам работ;
- необходимое для выполнения задания обеспечение компьютерами, программами, принтерами, плоттерами, GPS-приемниками;
- командировки, консультации, экспертизы;
- техника безопасности, санитария и гигиена труда, обеспечение противопожарной безопасности, вопросы охраны окружающей среды, затраты на вырубку леса и возмещение потрав;
- технико-экономические показатели;
- сроки выполнения всех видов работ;
- виды отчетности, сроки ее представления, программы, которыми будет оформляться отчетность и электронные форматы отчетных документов.

**6.7** Вспомогательным и сопутствующим видам геолого-геофизического комплекса должны соответствовать отдельные разделы проекта.

В разделе, посвященном топографо-геодезическому обеспечению приводятся:

- техническое задание с указанием объектов и требуемой точности привязки, отчетной документации, времени работ;
- сведения о районе и его картографической изученности, определяющие

организацию, методику и качество плановой привязки;

- методика работ; рассматриваются способы вынесения в натуру сети магнитометрических наблюдений и её закрепления на местности, организация контроля и приемки работ в полевой период, перечень геодезических и картографических материалов, подлежащих сдаче по окончании работ, система организации хранения этих материалов в электронном виде;

- производственно-технические показатели работ, расчёты, план организационных мероприятий; расчёт потребности в инженерно-техническом персонале, рабочих и транспорте, сроки и график выполнения геодезических и GPS-навигационных работ, наименование и количество требующейся аппаратуры, инструментов, оборудования и полевого снаряжения.

Проект сопровождается схемой геодезического обеспечения наземных магниторазведочных работ.

**6.8** Проект должен иметь оглавление, опись приложений, список литературы и фондовых материалов, использованных при его составлении. К тексту проекта обязательно прикладываются следующие приложения:

- графические – обзорная карта района в мелком масштабе, геологическая карта в масштабе работ или близком к нему, карта геофизической изученности района;

- текстовые – календарный план, список аппаратуры, оборудования и материалов, протоколы согласования работ, рецензии, выписка из протокола заседания научно-технического совета (далее – НТС), копии договоров и проектно-сметная документация на работы, выполняемые сторонними организациями.

**6.9** К проекту обязательно прилагается смета, составленная на основании действующих положений и справочников сметных норм.

**6.10** Расходы на виды работ определяются [2].

Защита проекта происходит на НТС организации-исполнителя работ и направляется на государственную геологическую экспертизу.

## 7 Организация работ

**7.1** Для производства наземных магниторазведочных работ организуются структурные подразделения - партии (отряды) - самостоятельные или входящие в состав комплексных геофизических или геологических экспедиций (партий).

**7.2** Магниторазведочная партия (отряд) укомплектовывается кадрами в соответствии с проектом и сметой. Количество работников необходимой квалификации и распределение обязанностей между ними устанавливается из объемов и характера работ в соответствии с установленными нормативами.

**7.3** Начальник магниторазведочной партии (отряда) должен до начала производства работ осуществить следующие подготовительные мероприятия:

- оформить в установленном порядке разрешительные документы на право производства наземной магнитной съемки, включающей рубку визирок на залесённых участках съёмки и возможные поправки сельхозугодий,

- сделать заявку на получение топографических карт необходимых масштабов;

- укомплектовать партию (отряд) кадрами, материалами, приборами и вспомогательным оборудованием;

- обеспечить в случаях, установленных законодательством, проведение обязательных медицинских осмотров и инструктаж исполнителей по технике безопасности.

- обеспечить ремонт, поверку и паспортизацию аппаратуры;

- отправить к месту работ транспортные средства, оборудование, снаряжение, материалы и продовольствие;

- организовать базы партии (отряда) на месте работ; обеспечить помещения для жилья, камеральных работ, обеспечить хранение горюче-смазочных материалов,

## ТКП 17.04-39-2012

оборудования и снаряжения, материалов и продовольствия;

- организовать отправку сотрудников на место работ;
- обеспечить взаимодействие с иными недропользователями (их обособленными подразделениями), ведущими работы по геологическому изучению недр в районе производства работ;
- уведомить местные исполнительные и распорядительные органы о плане намеченных работ;
- довести до сведения сотрудников партии (отряда) содержание проекта работ и избранные варианты методики выполнения съемки.

**7.4** При применении наземной магниторазведки перед началом регулярных работ рекомендуется проверка всей аппаратуры на месте работ в реальных условиях эксплуатации (магнитовариационных станций - на месте их расстановки, и т.д.). Одновременно службой времени проверяется работа вспомогательных приборов и оборудования: электростанций, средств связи и т. п.

**7.5** Служба времени. В обязанности службы времени входит синхронизация работы всех приборов, участвующих в съемке (МВС, магнитометры, GPS-навигаторы).

**7.5.1** В качестве опорного сигнала принимается время спутникового навигатора, или сигналы радио. Точность синхронизации приборов  $\pm 5$  с.

**7.5.2** Все результаты измерений должны быть приведены к белорусскому времени.

**7.5.3** Для приборов, имеющих кварцевые часы, выполняется настройка точного времени после каждого включения прибора.

**7.5.4** Для приборов, имеющих нестабилизированные отметчики времени, производится периодическая сверка с источниками точного времени через интервал, обеспечивающий заданную точность синхронизации; смещение меток времени между поверками считается линейным.

**7.5.5** В случаях, когда шкала времени определяется по часам или хронометрам, выполняется сверка всех используемых часов и хронометров по радио или GPS с интервалом, зависящим от постоянства хода часов и заданной точности синхронизации.

Частота проверок часов или отметчиков времени  $t$  (интервал контроля) должна определяться по формуле:

$$t = P / \Delta t, \quad (7.1)$$

где  $P$  - заданная точность синхронизации,  
 $\Delta t$  - ход часов или отметчика времени, с/ч.

**Пример – если точность синхронизации задана равной 10 с, а ход часов составляет 10 с/ч, то проверки нужны через интервал 1 ч.**

Учитывая, что проверки времени по радио чаще, чем 1 раз в час затруднительны, нужно применять электронные часы и отметчики времени с малым и притом линейным ходом.

**7.5.6** В каждом отряде должен быть специальный журнал, в котором регистрируются все мероприятия, относящиеся к службе времени.

**7.6** Учёт геомагнитных вариаций. При высокоточных и прецизионных съемках, а также при крупномасштабных съемках в условиях слабомагнитных пород осуществляется систематический учет вариаций.

В каждой магниторазведочной партии предусматривается организация группы, ведущей наблюдения вариаций - вариационного отряда, состоящего как минимум из трех человек при двух МВС.

Примечание – Если наземная магнитная съемка выполняется небольшим отрядом, вариационная

группа в качестве самостоятельной единицы не выделяется, а наблюдения вариаций ведутся работниками, назначаемыми из состава съемочного отряда.

Вариационный отряд обеспечивает ежедневное сменное (или круглосуточное) наблюдение вариаций с целью их исключения из полевых магнитных наблюдений.

Длительность интервала непрерывных наблюдений вариаций (рабочая смена, сутки, неделя и т. п.) определяется задачами магниторазведочной партии. Наблюдения вариаций, не имеющие прямого отношения к исправлению наблюдений со съемочными приборами и в дни простоев съемочных магнитометров, аргументируются проектным заданием. Регламент таких работ (длительность, время суток, место расположения МВС, дискретность измерений) конкретизируется в зависимости от цели наблюдений (разбраковка аномалий, изучение однородности поля вариаций, поиски аномальных эффектов над проводящим объектом и т. п.).

Работа вариационного отряда, обслуживающего наземные съемки в течение полевого сезона, делится на три этапа.

**7.6.1** На первом этапе, предшествующем разворачиванию съемочных наблюдений на выбранном участке, решаются следующие задачи:

- оценка уровня промышленных магнитных помех в районе наблюдений;
- оценка однородности поля естественных геомагнитных вариаций;
- определение количества магнитовариационных станций, необходимых для обслуживания всех съемочных приборов партии;
- выбор места для установки МВС, оборудование помещений для МВС, установка и настройка станций.

Примечание – Если промышленные магнитные помехи не обнаружены или уровень их не превышает уровня флюктуации МВС, при обычной крупномасштабной съемке со средней квадратической погрешностью более 5 нТл работы по оценке однородности поля вариаций не проводятся и наблюдения на местности обслуживаются единственной МВС.

При выполнении съемки одиночным прибором оценка уровня промышленных помех и оценка однородности поля предварительно не проводятся, а сама МВС максимально приближается к съемочному прибору (устанавливается на участке). В случае невозможности установки МВС на участке на расстоянии прямой видимости от съемочного прибора на первом этапе выполняется несколько циклов синхронных наблюдений вариаций полевым магнитометром в стационарном положении и МВС длительностью от 2 до 5 ч, обязательно в дневное время. При проведении этих сверточных циклов условия измерений вариаций обоими приборами должны быть совершенно одинаковыми (жесткая фиксация на пунктах установки, защищенность от дождя, ветра и вибрации). База (расстояние между МВС и магнитометром на участке) считается определенной правильно, если среднее квадратическое расхождение между показаниями прибора и МВС на полном цикле синхронной регистрации вариаций не превосходит удвоенного среднего квадратического отклонения результата измерения для полевого магнитометра (паспортного значения). Если результаты сверточных циклов свидетельствуют о невыполнении этого требования, станция переносится на новое место и циклы синхронного измерения вариаций повторяются.

При ведении высокоточной и прецизионной наземной съемки несколькими приборами, работающими одновременно на разных участках, обязательно изучается однородность поля вариаций на всем планшете работ. Предварительное изучение горизонтальных градиентов поля вариаций рекомендуется при съемках любой заданной точности и в любых широтах, так как это позволяет убедиться в отсутствии промышленных помех и вариационных аномалий. Если район съемки находится недалеко (до 50 км) от города, рабочего поселка или в зоне действия крупных одиночных промышленных объектов (горно-обогатительный комбинат, ГЭС, электрифицированная железнодорожная линия и т. п.), производится оценка

## ТКП 17.04-39-2012

интенсивности, градиента и размеров зоны влияния промышленных магнитных помех, а также определение времени суток, соответствующего максимальному (минимальному) уровню излучаемого поля помех. На основании собранных материалов оценивается возможность одновременного обслуживания одной магнитовариационной станцией всех съемочных приборов (всех участков). По этим же материалам выбирается также конкретный способ синхронизации отсчетов на съемочном приборе с показаниями МВС (взятие отсчетов по часам, по радиосигналу, по отмашке, взятие серии отсчетов на каждой точке профиля с целью последующего сопоставления коротких отрезков хода вариаций по характерным точкам). Учету вариаций существенно помогают густые, надежно выполненные опорные сети.

Съемки в районах, заведомо свободных от промышленных магнитных помех, как правило, не требуют столь тщательного исследования однородности поля вариаций. При отсутствии промышленных помех (которые в большинстве случаев легко опознаются на вариограмме любого элемента геомагнитного поля, т. е. как на компонентных, так и на модульных вариограммах) съемки с проектным значением средней квадратической погрешности 6-10 нТл обслуживаются одной магнитовариационной станцией на удалении участка от нее до 100 км. Область примерно одинаковых вариаций вблизи точки стояния МВС образует не круг, а прямоугольник с длинной стороной вдоль параллели. Отношение сторон прямоугольника меняется с широтой и в зависимости от спектра вариаций (в средних широтах); в исключительных случаях для указанной погрешности съемок при выходе МВС из строя допускается исправление наблюдений за вариации по данным обсерваторских наблюдений, если расстояние между участком работ и обсерваторией не более 150 км. При средней точности съемки наибольшее допустимое расстояние от вариационных станций до пунктов наземных измерений магнитного поля, составляет 100 км. В случаях высокой и прецизионной съемок, расстояния определяются только на основе экспериментального изучения пространственных градиентов  $\delta T$  на данном участке съемки, но не должны превышать 25 км.

В неосвоенных и малолюдных районах, предположительно свободных от промышленных помех, работы по изучению однородности поля вариаций обязательны в зонах сочленения крупных геологических структур и геологических разломов.

Объем работ по оценке однородности поля естественных вариаций в средних широтах при проведении высокоточных или прецизионных съемок планируется с учетом геологического строения района. Наличие в районе съемок высокопроводящих пластов и геологических тел (например, пласты с поровыми рассолами над залежами солей), зон с повышенным геотермическим градиентом, мощных залежей сильномагнитных кварцитов или титаномагнетитовых пород может обусловить возникновение аномальных эффектов (неоднородности) в поле бухтообразных и даже суточных вариаций. Градиенты КПК практически незначительны и, как правило, не учитываются. При наличии вариационных аномалий МВС выносятся за их пределы и ведут съемку в часы суток с наименьшими вариациями.

**7.6.2** На основном (втором) этапе вариационный отряд обеспечивает систематическое наблюдение и учет вариаций с целью последующего исправления результатов наземных наблюдений рабочими магнитометрами (третий этап). На втором этапе работа отряда строится с учетом:

- масштаба и задач съемок;
- географического положения (особенно широты) района съемки;
- уровня магнитной активности в год проведения работ;
- сезона года съемок;

- технических характеристик съемочных приборов и применяемых МВС.

Включение МВС на измерение и регистрацию вариаций должно на 1-2ч опережать начало съемочных операций на участке, а прекращение наблюдения за вариациями допускается только после уведомления оператора МВС об окончании работ с полевым магнитометром (если точные сроки вариационных и съемочных наблюдений не установлены заранее руководством полевой партии (отряда)).

Оператор на МВС не имеет права отлучаться от обслуживаемой МВС. Если один оператор обслуживает несколько МВС или выполняет в этот же день побочные задания, срок отсутствия оператора возле каждой МВС не должен превышать 3 ч. Отметки об отлучках или выполнении побочной работы по заданию руководителей оператор регистрирует в конце рабочего журнала одной из обслуживаемых им станций.

**7.6.3** Учет вариаций во время магнитных бурь. Если в момент непосредственного измерения вариаций имеется доступ к показаниям МВС (цифропечать, табло с цифровыми индикаторами), то в первые же часы бури начальником вариационного отряда или руководителем партии принимается решение о прекращении или продолжении работ по съемке.

Если наблюдения на участке решено продолжать, то в период протекания магнитной бури вводится предельный режим синхронизации времени МВС с часами съемочных приборов, о чем операторы на участках немедленно уведомляются по мобильному телефону, через посыльного, либо другим способом.

Предельный режим синхронизации характеризуется:

- переходом на измерительный цикл минимальной продолжительности;
- подачей внеочередных, дополнительных меток времени, обеспечивающих более точную, чем обычно, привязку измеренных вариаций во времени;
- неотлучным пребыванием оператора возле обслуживаемой МВС.

Получив сигнал о введении предельного режима синхронизации, оператор на участке:

- обеспечивает привязку рабочих отсчетов во времени с погрешностью не более 1 с;
- в случаях, когда показания прибора, неподвижно стоящего на точке, непрерывно меняются, берет серию из 4–10 отсчетов, фиксируя время их взятия с погрешностью до 1 с;
- выверяет часы съемочного прибора по контрольным сигналам времени, принятым по радио или показаниям времени спутникового навигатора.

Если МВС находится на участке в пределах прямой видимости от прибора, с которым ведется съемка, то с возникновением бури необходимо перейти на взятие отсчетов по отмашкам с пункта размещения МВС.

Наиболее жесткое соблюдение требований предельного режима синхронизации должно обеспечиваться во время начальной фазы бури.

## **8 Документирование и контроль качества полевых и камеральных работ**

**8.1** Перед началом полевого периода начальники партий (отрядов) устанавливают перечень, а также порядок оформления и прохождения полевых документов применительно к специфике выполняемых работ, в соответствии с требованиями действующих ТНПА и настоящим ТКП.

Обязательными полевыми документами являются:

- дневник начальника партии (отряда);
- аппаратный журнал;
- полевая документация вариационной службы (вариограммы, журналы оператора МВС);

## **ТКП 17.04-39-2012**

- журналы учета полевых материалов;
- расчеты погрешности съемок.

Дополнительные полевые документы:

- первичная графика по материалам наблюдений;
- материалы геологических наблюдений партии, выписки и выкопировки из геолого-геофизических отчетов;
- документация по физическим свойствам пород и полезных ископаемых.

**8.2** Оформление полевых материалов (пример оформления приведен в приложении А) должно обеспечить правильную обработку и использование полученных результатов без необходимости привлечения непосредственных исполнителей работ для пояснений и дополнений, а также обеспечить личную ответственность исполнителей за представленные ими материалы.

В связи с этим документы должны иметь все относящиеся к ним пояснительные данные, а также должны заполняться четко и единообразно и иметь подписи исполнителей.

Если часть информации размещается в запоминающем устройстве магнитометра, в журнал при этом могут вноситься в произвольной форме только дополнительные сведения, необходимые для дальнейшей обработки результатов измерений.

**8.3** Стандартные формы документации полевых и камеральных работ, изготавливаются на плотной бумаге, обеспечивающей четкость записи и долговременную сохранность документов.

**8.4** Во всех документах полевых наблюдений исполнители должны указывать те условия или изменения условий работы, которые могут сказаться на качестве результатов. Если в процессе работ запись получилась неразборчивой, исполнители расшифровывают ее и дублируют четким почерком.

**8.5** Все виды полевой документации, которые могут оказаться под воздействием влаги, должны заполняться мягким черным карандашом или черной (допускается и синей) шариковой ручкой.

**8.6** На титульном листе полевых журналов указывается адрес и наименование организации, обращение о возврате утерянного журнала по указанному адресу, сведения о виде работ и об использованной аппаратуре (тип, номер), название или номер участка, номера маршрутов, обнажений или буровых скважин, к которым относится журнал, номер журнала, дату начала и окончания записей в нем, фамилии начальника партии (отряда) и исполнителя работ. Листы журнала должны быть пронумерованы. На первой странице журнала дается перечень нестандартных условных обозначений, сокращений, терминов и определений их значений. Перед началом наблюдений каждого дня (смены) должны быть указаны дата, фамилия наблюдателя, название участка, номер маршрута (профиля), при необходимости должна быть зарисовка, схема или выкопировка из плана или карты. Перед началом работ начальник партии (отряда) записывает задание на день или на этап работ с краткими техническими указаниями, например о сети съемки. В начале и в конце наблюдений (а в случае необходимости и в процессе измерений) должно быть указано время, а также сведения о режиме работы аппаратуры и проверке ее стабильности.

К каждому журналу оформляется оглавление. В конце журнала должны быть приведены объемы работ по каждому их виду, включая объем контрольных наблюдений.

Исправления в журналах производят только путем перечеркивания тонкой чертой ошибочных записей и надписи над ними правильных, с указанием причин исправления и с подписью оператора. Подчистка данных, переделка одной цифры в другую не допускаются.

Каждый исполнитель нумерует свои журналы в хронологическом порядке. По

окончании полевых работ журналы нумеруют сквозной нумерацией всей партии (отряда).

Любые результаты автоматической и полуавтоматической регистрации на бумажных или электронных носителях должны иметь порядковый номер, дату, время начала и конца измерений, наименование пункта или участка и маршрута, номер прибора, данные градуировок и другие сведения, необходимые для обработки.

Все вынужденные перерывы регистрации данных должны быть зафиксированы с указанием причин и мер их устранения.

Топографические материалы должны отвечать требованиям соответствующих нормативно-правовых актов.

**8.7** Аппаратурный журнал ведется по форме, указанной в документации к прибору, составленной заводом-изготовителем или по произвольной форме. В нем следует фиксировать поверки и проверки аппаратуры, выходы ее из строя (с указанием причин), измерения параметров, даты и характер регламентных работ.

**8.8** Дневник начальника партии (отряда) должен отражать деятельность подразделения. Для каждого дня полевого периода в нем отражаются выполненные работы, их исполнители, организационные мероприятия.

**8.9** Журнал регистрации полевых материалов должен фиксировать поступление, качество, количество и взаимосвязь дополняющих друг друга документов (например, наличие полевых журналов или автоматических записей магнитного поля вдоль съемочных маршрутов, и соответствующих им вариаций с указанием номеров приборов и даты выполнения работ). Эти записи следует ежедневно переносить из памяти приборов в компьютер с созданием резервных копий на внешних запоминающих устройствах.

**8.10** Первичная графика результатов полевых измерений должна быть ориентирована по сторонам света (карты, схемы), оформлена с указанием даты, участка, номеров точек наблюдений и профилей (маршрутов), типа и номера съемочного прибора, масштаба изображения, использованных условных обозначений и подписана составителями (геофизиками, топографами, геодезистами) и руководителем работ. На графиках и картах должны быть указаны полевые журналы или адреса автоматических записей, которые использованы при составлении данного графического материала.

**8.11** Начальники экспедиций (партий, отрядов), уполномоченные ими лица систематически осуществляют внутренний контроль качества всех видов работ на каждом этапе полевых работ и оформление полевых и камеральных материалов. Контроль качества осуществляется путем просмотра документации, а также с помощью выборочных контрольных измерений, расчетов, построений и другими подобными способами. Постоянно контролируется соответствие работ проекту и правилам данного ТКП. Материалы оценивают по четырехбалльной системе. Результаты контроля регистрируют в журнале проверки качества работ, который оформляется и заполняется в произвольной форме и служит основой для активирования или выбраковки результатов. Журнал хранится у руководителя подразделения.

По окончании полевых работ комиссия, назначенная приказом руководителя предприятия (экспедиции), в состав которой входит руководитель подразделения выполнявшего работы, принимает полевые материалы по акту и дает им дифференцированную и общую оценку в присутствии исполнителей. Помимо полевых материалов и их описи комиссии предъявляются проект (программа работ) и другие документы и справки по ее требованию.

Принимая и оценивая материалы комиссия учитывает:

– полноту и качество решения поставленных перед партией (отрядом) задач, соответствие фактически выполненных видов и объемов работ, предусмотренным в

## **ТКП 17.04-39-2012**

проекте;

– качество первичных полевых материалов (при этом оценивается качество ведения полевой документации в соответствии с требованиями данного ТКП, правильность методики полевых наблюдений (соответствие проекту и ТКП), объем контрольных определений и погрешность измерений, контроль состояния аппаратуры, состояние систематического контроля полевых материалов руководством партии (отряда) в течение полевого сезона);

- геологическую и экономическую эффективность работ;
- своевременность и качество обработки полевых материалов;
- работы, выполненные партией сверх программы.

**8.12** После защиты окончательного отчета полевые материалы и результаты камеральных работ передаются в установленном порядке на хранение в архивы предприятия выполнявшего съемку. Хранению подлежат перечисленные ниже документы:

- журналы регистрации полевых документов;
- диски файлов регистрации магнитного поля;
- каталог данных количественной интерпретации;
- первичные материалы по измерению вариаций и результаты их обработки (вариограммы, файлы на электронных носителях и др.);
- материалы по поверкам и градуировкам приборов;
- материалы топогеодезического обеспечения работ.

Кроме перечисленных документов хранению подлежат и другие материалы полевых и камеральных работ, необходимые для обеспечения возможности полной повторной переработки результатов съемки.

## **9 Оформление материалов окончательного отчета**

**9.1** Результаты полевых и камеральных работ партии (отряда) оформляются в виде окончательного отчёта, который состоит из текста объемом не более 150 печатных листов, графических и текстовых приложений и включает следующие разделы:

- введение;
- глава I Краткая геолого-геофизическая характеристика района работ;
- глава II Методика и техника полевых работ;
- глава III Техничко-экономические показатели;
- глава IV Машинная обработка и интерпретация материалов геофизических работ;
- глава V Результаты работ;
- заключение;
- библиография.

**9.2** Во введении указываются:

- географическое и административное положение района работ;
- геологические задачи, обоснование постановки геофизических исследований и выбора методов решения поставленных задач, изменения задания и отклонения от проекта;
- объем работ (плановый и фактический) в физическом и денежном выражении (в табличной форме);
- основные сведения по организации работ, о сроках работ по периодам.

Текст иллюстрируется обзорной картой с выделением на ней площади работ.

**9.3** В главе "Краткая геолого-геофизическая характеристика района работ" содержатся:

- сведения об условиях проведения полевых работ (орогидрография, заболоченность, рельеф, климатические особенности), категории местности,

геолого-геофизической изученности района с критической оценкой предшествующих работ (перечень выполненных ранее работ рекомендуется давать в виде таблиц и схем);

- краткая характеристика геологического строения района по результатам предшествующих исследований с указанием физических свойств пород применительно к методу геофизических исследований;

- краткие сведения о полезных ископаемых и рудопроявлениях, являющихся объектом исследований.

Если работы производились на нескольких участках, в данной главе помимо общей характеристики приводится описание особенностей геологического строения и другие сведения для каждого участка (группы участков).

При составлении отчета по работам, проводимым на данном участке или являющимся продолжением работ предыдущего года, условия проведения полевых работ излагаются предельно кратко со ссылкой на предыдущие работы.

#### **9.4 Глава "Методика и техника полевых работ" содержит:**

- сведения о задачах полевых работ, изменениях проекта в процессе работ и обоснование этих изменений, сведения об опытных работах (условиях опытов, методических и технических результатах, рекомендациях по проведению работ);

- информацию о методике проведенных полевых работ (расположении профилей, точек наблюдения, глубины скважины);

- сведения об аппаратуре, метрологическом обеспечении и точности измерений, методике и обосновании введения поправок;

- сведения об особенностях проведения подсобных работ, организации буровых и взрывных работ в соответствии с ТКП 45-4.01-199-2010;

- сведения о проведенных геодезических работах (обеспеченности картами, их масштабе, геодезической привязке точек наблюдений, определении превышений, закреплении точек на местности), объеме выполненных работ, их качестве, точности и сроках выполнения, примененной системе определения координат.

При характеристике работ по отдельным методам следует руководствоваться требованиями технических нормативных правовых актов.

#### **9.5 В главе "Технико-экономические показатели" содержатся:**

- сведения о выполнении плана работ и норм выработки;

- сведения о численности;

- сведения о балансе рабочего времени, производительности труда, выполнении месячных заданий;

- сведения о расходе взрывчатых материалов, сметной и фактической стоимости работ, в том числе единицы геофизических, буровых, геодезических и других работ.

Технико-экономические показатели приводятся в табличной форме.

#### **9.6 В главе "Машинная обработка и интерпретация материалов геофизических работ" содержатся:**

- характеристика первичных материалов;

- таблицы сходимости контрольных наблюдений;

- информация о методике интерпретации (введении поправок, выборе нормального поля, способах определения параметров, построении разрезов, составлении карт);

- оценка точности определения параметров, глубины залегания опорных границ и построения результативных карт (физических полей, геологических, структурных, тектонических), схем, графиков, разрезов.

Методика машинной обработки и интерпретации излагается подробно в случае, если она отличается от установленной в действующих нормативных документах.

#### **9.7 В главе "Результаты работ" отражаются:**

- результаты работ и степень решения геологических задач;

- дается сравнение и увязка полученных результатов с данными геологических,

## **ТКП 17.04-39-2012**

геохимических, дистанционных, буровых и геофизических работ другими методами, проведенных на участке исследования;

- результаты комплексной интерпретации материалов;
- анализ и геологическая трактовка полученных результатов (установление общих и частных закономерностей в поведении наблюдаемых полей по району, участкам, планшетам, выявление связи особенностей полей с геологическими факторами, описание строения района (участка) исследований по данным проведенных работ);
- дается оценка примененной методики и полноты исследований в свете полученных данных и сопоставления с материалами исследований предыдущих лет.

**9.8** В заключении содержатся:

- оценка степени изученности отдельных объектов;
- перспективы выявленных рудопроявлений и нефтегазоносных структур, а также площадей, представляющих интерес для поисков других полезных ископаемых;
- задачи и направление дальнейших разведочных работ;
- отмечается необходимость расширения площади исследований, детализации или доразведки отдельных участков (с указанием рекомендуемого метода), постановки бурения (с указанием точек заложения первоочередных буровых скважин) и проходки горных выработок.

**9.9** В библиографии приводится список использованной литературы и фондовых материалов.

**9.10** К отчету прилагаются следующие графические и текстовые материалы:

- каталог координат и высот закрепленных пунктов, концов и характерных точек профилей;
- кроки и координаты опорных гравиметрических и магнитных пунктов;
- схема теодолитных ходов;
- схема нивелировочных ходов;
- сводный стратиграфический разрез с указанием литологического состава пород и каротажной диаграммой, геологическая карта района с планом расположения профилей и точек наблюдений;
- структурные карты (или схемы) строения по основным горизонтам, карты физических полей и карты результатов комплексной интерпретации;
- сейсмические и сейсмогеологические профили при необходимости карты пластовых и средних скоростей и другие материалы;
- геолого-геофизические разрезы.

## **10 Графическое представление результатов работ в окончательных отчетах**

**10.1** Основной и обязательной формой графического представления результатов работ (площадных и маршрутных магнитных съемок) в окончательных отчетах являются карты графиков, представляющих фактический материал съёмки, и карт изолиний аномального магнитного поля. Карты изолиний не могут быть заменены другими видами изображения аномального поля, его трансформант, или полных значений измеряемой компоненты. Прилагаемые к отчетам карты графиков и изолиний должны отражать всю информацию о магнитном поле, полученную при площадной съемке участка; запрещается представлять неполные карты графиков, например с пропуском каждого второго графика, а также карты изолиний, соответствующие таким неполным исходным данным, т.е. отражать фактический материал не в полном объеме. Кроме этого в отчетах могут быть другие карты и графики магнитного поля и карты результатов его геологической интерпретации, если они упоминаются в отчете и дополняют или иллюстрируют его текст (например,

карты и графики полных значений  $T$ , карты и графики различных трансформант поля, карты изоглубин возмущающих тел, цифровые карты).

Нулевой уровень карт графиков и соответствующих им карт изолиний должен быть одинаков.

На картах магнитного поля основного масштаба должны быть показаны границы детализационных съемок, линии наблюдений и расчетных маршрутов. Соответствующие им карты или графики представляются в виде самостоятельных приложений к отчетам.

**10.2** Оформление карт магнитного поля в окончательных отчетах полевых партий (отрядов) и карт магнитного поля, предназначенных к изданию, должно быть унифицировано. При подготовке к изданию карт аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> масштабов 1:50000 и 1:25000 оформление карт выполняется в соответствии с [6]. Во всех остальных случаях необходимо исходить из требований настоящего ТКП.

**10.3** При составлении графиков для альбомов крупномасштабных графиков разрешается укрупнение их горизонтального масштаба в сравнении с масштабом отчетной карты, но он должен быть кратным ему. То же допускается для графиков детальных, повысотных и расчетных маршрутов, а также при специальных построениях, предназначенных для количественной интерпретации аномалий.

Вертикальный масштаб графиков выбирается в зависимости от интенсивности и характера поля, но не должен быть крупнее чем 1 мм =  $m_1$ , где  $m_1$  - средняя квадратическая погрешность съемки.

Более крупный вертикальный масштаб разрешается при изучении слабых аномалий с амплитудой, близкой к погрешности съемки, если они коррелируются между профилями; такие построения обычно целесообразны только для участков спокойного, слабо меняющегося поля в областях развития осадочных пород.

При построении карт графиков вертикальный масштаб последних должен обеспечить четкое представление о характере поля вдоль профилей и корреляции полей между профилями. Недопустимо сложное, «нечитаемое» пересечение графиков. В пределах участка (планшета) вертикальный масштаб графиков должен быть одинаковым; если характер поля таков, что это невозможно или нецелесообразно, то составляются врезки для отдельных участков в более крупном или более мелком масштабе (в зависимости от конкретных условий). На карту графиков обязательно наносят опорные и секущие профили.

Нулевой линией на картах графиков являются линии профилей, установленные по данным GPS-привязки. В точках, где изменяется направление профилей, линии самих графиков должны иметь разрывы. Искусственное спрямление профилей не допускается.

Альбомы графиков строятся в виде «карт графиков неравномерного масштаба». При этом сохраняется взаимное расположение концов профилей, а расстояния между профилями, снятые с карты, увеличивают в несколько раз, чтобы уменьшить взаимные наложения соседних графиков – рисунок 1.

**10.4** Составление карт изолиний магнитного поля необходимо руководствоваться нижеследующими рекомендациями:

– интервал между изолиниями должен обеспечить хорошую читаемость карты; он выбирается с учетом интенсивности аномальных полей и характера искомых возмущающих объектов. Изолинии можно проводить через прогрессивно возрастающие интервалы. Минимальный допустимый интервал основных изолиний равен  $2,5 m_1$ ;

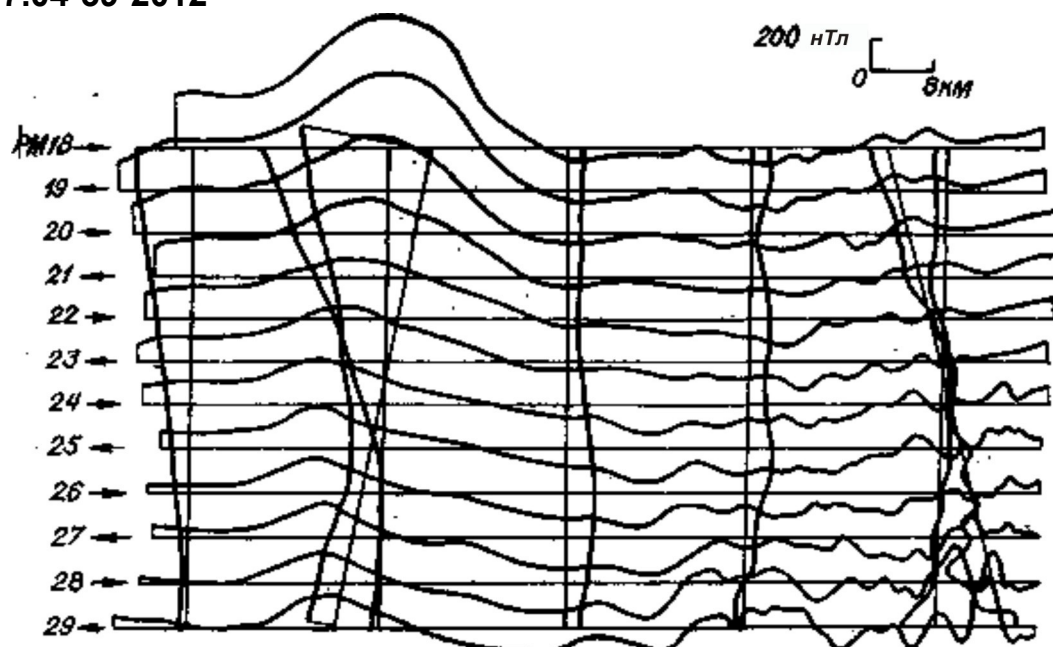


Рисунок 1 – Лист альбома крупномасштабных графиков  $\Delta T$  (фрагмент карты), где масштаб расстояний в направлении, перпендикулярном к профилям, увеличен в 5 раз

– разрешается проводить промежуточные (дополнительные) изолинии;  
 – положение изолиний на линиях профилей определяется по графикам магнитного поля. Построение изолиний в интервалах между профилями выполняется на основе линейной интерполяции в перпендикулярном к профилям направлении. Если такое направление интерполяции не соответствует взаимной ориентировке профилей и аномалий, то допускается интерполяция и под острым углом к профилям. Правильное направление интерполяции могут подсказать характерные признаки смещенные на соседних профилях аномалии, данные о простирации пород и результаты детализации. В пределах одного планшета (участка) допускается не более двух - трех различных направлений интерполяции, причем такие отступления от стандартных правил построения карт должны быть указаны в отчете и мотивированы. В сложных полях до построения изолиний намечают оси аномалий; для большей надежности при выполнении этой операции можно применять приемы корреляционного анализа.

Сглаживание первичных построенных по указанным правилам изолиний разрешается в пределах средней квадратической погрешности съемки.

При наличии аномалий с большим горизонтальным градиентом в узких контурах (в поперечнике менее 2 мм) изолинии не проводят, но указывают экстремальные значения поля; очень узкие вытянутые аномалии наносят в виде осей.

Если представляется не раскрашенный вариант карты изолиний, то для улучшения ее читаемости показывается направление убывания поля с помощью штрихов, аналогичных бергштрихам на топографических картах.

Если карты изолиний  $\Delta T$  построены по материалам, которые исправлены на нормальный градиент по картам нормального магнитного поля  $T_n$ , на карты наносится не менее двух изолиний нормального поля с указанием организационно-составителя карты  $T_n$  и соответствующей эпохи. То же проделывается на всех картах ( $\Delta T$ )<sub>а</sub>. Если изолинии  $T_n$  нанести сложно (слишком мал участок), значения  $T_n$  указывают по углам планшета в виде цифр. В зарамочном оформлении указываются принятые значения векового хода и ссылки на материалы, из которых они получены.

В случаях построения карт изолиний программными методами (Surfer, Geosoft и др.), изложенные выше требования и рекомендации используются для оценки качества пробных построений при выборе оптимальных параметров

соответствующей обработки цифрового материала.

**10.5** Указанные в пункте 9.1 данного ТКП карты аномального магнитного поля не обязательно должны строиться так, чтобы их нулевые изолинии или нулевые (отсчетные) уровни их графиков соответствовали уровню нормального поля. Если при этом карта неудобна для интерпретации, так как значения  $(\Delta T)_a$  целиком оказываются положительными или отрицательными, то нулевой (отсчетный) уровень карт нужно изменить так, чтобы на графиках поля нулевые линии отсекали по обе стороны примерно равные площади. Карты магнитного поля при таком выборе отсчетного уровня изображают аномалии относительно среднего поля участка и, следовательно, имеют четкий геолого-геофизический смысл.

Если такая корректировка необходима, то ее осуществляют только путем параллельного перемещения нулевой линии относительно первоначальной на отрезок, кратный выбранному интервалу изолиний. Смещение нулевой линии должно быть зафиксировано в зарамочном оформлении карты. Необходимость такой корректировки нулевого уровня в каждом конкретном случае определяется руководством партии (отряда), отмечается и мотивируется в отчете. Такое изменение отсчетного уровня допустимо только, если карта охватывает территорию, не превышающую площади листа топографической карты масштаба 1:1000000.

**10.6** При построении и использовании вспомогательных графических материалов учитывается нижеследующее.

**10.6.1** Карты трансформаций поля должны строиться на основе мотивированных суждений о выборе радиуса осреднения, высоты пересчета, целесообразности и корректности вычисления градиента измеренного элемента поля и т. П. Соответствующие мотивировки должны быть изложены в отчете.

**10.6.2** Особенности карт горизонтальных или вертикальных градиентов поля:

- для интерпретаторов они дают более четко границы геологических тел;
- такие карты свободны от линейного фона (влияния крупных региональных аномалий и нормального градиента);
- графики градиентов поля, не теряя информативности, меньше перекрещиваются на картах, чем графики  $\Delta T$  или  $(\Delta T)_a$ .

**10.6.3** Правила построения карт остаточных аномалий:

- при их построении исключаются погрешности увязки, влияние неучтенных длиннопериодных вариаций;
- в зависимости от выбора радиуса осреднения карты позволяют выделить аномалии с различными спектральными характеристиками, что важно, например, при районировании по характеру магнитного поля;
- остаточные аномалии зависят не только от радиуса осреднения и геологического строения района работ, но и от того, как выполнялась съемка поэтому надежный геологический анализ таких карт для целей геологического районирования возможен только в том случае, когда исходные материалы получены в одинаковых условиях (сопоставимы).

**10.6.4** Радиус осреднения выбирается как на основе спектрального анализа магнитных полей, так и последовательных пробных построений с привлечением опорных геологических данных (разрезов, карт).

К картам графиков остаточных аномалий должны прилагаться построенные в том же масштабе карты графиков соответствующего им осредненного поля, которые могут содержать полезную геологическую информацию о крупных объектах и общих закономерностях строения участка.

**10.6.5** Карты региональных аномалий независимо от способа их получения существенно зависят от увязки исходного материала магнитных измерений; поэтому до построения таких карт нужно проверять увязку и оценивать возможное влияние соответствующих погрешностей.

**10.6.6** Пересчеты магнитного поля в верхнее или нижнее полупространство

## **ТКП 17.04-39-2012**

ненадежны, если плотность сети наблюдений не соответствует сложности магнитного поля (сеть слишком редка), а также в краевых частях участков съемки.

**10.6.7** Карты изоглубин возмущающих тел строят на основе линейной интерполяции. В зарамочном оформлении помимо обычных данных следует указать использованный способ интерпретации и привести картограмму района, позволяющую судить о масштабах и точностях съемки по отдельным участкам. Интервал стратоизогипс выбирается с учетом ожидаемой погрешности расчетов глубин, амплитуды колебаний погребенного рельефа и его сложности. Помимо стратоизогипс на карту должны быть нанесены точки, для которых выполнены расчеты, и полученные глубины.

При построении таких карт отдельные «выскочившие» точки (в которых глубины возмущающих тел резко отличаются от соседних) не принимаются во внимание. При большом количестве таких точек нужно проверить, не отражают ли они глубину второго горизонта (при многоярусном строении района).

**10.6.8** В зарамочном оформлении любых карт магнитного поля должны быть линейный и численный масштаб расстояний, вертикальный масштаб графиков (на картах графиков), сведения об интервале изолиний (на картах изолиний) и условные обозначения, позволяющие понять все изображенное на карте. На картах, состоящих из нескольких листов, приводится схема их взаимного расположения. Если карта составлена по материалам различной точности, разных лет или разных исполнителей, следует привести мелкомасштабную схему исходных материалов с соответствующими указаниями. Обязательны подписи составителей и контролирующих лиц. В заголовке указывается, что именно изображено на карте, название района (региона, участка) или номенклатура планшета, наименование министерства, департамента, предприятия, экспедиции и партии (если карта составлена в результате работ одной партии и приводится в ее отчете).

Любые графики (идушие в отчет или построенные на миллиметровке) должны иметь вертикальный и горизонтальный масштаб, содержательные заголовки и подписи исполнителей и контролирующих лиц, а при использовании условных обозначений - соответствующую легенду.

Раскраска карт и графиков магнитного поля выполняется гаммой оттенков красного и синего цвета; допустима замена на комбинацию коричневого и зеленого цветов. Области «нормального» (близкого к нулевому значению) поля на картах изолиний в обоих случаях разрешается закрашивать желтым цветом, если это существенно повышает наглядность материала.

Компьютерное оформление результатов полевых измерений должно обеспечивать выполнение всех требований настоящего раздела.

## **11 Правила проведения наземной магнитной съемки**

### **11.1 Масштабы, густота сети наблюдений и точность съемок**

**11.1.1** Наземные магнитные съемки различаются по:

- способам подготовки и расположению точек наблюдений на местности;
- масштабам;
- точности;
- измеряемым характеристикам геомагнитного поля;
- способу транспортировки съемочного прибора в процессе измерений на

местности;

- геологическому назначению.

**11.1.1.1** По способам подготовки и расположению точек (пунктов) наблюдений на местности съемки подразделяются на площадные и маршрутные. Площадные съемки выполняются по профилям предварительно разбитой сети наблюдений

(геодезическими средствами или полуинструментально). Маршрутные съемки имеют сугубо вспомогательное значение, определяемое конкретной геологической задачей, и выполняются, как правило, без тщательной привязки измерений на местности и с невысокой точностью.

**11.1.1.2** Масштаб  $M$  площадной наземной съемки определяется расстоянием между профилями наблюдений и не зависит от точности съемки. Если  $a$  - расстояние между профилями, выраженное в сантиметрах, то

$$M = 1/a \quad (11.1)$$

Для каждого масштаба установлены пределы допустимых расстояний между точками наблюдений на рабочих профилях (таблица 3); масштаб отчетных карт обычно соответствует масштабу съемки; при этом межпрофильное расстояние укладывается в 1 см карты.

**Таблица 3 – Классификация наземных магнитных съемок по масштабу**

Масштаб съемки	Категория масштаба	Расстояние между профилями, м	Расстояние между точками наблюдений, м
1:100 000	Средний	1000	100–200
1:50 000	Крупный	500	50–100
1:25 000	-"-	250	20–50
1:10 000	-"-	100	10–25
1:5 000	-"-	50	5–20
1:2 000	-"-	20	5-10
1:1 000	-"-	10	2–5

**11.1.1.3** Разделение наземных магнитных съемок по точности производится по значению погрешности показаний съемочного прибора и значению среднего квадратического отклонения результатов измерений поля, вычисленного по разностям прямых и повторных (контрольных) измерений на профиле (таблица 4).

**Таблица 4 - Классификация наземных съемок по точности**

Точность съемки	Предельная погрешность показаний прибора, нТл	Средняя квадратическая погрешность по разностям прямых и повторных наблюдений на профиле, нТл	Сечение изолиний магнитных карт, нТл
Пониженная	15–20	>15	100, 250
Средняя	10	5–15	20, 50, 100
Высокая	5	<5	10, 20

Примечание – На практике дополнительно выделяют съемки со средней квадратической погрешностью не более 1 нТл, которые принято именовать прецизионными.

**11.1.4** Наземные съемки делятся на съемки абсолютных значений (под абсолютными здесь понимаются полные мгновенные значения соответствующих элементов геомагнитного поля) и съемки приращений элементов земного магнетизма –  $\Delta Z$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta D$ ,  $\Delta T$ , отсчитываемых относительно условного нулевого уровня. Непосредственно для геологического истолкования результатов съемок абсолютные значения не обязательны.

## **ТКП 17.04-39-2012**

**11.1.1.5** По способу транспортировки измерительного прибора наземные магнитные съемки делятся на пешеходные, автомобильные и авиадесантные.

**11.1.1.6** По геологическому назначению выделяют съемки:

– картировочно-поисковые наземные магнитные съемки проводятся для решения задач крупномасштабного геологического картирования – выявления магнитных пород, в частности интрузий и эффузивов, областей скарнирования и контактовых изменений, тектонических структур, областей проявления гидротермальных процессов, а также для прямых и косвенных поисков рудных месторождений. Поскольку косвенные поиски основаны на выявлении рудоконтролирующих факторов, противопоставление картировочных и поисковых задач недопустимо. Картировочно-поисковые магнитные съемки ведутся в масштабах 1:50 000, 1:25 000 и 1:10 000 обычно при средней точности;

– поисково-разведочные магнитные съемки проводятся для выявления рудных тел и детального изучения геологических границ и рудоконтролирующих факторов на относительно небольших участках (до 10 км<sup>2</sup>), а также при выяснении масштабов оруденения, положения, размеров и формы рудных тел с целью получения исходных данных для проектирования горных и буровых разведочных работ. Выполняются в масштабах 1:10000, 1:5000 и 1:2000 при обеспечении средней и высокой точности;

– разведочные (детализационные) съемки имеют целью выявление небольших или слабомагнитных геологических объектов, уточнение структуры рудного поля по характеру аномалий, уточнение глубины и элементов залегания искоемых тел, ориентировочный подсчет запасов разведываемого минерального сырья. Выполняются в масштабах 1:5000 и крупнее; точность, как правило, высокая;

– к съемкам специального назначения относятся микромагнитная съемка, измерения градиентов магнитного поля, наблюдения на интерпретационных профилях и специальные исследования на участках аномального поля (метод подмагничивания и др.). Такие съемки прецизионного класса точности проводятся в масштабе 1:1 000 и крупнее по специально рассчитанной сети.

**11.1.2** Мелкомасштабные съемки должны предшествовать работам более крупного масштаба. Переход от мелкого к более крупному масштабу осуществляется, как правило, с соотношением 1:4 или 1:5. Это требование не распространяется на прецизионные съемки специального назначения, которые выполняются только в крупных масштабах.

## **11.2 Топографо-геодезическое обеспечение**

**11.2.1** Все виды топографо-геодезических работ выполняются на основе утвержденного технического проекта (топографо-геодезического раздела геофизических работ). Последний составляется на основе геологического задания. Геодезическая и топографическая основы создаются специализированными подразделениями.

Пункты государственной геодезической сети, геодезических сетей сгущения и съемочных сетей, закрепленные на местности постоянными (долговременными) центрами, предназначаются для разбивочных и привязочных работ, а также для планового и высотного обоснования топографических съемок.

**11.2.2** Топографическую основу геологоразведочных работ составляют топографические карты и крупномасштабные планы. Она предназначается для проектирования съемочных работ, съемки, составления карт и подсчета запасов полезных ископаемых. Пункты опорной геодезической основы (сетки), используемые при составлении геолого-геофизических карт, наносятся на топографическую основу.

**11.2.3** Система координат, в которой создаются геодезическая и топографические основы, регламентируется соответствующими нормативными

документами и согласовывается с органами Государственного геодезического надзора.

Главной геодезической основой геологоразведочных работ являются государственные геодезические сети (триангуляция и полигонометрия 1, 2, 3 и 4 классов, нивелирование I, II, III и IV классов), создаваемые РУП «Белгеодезия». Исходными пунктами для создания геодезической основы разведочных, а также поисковых и поисково-разведочных работ в масштабах 1:10000 и крупнее являются пункты геодезических сетей сгущения (триангуляция и полигонометрия 1 и 2 разрядов, техническое нивелирование), развиваемых в необходимых случаях в дополнение к государственной геодезической сети. Геодезические сети сгущения развиваются от пунктов высших классов (разрядов) путем вставки отдельных пунктов, фигур, систем треугольников или полигонов. В качестве примера создания геодезических сетей можно использовать [5].

**11.2.4** Исходным материалом для создания топографических основ при поисковых и поисково-разведочных работах масштабов 1:10 000 и мельче служат государственные топографические карты масштабов 1:10 000 и мельче. При съемках в масштабе 1:5 000 и крупнее (исключая поиски и разведку месторождений углеводородов) топографические основы создаются следующими методами:

- составления;
- специализированной топографической съемки;
- обновления существующих карт и планов.

**11.2.5** При геологосъемочных, поисковых и поисково-разведочных работах (исключая поиски и разведку месторождений углеводородов) масштаб топографической основы должен соответствовать масштабу отчетной карты. При предварительной и детальной разведках масштаб топоосновы определяется по таблице 5.

**Таблица 5 – Определение масштаба топографической основы**

Стадия геологических работ	Масштабы топографических основ
Предварительная разведка	1:10 000-1:5000
Детальная разведка месторождений:	
металлических полезных ископаемых	1:10 000-1:1000
карбонатных пород, фосфоритов, песка и гравия	1:25 000-1:5000
солей	1:25 000-1:10 000
углей и горючих сланцев	1:10 000-1:2000
подземных вод (пресных, минеральных, термальных, промышленных)	1: 10 000-1:5000
прочих неметаллических полезных ископаемых	1:10 000-1:5000

При поисках и разведке месторождений углеводородов (исключая эксплуатационные площади) применяются топографические основы масштабов 1:100 000 – 1:25 000 в платформенных областях и 1:25 000 – 1:10 000 в складчатых и солянокупольных областях. Крупномасштабные (1:5 000 и крупнее) топографические съемки выполняются только при достаточном техническом обосновании необходимости проведения этих работ.

Сечение рельефа для топографической основы масштаба 1:10 000 применяется то же, что и для государственных топографических карт этого масштаба. Для топографических основ масштаба 1:5 000 и крупнее применяются сечения рельефа, указанные в таблице 6.

Таблица 6 – Сечения рельефа (м) для топографических основ масштаба 1:5 000 и крупнее

Характеристика рельефа участка съемки	Масштаб топографической основы		
	1:5000	1:2000	1:1000
Равнинный и всхолмленный с углами наклона до 4°	2	2; 1	1
Пересеченный с углами наклона до 6°	2; 5	2	1

**11.2.6** Топографо-геодезическое обеспечение наземных магниторазведочных работ предусматривает:

- подбор и получение топографических карт и планов района проведения магнитных съемок, координат геодезических знаков и триангуляционных пунктов и других топографо-геодезических материалов;

- проведение топографо-геодезических работ по разбивке на местности и привязке к местности и карте рабочих профилей и маршрутов, а также по привязке и закреплению выявленных перспективных аномальных зон или разведанных геологических объектов;

- оформление результатов топографо-геодезических работ. Топографические карты, используемые при съемках среднего и крупного масштаба (1:100 000-1:5 000) должны удовлетворять следующим дополнительным условиям:

- для плановой привязки масштаб рабочей карты должен быть таким же, как и масштаб отчетной карты, а по возможности - и крупнее его;

- для определения высот карта должна быть высококачественной, что устанавливается инструментальной выборочной проверкой на местности в процессе работ, а уровень, к которому отнесены высотные отметки, помещенные на карте, должен быть известен;

- предельная погрешность положения горизонталей на карте должна быть менее  $\frac{2}{3}$  предельной допустимой погрешности определения высоты пунктов наблюдений, установленной в магниторазведочной части проекта работ.

Съемки масштаба 1:1 000 и крупнее (съемки специального назначения) проводятся при наличии близкой по масштабу топографической карты района, например 1:5 000 или 1:10 000. В отдельных случаях, особо оговариваемых в проекте, съемки специального назначения проводятся и при наличии более мелкой топографической основы.

**11.2.7** Топографо-геодезические работы непосредственно при наземных магнитных съемках включают в себя:

- разбивку профилей и пунктов наблюдений на местности;

- разбивку магистралей;

- закрепление пунктов наблюдений на местности;

- нивелировку поверхности вдоль профиля или вокруг пунктов наблюдения - для учета влияния рельефа (в основном при прецизионных съемках);

- определение координат и (в редких случаях) высот пунктов наблюдений; привязку участка съемки к ближайшим пунктам государственной геодезической сети или другим геодезическим пунктам;

- закрепление выявленных в результате съемки перспективных аномальных зон.

Высоты пунктов наблюдений определяются при съемках профилей со значительными перепадами высот между концом и началом профиля или между точками наблюдений, при съемках профилей, на которых намечено произвести количественные расчеты, для учета вертикального градиента, а также для построения геологических разрезов. Учет влияния рельефа при исправлении

результатов наблюдений магнитного поля также требует определения высот пунктов наблюдения.

**11.2.8** Топографо-геодезические работы, предусмотренные проектом магниторазведочной партии, в зависимости от их объема и сложности выполняются специальными топографо-геодезическими партиями, а также топографическими отрядами и бригадами при геофизических партиях. Простейшие топографические работы (задание профилей простым угломерным прибором, разбивка их с помощью мерной ленты или размеченного провода, измерение углов на местности и некоторые другие при съемках на местности от первой до третьей категории сложности или при пониженных требованиях к точности топографических работ, или при некоторых опытных съемках, когда проект работ не требует составления отчетной карты по результатам съемок) могут вестись силами самих магниторазведочных партий и отрядов.

При одновременном выполнении на одном и том же участке комплекса геолого-геофизических работ разбивается единая топографо-геодезическая сеть.

Ориентировка съемочных профилей задается проектом с учетом геологического строения участка, рельефа и задачи съемки. Съемочные профили прокладывают перпендикулярно к магистрали. Магистральные линии задают параллельно простиранию пород и аномалий. Если пункты наблюдений на магистрали не используются в качестве опорных точек, допускается непосредственное совпадение магистралей с осями аномалий. Если отдельные магистральные пункты являются пунктами опорной сети, то расположение их в аномальном поле с существенными вертикальными и горизонтальными градиентами недопустимо. В зависимости от условий работ и размеров участка, а также от принятой системы увязки наблюдений закрепляются одна (центральная) магистраль, две (краевые - по концам профилей) или большее количество магистралей. При разбивке магистральных линий через определенные интервалы, предусмотренные проектом, ставятся столбы с надписями номеров будущих профилей.

Точки наблюдений (пикеты) нумеруются. При единственной магистрали на участке пикетам, находящимся на магистрали, присваиваются нулевые номера. По одну сторону магистрали все пикеты получают номера без знака, по другую - со знаком минус. Номер, присваиваемый пикету – это число, показывающее удаление пикета от магистрали в сотнях метров.

***Пример – пикет с номером 7.5 находится на расстоянии 750 м от магистрали.***

Такой порядок нумерации удобен при сгущении наблюдений или детализации аномалий. При нескольких магистралях на участке съемки нулевые номера получают пикеты центральной магистрали. В случае необходимости наращивания участков или при большем трех числе магистралей допускается иная система нумерации точек и самих магистралей.

Точки разбитой на местности сети наблюдений закрепляются колышками, на которых простым карандашом четко надписываются номер профиля и номер пункта наблюдений. В отличие от системы нумерации точек наблюдений на профилях сами профили нумеруются порядковыми номерами.

В густонаселенной местности, где наличие многочисленных колышков может мешать движению транспорта или проведению сельскохозяйственных работ, пункты наблюдений отмечаются накопками, а возле накопок производится расчистка для удобства их обнаружения при съемке. Колышки с надписями ставятся на каждой пятой (или каждой десятой) накопке. На магистральных линиях все пункты отмечаются колышками.

Пункты наблюдений при площадной съемке располагаются по прямолинейным профилям. Отдельные пункты могут быть перемещены по профилю или сдвинуты

## ТКП 17.04-39-2012

вбок с линии профиля, что должно быть отражено в пикетном журнале. Отклонение профилей от прямолинейности и смещение отдельных точек допускается в следующих случаях, когда необходимо:

- избежать участков, неблагоприятных для проведения наблюдений (болота, карьеры, скальные выступы);
- избежать излишних потрав посевов или не предусмотренной проектом рубки просек;
- обойти здания (или другие строения), оказавшиеся на линии профиля;
- совместить профили наблюдений с профилями ранее выполненных работ или с профилями других геофизических методов разведки.

Допустимые отклонения действительных съемочных линий и пунктов наблюдений от проектных приведены в таблице 7, характеризующей погрешности определения координат геофизических наблюдений относительно исходных пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения.

**Таблица 7 – Требования к топографо-геодезическому обоснованию пунктов наблюдений при наземной магнитной съемке**

Масштаб	Средние квадратические погрешности положения начальной и конечной точек профиля относительно исходных, м	Допустимое боковое смещение профиля от заданного на 1 км
1:50 000	40	0,5
1:25 000	20	0,5
1:10 000	8	0,2
1:5000	4	0,1
1:2000	1,6	0,1
1:1000	0,8	0,1

Примечания 1 Исходными для расчетных погрешностей, приведенных в таблице, служат пункты государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения.  
2 Допустимое отклонение в расстоянии между точками по профилю при всех масштабах съемки равно 0,01.

Плановое положение точек маршрутной магнитной съемки определяется со средней квадратической погрешностью 0,8 мм в масштабе отчетной карты. Высоты точек магнитных наблюдений определяются согласно проекту работ.

Длина профилей между соседними магистралями при проведении съемок в масштабах 1:50 000 и 1:25 000 не должна превышать 3 км, а при съемках масштаба 1:10 000 – 1 км. Точки на местности разбиваются с учетом рельефа (горизонтальные проложения).

При маршрутной наземной съемке с полуинструментальной разбивкой точек наблюдений прокладка маршрута производится выставлением последующих вех в створе двух предыдущих. Если маршрут съемки намечено выполнить в залесенной местности, съемочный профиль дополнительно намечается засечками на деревьях. В особо труднопроходимой местности допускается вешение съемочных профилей по магнитному азимуту на ориентир.

При маршрутной магнитной съемке с опознаванием пунктов наблюдений по карте наблюдения проводятся по дорогам, просекам, тропам или рекам с визуальной привязкой пунктов наблюдений к ориентирам, имеющимся на местности и на карте. Составляется абрис маршрута. Хорошие результаты в таких условиях даёт использование спутникового навигатора.

При разбивке сети и размещении пунктов для проведения наземных наблюдений учитывается удобство установки приборов и легкость нахождения пунктов. При

небрежном выполнении накопок или разметке, сети колышками неподходящих размеров, а также при невыполнении расчистки местности возле пунктов наблюдений там, где это требуется для быстрого обнаружения пункта наблюдений, соответствующая часть топографических работ по разбивке сети может быть забракована и предъявлена к переделке. Разбивка сети участка и контроль этого вида топографических работ завершается до начала магнитных съемок. Привязка магниторазведочных наблюдений к опорной геодезической сети должна опережать магниторазведочные наблюдения или проводиться одновременно с ними. Прекращать работы на участке можно только после выполнения необходимых объемов привязочных работ.

**11.2.9** Контрольные пункты и выбранные (несколько) точки опорной сети наземной магнитной съемки, начальные и конечные точки магистралей принимаются в качестве постоянных (долговременных) пунктов геодезической основы. Они привязываются к постоянным предметам или долговременным ориентирам местности в соответствии с требованиями к привязке пунктов геодезической сети. В отдельных случаях (при проведении съемок специального назначения или опытно-методических работ, не требующих составления отчетной карты) объем, целесообразность и допуски привязочных работ определяются и кратко обосновываются требованиями проекта (программы). На отработанном участке обязательно устанавливается деревянный или каменный столб, при закладке которого должна быть учтена необходимость его сохранности в течение 10 лет. На нем несмываемой масляной краской указываются: номер или иной условный маркер участка, год производства работ и организация, выполнившая съемку участка и установку столба. Вместо надписи непосредственно на столбе допускается установка на нем металлической пластины с надписью указанного содержания.

**11.2.10** В последнее время всё большее распространение получают спутниковые системы привязки пунктов геофизических наблюдений, участков работ, горных выработок. В условиях отсутствия нормативных документов по спутниковому навигационному обеспечению геологоразведочных работ, оценка качества полевых работ, вне зависимости от использованных методов, должна опираться на степень выполнения перечисленных выше требований к топографо-геодезическому обоснованию пунктов наблюдений при наземной магнитной съемке.

**11.2.11** Активирование магниторазведочных работ, не обеспеченных качественной привязкой сети наблюдения к пунктам геодезической опоры, запрещается.

Если качество топографо-геодезических работ ниже предусмотренного проектом, то независимо от качества магнитных измерений результаты съемки не считаются кондиционными и могут быть забракованы.

**11.2.12** Для построения отчетных карт изготавливается топографическая основа с облегченной ситуацией, характер которой устанавливается в зависимости от назначения карты, особенностей района и сложности магнитного поля. Топографическая ситуация дополняет данные магниторазведки (связь с геоморфологией) и позволяет судить о расположении аномалий по отношению к дорогам, рекам, населенным пунктам. Вместе с тем она не должна мешать изображению магнитного поля, и поэтому обоснование выбора необходимой и достаточной топографической ситуации на отчетных картах должно быть приведено в отчете партии (отряда).

### **11.3 Правила работы с приборами**

**11.3.1** При проведении наземных магнитных съемок используются приборы, перечисленные в таблице 8.

**11.3.2** Основными документами, устанавливающими условия эксплуатации магнитометров и порядок работы с ними, являются составленные предприятиями-изготовителями технические описания и инструкции по эксплуатации приборов.

Таблица 8 – Технические характеристики современной магнитометрической аппаратуры

Наименование прибора	Измеряемая величина	Принцип работы	Чувствительность, нТл	$\sigma$ (ошибка), нТл	Диапазон, нТл
Калиевый магнитометр-градиентометр GSMP-30	<b>T. <math>\Delta T</math> dT/dX</b>	Квантовый	<b>0.001</b>		10000÷100000
Магнитометр G-858 Mag Mapper DGPSAG	<b>T. <math>\Delta T</math></b>	Протонный	<b>0.05</b>		20000÷100000
Магнитометр Smartmag	<b>T. <math>\Delta T</math></b>	Квантовый	<b>0.01</b>		20000÷100000
Магнитометр MM-60	<b>T. <math>\Delta T</math></b>	Протонный	<b>0.01</b>	1.5	20000÷100000
Магнитометр ММП-203	<b>T. <math>\Delta T</math></b>	Протонный	<b>1</b>	2.5	20000÷100000
Магнитометр ММП-303	<b>T. <math>\Delta T</math></b>	Квантовый	<b>0.1</b>	1.5	20000÷100000
МИНИМАГ	<b>T</b>	Протонный	<b>0.01</b>	2	30000÷100000
Магнитометр СДВР GSM-19	<b>T. <math>\Delta T</math></b>	Протонный	<b>0.2</b>		20000÷100000
Магнитометр-градиентометр ENVI-MAG	<b>T. <math>\Delta T</math> dT/dX dT/dZ</b>	Протонный	<b>0.1</b>		20000÷100000
Магнитометр-градиентометр G-858	<b>T. <math>\Delta T</math> dT/dXd T/dZ</b>	Протонный	<b>0.01</b>		17000÷100000
Феррозондовый магнитометр LEMI-022	<b>T<sub>x</sub>, T<sub>y</sub>, T<sub>z</sub> вариации</b>	Феррозондовый	<b>0.033</b>		±65000

При работе с магнитометрами помимо выполнения указаний заводских инструкций необходимо соблюдать нижеследующие требования:

- оператор (наблюдатель) должен знать устройство прибора и назначение каждого блока, входящего в его комплект, четко представлять назначение каждого из выведенных на рабочую панель средств управления и контроля, знать технологию измерительного процесса, физический смысл измеряемых величин, возможные источники погрешностей и помех и пути их снижения;

- оператор не должен иметь при себе магнитных предметов, могущих повлиять на отсчеты прибора;

- в процессе съемки, непосредственно на участке работ не разрешается вскрывать корпус магнитометра или снимать кожух с преобразователя квантового магнитометра. Регулировки прибора, требующие его вскрытия, выполняются только с разрешения начальника или технического руководителя партии в условиях, гарантирующих сохранность прибора и защиту от влаги и пыли;

- если в процессе работы на маршруте были допущены случайные нарушения правил обращения с прибором (сильный толчок, рывок кабеля питания в комплекте квантового или протонного магнитометров), а также при замене источников питания на профиле в ходе съемки у протонных и квантовых магнитометров в рабочем журнале оператора или на ленте АЦПУ квантовых магнитометров делается соответствующая запись. Показания прибора и его работоспособность проверяются при этом на ближайшей опорной точке несколькими (около 10) измерениями. При работе без опорной сети производится повторение наблюдений на 2-3 ближайших

точках. Любые другие явления или факты, способные влиять на точность измерений, также должны быть зарегистрированы;

- на всех точках участка съемки прибор следует устанавливать на одной и той же высоте, чтобы результаты измерений были однородны и сравнимы друг с другом, что особенно важно для аномальных участков. Магниточувствительный преобразователь при проведении измерений должен быть постоянно в одном азимуте. Ориентационная погрешность магнитометров составляет 1 – 2 нТл на  $\pm 10^\circ$ ;

- при выполнении съемок без точного учета вариаций оператор фиксирует (в полевом журнале или на ленте АЦПУ магнитометра) времена первых наблюдений на каждом рабочем профиле, наблюдений на всех опорных точках в процессе съемки и последнего за рабочую смену наблюдения на участке. При пешеходной съемке в движении рекомендуется дополнительно фиксировать время наблюдений в крайних точках профилей и на магистралях. При строгом учете вариаций время фиксируется на каждой точке в соответствии с установленным допуском на точность синхронизации МВС и полевого прибора. Ежедневно перед выездом на участок и по возвращении на базу оператор сверяет часы по сигналам точного времени;

- на каждой точке оператор заносит в рабочий журнал (приложение А) номер пикета и показания прибора (без перевода в единицы магнитного поля). При точном учете вариаций дополнительно – время (часы, минуты и секунды при съемках с квантовыми магнитометрами). При прецизионных съемках с приборами, имеющими температурный коэффициент еще и температуру по термометру магнитометра.

#### **11.4 Правила проведения рядовых и высокоточных съемок**

**11.4.1** Важнейшими элементами процесса наземной магнитной съемки являются:

- разбивка опорной сети (пример приведен в приложении Г) и определение опорных значений магнитного поля;
- выполнение основного объема магниторазведочных работ - рядовых наблюдений на местности;
- приведение всех измеренных значений на местности к единому (условному или абсолютному) уровню по опорным значениям;
- оценка достоверности выявленных съемкой аномалий и дополнительные наблюдения на расчетных профилях;
- систематическое ведение необходимой полевой документации.

**11.4.2** Простейшим способом приведения результатов наблюдений к единому уровню является их увязка на контрольном пункте (далее – КП). Увязка по КП осуществляется при маршрутных рекогносцировочных съемках, а также площадных съемках невысокой точности.

Измерения на КП выполняются ежедневно до начала и по окончании работ на участке (маршруте). Если наблюдатель, ведущий маршрутную съемку, не может ежедневно возвращаться на базу партии, измерения на КП проводятся непосредственно перед выездом в длительный маршрут и после возвращения из него. В результате значение поля в каждой точке съемочного планшета или рабочего маршрута определяется относительно значения на КП. Невязка, т. е. разность между утренним и вечерним наблюдениями на КП разбрасывается по рядовым точкам пропорционально времени. Контрольный пункт должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к пунктам опорной сети, однако в отличие от последних он, как правило, находится не на участке работ, а на базе магниторазведочной партии (отряда). Помимо использования для приведения наблюдений к единому уровню контрольный пункт нужен также для периодических полевых операций по проверке температурных коэффициентов приборов, снятия девиационных (азимутальных) кривых, юстировке уровней и других метрологических и ремонтных операций. Также на КП прибор устанавливается для параллельной со съемками регистрации вариаций при отсутствии магнитовариационных станций в

## ТКП 17.04-39-2012

отряде (партии).

В качестве опорного значения поля для последующего приведения к нему как к условному нулевому уровню принимается среднемесячное значение поля на КП, представляющее собой среднее арифметическое ряда значений, принятых за среднесуточные. При невозможности многократного наблюдения поля на КП в течение суток в качестве среднесуточного принимается значение, определяемое единожды в сутки, но в одно и то же время (предпочтительнее рано утром или в вечерние часы) по серии из 10 последовательных показаний.

**11.4.3** Опорные сети разбиваются на местности при высокоточных и прецизионных съемках. Служат для приведения всех измеренных значений на местности к единому условному или абсолютному уровню и для исключения возможности накопления погрешностей наблюдений на рядовых пунктах съемки. Требования к пунктам опорной сети изложены в приложении Б.

Увязка самих опорных значений в системе опорной сети выполняется либо с использованием данных съемки на рядовых профилях (магистральный вариант), либо независимо от рядовых наблюдений. В магистральном варианте увязка уравнивание самих опорных значений выполнимо только по завершении съемки на всем участке работ; в других вариантах, не требующих знания наблюдений на рядовых профилях, процесс увязки опорных точек производится до начала съемочных работ на участке.

**11.4.3.1** Приведение к единому уровню значений поля на всем участке съемки предусматривает нижеследующие действия:

**11.4.3.1.1** При равномерном размещении опорных пунктов на местности:

- получение опорных значений в узлах опорной сети;
- увязку их между собой;
- приведение рядовых значений к уровню опорной сети.

**11.4.3.2** В магистральном варианте:

- получение опорных значений на магистральных;
- рядовую съемку;
- увязку магистралей по превышениям поля в опорных точках на рядовых пересекающих магистралей профилях;
- приведение рядовых значений к уровню опорной сети (магистралей).

**11.4.4** При наличии опорной сети, уравненной независимо от значений на рядовых маршрутах по способам В.В. Попова, узлов или решением нормальных уравнений (приведенных в приложении Г), наблюдения на местности должны удовлетворять следующим требованиям:

- каждый рядовой профиль начинают на одном из узлов опорной сети (ОС);
- рядовые наблюдения ведутся непрерывно и каждые 1,5-2 ч замыкаются на ближайшем к последнему из рядовых наблюдений узле опорной сети;
- узел ОС, замыкающий интервал непрерывных наблюдений, может находиться непосредственно на профиле наблюдений (внутри или на границах профиля) или в стороне от него на небольшом расстоянии (в 2-5 мин хода);
- при достаточно густой сети узловых точек на рядовом профиле может быть 2 узла ОС или более; при сравнительно редкой сети между двумя последовательными замыканиями на опорные значения может быть пройдено несколько рядовых профилей;
- наблюдения с протонными или квантовыми приборами увязываются с опорными значениями по формуле

$$n_{k \text{ уе}} = n_k - \frac{(n_{\text{рядА}} - n_A) + (n_{\text{рядБ}} - n_B)}{2},$$

(11.2)

где  $n_{\text{рядА}}$  – измеренное при отработке рядового профиля значение поля в начальном

узле опорной сети;  $n_A$  – увязанное и фиксированное здесь опорное значение поля (в системе опорной сети);  $n_{рядБ}$  – измеренное значение поля в конце непрерывного интервала рядовых наблюдений на замыкающей этот интервал опорной точке;  $n_B$  – собственное увязанное значение в данной опорной точке.

Узловые точки, оказавшиеся в резко аномальном поле, не годятся для использования при увязке рядовых наблюдений.

Если опорная сеть разбита иначе и представляет собой совокупность многократно повторенных наблюдений в точках пересечения рядовых профилей с магистралями, увязка опорных и рядовых значений проводится в следующем порядке:

- измерения поля на каждой магистрали повторяются 4-5 (не менее 3) раз без перерыва; после полной отработки одной магистрали отрабатывается очередная магистраль;

- каждой точке каждой магистрали приписывается среднее значение по серии наблюдений в данной точке; средние значения вычисляются только по введению в наблюдения необходимых поправок (вариации, температура);

- опорная сеть в магистральном варианте разбивается с соблюдением основных требований к измерениям при разбивке опорной сети, но сами опорные точки с магистралей не переносятся, даже если они оказываются в градиентном поле. Переход от узла к узлу выполняется, как правило, не по цикловой схеме (АБАБАБ), а однонаправленным движением (прямой ход АБВ...КЛМ, обратный – МЛК...ВБА, вновь прямой и т. д.).

Процесс взаимной увязки двух магистралей с использованием связующих их отрезков рядовых профилей иллюстрируется приложением Б.

После приведения магистральных значений к единому уровню отрезки рядовых профилей между точками их пересечения с соседними магистралями увязываются как интервалы между двумя опорными точками.

Если смещение нуля практически незначительно, значения на внутренних точках увязываемого интервала исправляются по формуле

$$n_{к ув} = n_k - \frac{(n_{рядА} - n_A) + (n_{рядБ} - n_B)}{2}, \quad (11.3)$$

Результаты измерений опорных значений и все операции увязки, а также все поправки к уровню рядовых профилей регистрируются в отдельном журнале, являющемся отчетным документом. Построенные карты без предъявления соответствующих данных по увязке наблюдений не принимаются комиссией, рассматривающей полевые материалы. Сведения о процедуре увязки наблюдений обязательно излагаются в отдельном параграфе отчета магниторазведочной партии.

## 11.5 Измерения на расчетных профилях

**11.5.1** Съёмки на расчетных профилях выполняют в тех случаях, когда результаты рядовых измерений в заданном для данного участка масштабе по имеющимся профилям недостаточны для надежной интерпретации выявленных аномалий (при подсечении аномалии под острым углом или если центр аномалии оказался между профилями, реже при необходимости существенно поднять точность наблюдений и сгустить сеть пунктов измерений).

Сами объекты для постановки работ на расчетных профилях выбираются по совокупности геолого-геофизических критериев с обязательным привлечением результатов предварительной интерпретации материалов рядовой магнитной съемки. Обычно объектом исследования являются четкие аномалии. В тех случаях, когда в геологически перспективных зонах выявляются слабые аномалии,

## **ТКП 17.04-39-2012**

целесообразность дополнительных работ оценивается на основе расчета уровня достоверности  $\gamma$  слабых аномалий. Конкретное значение  $\gamma$  достаточное для принятия решения о проведении дополнительных наблюдений по расчетным профилям, принимается техническим руководителем партии или начальником отряда с учетом решаемой геологической задачи и условий работ. Данным ТКП это значение  $\gamma$  не нормируется.

Допускается выполнение нескольких расчетных профилей на одной аномалии. Если аномалия изометрична, то обычно выполняют один эпицентральный профиль, причем в низких, а иногда и средних широтах рекомендуется меридиональная ориентировка линий наблюдений. Удлиненные аномалии пересекают вкрест их простираения. Наблюдения на профиле продолжаются до затухания аномалии. При этом важно выйти за пределы краевых минимумов.

Пункты наблюдений намечают с меньшим интервалом, чем при рядовой съемке, выполняя в случае необходимости и дополнительные измерения между точками в процессе съемки. В связи с этим непосредственно на профиле строится график поля в делениях шкалы или в цифровых показаниях приборов без перевода их в нТл. По этой же причине при использовании приборов со скрытой печатью данных на расчетных профилях необходимо использование цифрового табло (параллельно с АЦПУ).

Для обеспечения повышенной точности измерений на расчетных профилях принимают следующие меры:

- наблюдения выполняют в невозмущенные дни и преимущественно в ранние утренние часы или после 18 ч местного времени;
- производится точный учет вариаций (с магнитовариационной станцией или с использованием второго полевого магнитометра);
- на профилях, проложенных по сильно пересеченной местности с резкими формами рельефа (овраги, крутые склоны и т. п.), учитывают влияние рельефа местности;
- используют наиболее точную аппаратуру; все наблюдения выполняют с обязательной остановкой прибора (измерительного преобразователя) на пунктах профиля.

При наличии необходимых геологических, технических и физических предпосылок на расчетных профилях могут выполняться специальные виды магнитных измерений или комплексные геофизические работы, в частности измерения вертикального градиента магнитного поля или наблюдения геомагнитных вариаций с целью уточнения природы аномалий.

По расчетным профилям необходимо иметь графики рельефа (топографические профили) и по возможности - геологические разрезы. Топографический профиль и геологический разрез по заданной расчетной линии уточняются в процессе измерений.

### **11.6 Правила обработки материалов съемки**

**11.6.1** Этап полевой обработки данных наземной съемки делится на четыре основных подэтапа.

**11.6.1.1** Уточнение на местности и нанесение на топографическую основу (карту местности) съемочных профилей, узловых пунктов опорной сети, пунктов привязки наблюдений к абсолютному значению поля, мест отбора образцов для изучения магнитных свойств, расчетных профилей и других данных, имеющих отношение к процессу съемки.

**11.6.1.2** Преобразование непосредственно полученных в ходе съемки отсчетов или показаний прибора в значения физической величины, объективно характеризующей распределение стационарного магнитного поля на участке работ. На этом подэтапе осуществляются перевод отсчета в именованную величину,

введение поправок за температуру, вариации и смещение нуля, приведение к уровню опорных значений, привязка к абсолютному уровню (если это предусмотрено проектом и при необходимости), исправление данных за нормальный горизонтальный градиент.

**11.6.1.3** Графическое изображение исправленных и увязанных значений и подготовка материалов к оценочным вычислениям параметров искомых объектов экспресс-методами.

**11.6.1.4** . Качественная и количественная экспресс-интерпретация данных. На качественном уровне интерпретации решается задача выделения сигналов с ожидаемыми характеристиками (амплитуда, форма, протяженность) на фоне геологических и искусственных помех; на количественном производится примерное определение морфологического типа создающего аномалию объекта (сфера, призматический блок, тонкий пласт и т. п.) и оценка глубины до верхней кромки или центра намагниченных масс.

На втором подэтапе для квантовых и протонных магнитометров обработка начинается непосредственно с введения поправок в измеренные на профиле значения, так как результат измерения в этих приборах выводится на АЦПУ или цифровое табло прямо в нанотеслах. Эти же магнитометры не требуют и введения температурных поправок, и результаты измерений в первую очередь принимаются за вариации. Для этого момент начала работ на участке отмечается на вариограмме МВС. Значение поля на вариограмме в этот момент времени принимается за условный нулевой уровень. Времена всех очередных наблюдений на местности играют роль абсцисс на вариограмме, а соответствующие им ординаты (отклонения кривой вариаций от условного нулевого уровня) принимаются в качестве искомых поправок в наблюдаемые на местности значения. Значение каждой очередной поправки в нТл получается в результате умножения каждой очередной ординаты вариограммы на цену деления диаграммной бумаги в стандартной разграфке или в пересчете на 1 мм (например, если вариации записаны на фотобумаге). Поправка за вариации вводится с противоположным знаком. Рекомендуется графическое исправление наблюдений за вариации. Требования к синхронизации времен съемочного прибора и МВС и к службе времени при учете вариаций изложены в пункте 7.6 настоящего ТКП.

Исправление данных при смещении нуля осуществляется одновременно с приведением рядовых значений к уровню опорных и рассмотрено в пункте 11.4.4 настоящего ТКП.

Привязка к абсолютному уровню выполняется в случае, когда составляется сводная карта магнитного поля по материалам съемок на смежных участках, выполнявшихся в разные сроки, а специальная увязка опорных сетей или КП этих съемок не выполнена. Такая привязка осуществляется путем передачи данных из ближайшего пункта государственной сети абсолютных значений с последующим введением поправки за вековые вариации (приложение Б). Крупномасштабные, высокоточные и прецизионные съемки, занимающие небольшие площади, также желательно приводить к абсолютному уровню.

Поправка на нормальный градиент обязательна при значительных линейных размерах участка (5 км и более), а также на малых (до 1 км) участках, если съемки прецизионные, а разрез слабомагнитный, т. е. если амплитуды аномалий не превосходят единиц и первых десятков нТл. Для исправления результатов за нормальный градиент пользуются картами нормального поля измеряемого геомагнитного элемента ближайшей к сезону работ геомагнитной эпохи. Об издании и наличии соответствующих карт следует запрашивать ИЗМИРАН или государственные магнитные обсерватории (приложение В). Расчет нормального поля на любую эпоху и географическое положение участка производится также в системе «Геософт» по специальному алгоритму. Ввиду малости изменения поля за

## ТКП 17.04-39-2012

счет горизонтального градиента на участках ограниченных размеров поправка вводится по одному из направлений, соответствующему наибольшему градиенту.

Исправление рядовых наблюдений по перечисленным факторам ведется в отдельном журнале полевых вычислительных работ (пункты 8.1-8.2 настоящего ТКП.) или при наличии достаточного числа граф в рабочем журнале. Исправление опорных значений выполняется в специальном журнале увязки опорных значений (пункт 11.3 и приложение В настоящего ТКП).

В итоговой, выделенной графе журналов выписываются исправленные значения поля. Они используются на следующем подэтапе полевой обработки данных при построении графиков и плана графиков (пункт 10.3 настоящего ТКП).

При цифровой записи результатов магнитных наблюдений на профилях и вариаций геомагнитного поля, обработка полевых материалов проводится на ПК по специальным программам с контролем процесса обработки на всех его стадиях. Эти же программы допускают обработку материалов при «ручном» вводе первичных данных.

Оформление графики рассмотрено в разделе 10 настоящего ТКП. Горизонтальный масштаб обычно равен шагу съемки в 1 см или двум шагам съемки в 1 см. Вертикальный масштаб выбирается из расчета округленная итоговая погрешность съемки на 1 мм. Допускается и более крупный масштаб – среднее квадратическое отклонение результата измерений (инструментальная погрешность) в 1 мм. На каждом графике слева от составителя должен быть юг (при меридиональном профиле) или запад, справа - север или восток. Расстояние между нулевыми линиями графиков на сводном плане графиков должно быть таким, чтобы план был удобен для работы, и выбирается так, чтобы по возможности избежать наложения полей соседних или близких графиков.

На этом же этапе намечаются представляющие интерес аномалии. Подготовка их к интерпретации требует сглаживания - числового или графического.

При полевой обработке данных не требуется составления магнитных карт и совмещения графических материалов съемки с геологической основой, если это отдельно не оговорено проектом.

Заключительный подэтап, выполняемый в поле, – интерпретационный. Выделение слабых полезных аномалий на фоне помех производится по исправленным, приведенным к единому уровню и сглаженным данным.

Количественная интерпретация осуществляется только после исправления, приведения к единому уровню и сглаживания данных и выполняется после оценки надежности выявленной аномалии. Основным определяемым параметром на этапе полевой интерпретации является глубина до верхней кромки (или центра) вызывающего аномалию объекта. Простейший оценочный способ – метод полумаксимума; методы Петерса - Голуб, Эйлера и В.Э. Волка. Результаты полевых количественных расчетов фиксируются непосредственно на графике (плане графиков).

**11.6.2** В камеральный период производят построение уточненных планов (карт) графиков измеренного элемента геомагнитного поля, составление отчетных карт изолиний, вычисление элементов залегания создающих аномалии объектов и их намагниченности, составление геолого-геофизических разрезов и тектонических схем с учетом имеющихся данных бурения и других геолого-геофизических исследований, а также составление вспомогательных карт (трансформаций) или карт градиентов магнитного поля, схем распределения магнитных свойств горных пород на участке съемки и т. п. Объем и содержание работ камерального периода устанавливаются проектом в зависимости от характера, условий и задач съемки. Карты изолиний составляются по обычным правилам изложенным в пункте 10.4 настоящего ТКП.

Количественным расчетам при камеральной обработке предшествует введение

поправок на рельеф. При определении элементов залегания намагниченных тел в первую очередь производят расчеты по интерпретационным профилям. Выбор интерпретационного метода (или характерных точек, или подбора, или предельный, или сравнения и т. п.) конкретно обосновывается в тексте отчета. На известные использованные при интерпретации программы делают ссылки; их варианты или модификации, разработанные специально для интерпретации отчетных материалов, прилагаются к отчету.

На этапе камеральной обработки определяют магнитные свойства образцов горных пород (индуктивная и остаточная намагниченность, восприимчивость), а в специально ориентированных работах и дополнительные параметры.

Результаты камеральных работ увязывают с предварительным геологическим разрезом и данными по другим геофизическим методам. По материалам расчетов и сопоставлений вычерчивают уточненные геолого-геофизические разрезы с нанесением на них контуров намагниченных тел, контактов, линий сброса и других элементов тектоники.

### **11.7 Определение качества полевых и камеральных работ**

**11.7.1** Контроль качества работ выполняется с учетом требований изложенных в пункте 8.11 настоящего ТКП. Основным средством определения качества съемки являются контрольные измерения на местности в рабочих условиях. Объем контрольных наблюдений определяется главным образом масштабом и задачами съемки, предусматривается проектом, но не должен быть ниже 5 %, а при опытно-методических съемках – не ниже 10 %.

Недопустимо проведение контрольных наблюдений на профиле или площади с существенно облегченными условиями работы (спокойное поле, отсутствие характерных для обрабатываемого участка факторов помех и т. п.). Недопустимо также выполнение контрольного хода сразу же по завершении рядового. Контрольные наблюдения выполняются другим оператором и совместно с рядовым.

Примечание – Действие этого положения не распространяется на экспериментальные наблюдения с лабораторными и другими, не выпускаемыми серийно макетами и образцами, где может не найтись другого квалифицированного оператора через несколько дней после проведения рядовых. Также недопустим и слишком большой разрыв во времени между рядовыми и контрольными наблюдениями (возможно существенное изменение рабочих условий).

**11.7.2** Определение качества наземных магниторазведочных работ производится с учетом:

- важнейших числовых характеристик результатов наблюдений, рассчитываемых по данным повторных измерений, по материалам сравнения рядовых и контрольных измерений или сравнения параллельных рядов измерений (например, регистрации вариаций двумя МВС);
- итоговой погрешности съемки;
- соответствия полевой рабочей документации требованиям настоящего ТКП по порядку ее ведения и оформления;
- качества камеральной и предварительной обработки данных;
- качества отчетных графических материалов;
- полноты решения поставленных проектом задач и геологических результатов магнитной съемки.

**11.7.3** Итоговой характеристикой качества съемки считается погрешность увязанных результатов наблюдений. Указание ее значения в отчете о полевых работах должно обязательно сопровождаться разъяснениями относительно методики вычислений самой результирующей погрешности и ее составляющих. В частных случаях, например при маршрутной съемке или при оценке погрешности наблюдений на интерпретационном профиле, достаточно определения погрешности

## ТКП 17.04-39-2012

отдельного измерения по результатам двойных равноточных измерений на профиле. Формулы, необходимые для расчетов составляющих суммарной погрешности с указанием ситуаций их пригодности, приведены в таблице 9.

Механическое использование формул, приведенных в таблице 9 в неподходящих условиях, а также отступление от приводимых здесь наименований составляющих погрешностей недопустимо. Научно обоснованной формулы для определения суммарной погрешности магнитной съемки на местности в общем случае не выработано, и суждение о качестве работ будет тем правильнее, чем конкретнее названы условия наблюдений, характер измеряемых величин и чем строже выдержаны наименования, раскрывающие характер и значимость рассчитываемых составляющих погрешности.

Для получения численного значения средней квадратической погрешности увязанных значений магнитного поля на площади съемки при увязке наблюдаемых данных способами или решения нормальных уравнений, уравнений В.В. Попова, уравнений узлов выполняется следующая цепь вычислений.

**11.7.3.1** Определяется средняя квадратическая погрешность значений в узлах опорной сети по формуле Бесселя (таблица 9).

**11.7.3.2** Рассчитывается средняя квадратическая погрешность увязанных взаимных превышений на единицу веса  $\mu$ .

При увязке по способу В.В. Попова  $\mu$  определяется из формулы

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 p_i}{r}},$$

(11.4)

где  $\Delta_i$  - итоговые поправки взаимных превышений на звеньях полигонов, найденные в результате уравнивания, т.е. разности между значениями взаимных превышений на каждом звене до и после увязки опорной сети;  $p_i$  - веса взаимных превышений;  $n$  - число звеньев полигонов в системе опорной сети;  $1 \leq i \leq n$ ;  $r$  - число замкнутых полигонов,

При увязке по способу узлов для определения  $\mu$  пользуются другой формулой:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 p_i}{n - k}},$$

(11.5)

где  $\Delta_i$  - те же, что и в предыдущем равенстве;  $p_i$  - веса взаимных превышений на связях между смежными точками опорной сети;  $n$  - число всех связей;  $k$  - число узловых точек.

**11.7.3.3** Рассчитывается средняя квадратическая погрешность увязанных взаимных превышений с весом  $p_i$ : При производстве съемки следует обеспечить равновеликость весов на звеньях (связях) опорной сети, чтобы рассчитанная  $\mu$  представляла собой единую, обобщенную характеристику погрешности взаимных превышений

$$m_i = \mu \sqrt{p_i} \quad (11.6)$$

**11.7.3.4** От средней квадратической погрешности взаимного превышения на отдельном звене (связи) переходят к средней квадратической погрешности увязанного значения поля в узле опорной сети  $\sigma_{oc}$

$$\sigma_{oc} \cong 0.8 m$$

(11.7)

С некоторым отступлением от строгой терминологии эту величину можно считать средней квадратической погрешностью опорной сети.

Таблица 9 – Оценки погрешностей и условия их использования

Определяемая величина	В каких условиях используется	Формула (словесное определение) и обозначения	Примечание
<p>Среднее квадратическое отклонение <math>\sigma</math> результата измерения (при неизвестном истинном значении измеряемой величины):</p> <p>а) при равнооточных измерениях</p> <p>б) при неравнооточных измерениях</p>	<p>При выполнении ряда последовательных измерений на КП, в узле опорной сети или на стенде</p>	<p>а) <math display="block">\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}</math></p> <p>б) <math display="block">\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 P_i}{n-1}}</math></p> <p>где <math>P_i</math> – вес <math>i</math>-го результата измерения</p>	<p>Это равенство называют формулой Бесселя. Применяется для оценки качества измерения при неизменяющихся значениях измеряемой величины</p> <p>Является обобщением предыдущей формулы</p>
<p>Средняя квадратическая погрешность арифметического среднего серии измерений <math>\sigma_{cp}</math></p>	<p>При оценке погрешности значения, принимаемого за действительное и приписываемого узлу опорной сети или КП</p>	<p><math display="block">\sigma_{cp} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}</math></p> <p>где <math>\sigma</math> – среднее квадратическое отклонение результата измерения;  <math>n</math> – число измерений в серии</p>	<p>Оценка по данной формуле выполняется при небольшом <math>n</math> (первые десятки)</p>
<p>Вес результата измерения <math>p</math></p>	<p>-</p>	<p>Отвлеченное число, обратно пропорциональное квадрату среднего квадратического отклонения результата измерения (см. пункт 1);  <math display="block">p = c/\sigma^2</math>,  где <math>c</math> – произвольный постоянный множитель</p>	<p>Другие способы определения веса оговариваются особо. При вычислении веса достаточно двух значащих цифр.</p>
<p>Средняя квадратическая погрешность <math>\sigma</math> результата, оцениваемая на основании двойных равнооточных наблюдений (измерений):</p> <p>а) при случайном характере значений <math>\Delta t</math></p>	<p>При оценке сходимости результатов на выбранной совокупности контрольных точек (профиле, отрезке профиля) в идентичных рабочих условиях с одним и тем же равноценным по точности прибором. Служит первичной характеристикой (мерой) качества измерений на местности (качества съемки)</p>	<p>а) <math display="block">\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{2n}}</math></p> <p>где <math>\Delta_i = l_i - l_i''</math> – разность значений <math>i</math>-ой пары <math>l_1', l_2', \dots, l_n'</math> и <math>l_1'', l_2'', \dots, l_n''</math> – исходный и повторный ряды измеренных значений; <math>n</math> – число измерений в каждом ряду</p>	

**Окончание таблицы 9**

Определяемая величина	В каких условиях используется	Формула (словесное определение) и обозначения	Примечание
б) при наличии или в предположении наличия систематической составляющей в ряду разностей $\Delta_i$	<p>При оценке погрешности измерения вариаций, если используются результаты последовательных и синхронизованных измерений вариаций двумя независимо работающими МВС.</p> <p>При оценке погрешности результата по контрольным наблюдениям на профиле с возможно изменившейся высотой (или ориентацией) съёмочного прибора</p>	<p>б) <math display="block">\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i'^2}{2(n-1)}}</math></p> <p><math>(\sum_{i=1}^n \Delta_i \neq 0)</math>;</p> $\Delta_i' = \Delta_i - \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}$	<p>Пример - при повторных измерениях измерительный преобразователь разворачивается на 180°</p>
Средняя квадратическая погрешность $\sigma$ среднего $l_{\text{ср}}$ по результатам двойных равноточных измерений	-	$l_{\text{ср}} = \frac{l_i' + l_i''}{2}$ $\sigma = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^{2/n}}$ $\sigma = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i'^{2/(n-1)}}$ <p>(при наличии систематической составляющей) Обозначения те же, что в пункте IV</p>	
Средняя квадратическая погрешность результата измерения с весом, равным единице (сокращенно средняя квадратическая погрешность единицы веса) $\mu$	Имеется совокупность точек, в каждой из которых определено среднее квадратическое отклонение результата измерения $\sigma_R = \mu^2 / \sigma_R^2$	<p>Вспомогательная величина, которой пользуются для задания масштаба измерения произвольных весов</p> $\mu = \sqrt{c}$ <p>где <math>c</math> – постоянная формулы, определяющей вес результата измерения</p>	Обычно единичный вес приписывается точке с наибольшей $\sigma$ или точке с однократным измерением поля

## ТКП 17.04-39-2012

**11.7.3.5** По результатам контрольных измерений на контрольном профиле съемки или на секущем маршруте вычисляется средняя квадратическая погрешность рядовых наблюдений по формуле для двойных равноточных измерений с предполагаемой систематической составляющей (таблица 9).

**11.7.3.6**  $\sigma_{ряд.}$  и  $\sigma_{ос}$  должны удовлетворять неравенству

$$\sigma_{ос} < \sigma_{ряд.} \leq (2 \div 2,5) \sigma_{ос}. \quad (11.8)$$

**11.7.3.7** Рассчитывается итоговая оценка погрешности съемки. За эту оценку *условно* принимается средняя квадратическая погрешность увязанных значений съемки, вычисленная в предположении *случайного* характера отклонений увязанных и вероятнейших значений на каждой точке съемки:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{ос}^2 + 2\sigma_{ряд.}^2} \quad (11.9)$$

Оценка  $\sigma$  не учитывает влияния систематической погрешности и представляет собой суммарную погрешность съемки по недостатку, т. е. всегда меньше действительной суммарной погрешности, не имеющей в данной инструкции аналитического выражения.

В случае увязки наблюдений взаимным уравниванием магистральных и рядовых наблюдений в качестве показателя, равноценного по смыслу  $\sigma$ , т.е. итоговой оценке погрешности съемки, используется средняя квадратическая погрешность результата по разности двойных равноточных измерений. Для вычисления  $\sigma$  на участке съемки выполняют секущий контрольный ход через опорные точки - по одной с каждой магистральной. В промежутке между соседними опорными точками контрольный профиль должен проходить через рядовые точки планшета. Перед проведением этого хода весь планшет полностью увязывают по методике, рассмотренной в пунктах 11.4.3 и 11.4.4 настоящего ТКП. Пройденный ход приводят к уровню увязанных значений планшета по формулам, указанным в пункте 11.4.4 настоящего ТКП. Далее определяют разности (с нулевой суммой) между увязанными рядовыми и увязанными контрольными значениями. Если  $\sum_{i=1}^n \Delta_i \neq 0$ , то разности  $\Delta_i$  исправляют

последовательно на  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i$  и результирующие разности с уже нулевой суммой подставляют в указанную формулу в каждой точке хода. Итоговая оценка погрешности  $\sigma$  определяется равенством

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{2(n-1)}} \quad (11.10)$$

## 11.8 Правила проведения микромагнитной съемки

**11.8.1** Под микромагнитной съемкой понимают особо точные, или прецизионные, измерения приращений  $\Delta Z$  или  $\Delta T$  на небольшой площади, гарантирующие уверенное выделение слабых (10 нТл и менее) аномалий. Микромагнитная съемка используется как средство геолого-петрографических исследований неглубоко (до 10 м) залегающих пород или приповерхностной части геологического разреза.

**11.8.2** Метод применим в условиях, когда:

- отсутствуют резко выраженные аномалии посторонних источников, не связанные с магнитностью и структурой изучаемого комплекса пород;
- рельеф дневной поверхности ровный;
- известно, что почвенный слой, кора выветривания и вышележащие

## **ТКП 17.04-39-2012**

приповерхностные образования практически немагнитны и не создают сколько-нибудь заметных аномалий, маскирующих аномальное поле изучаемого комплекса, если только сами приповерхностные образования не являются предметом изучения.

**11.8.3** Микромагнитная съемка применяется при решении следующих задач:

- выявление линии контакта пород, над которыми средние значения измеряемого элемента магнитного поля ( $\Delta Z$  или  $\Delta T$ ) примерно одинаковы;
- определение преимущественных направлений трещиноватости или расщеливания пород;
- изучение флюидальных текстур в эффузивных породах, закрытых рыхлыми образованиями малой мощности;
- изучение остаточной намагниченности изверженных пород;
- изучение метасоматических изменений пород;
- определение направления седиментации молодых осадочных отложений.

Микромагнитная съемка должна сопровождаться измерением намагниченности рыхлых отложений, включая и почвенный покров.

**11.8.4** Наблюдения элементов геомагнитного поля при микромагнитной съемке выполняются по равномерной сети 2х2 м, 3х3 м, 5х5 м на квадратных площадках размером 10х10 м<sup>2</sup>, 25х25 м<sup>2</sup> или 50х50 м<sup>2</sup>. Площадки микромагнитной съемки в пределах одного участка единообразно ориентируются относительно магнитного меридиана или другого направления, выбранного в качестве отсчетного. Для измерений используется высокостабильная протонная или квантовая аппаратура.

Все измерения на съемочных площадках выполняются при обязательной одновременной регистрации вариаций наблюдаемого элемента магнитного поля с соблюдением всех требований, предъявляемых к вариационной службе при высокоточных и прецизионных наземных магнитных съемках. При значительном уровне переменных помех учитываются и выполняются соответствующие положения настоящего ТКП, приведенные в пункте 7.7.3. Для учета влияния температуры и смещения нуля-пункта съемочного прибора наблюдения осуществляются по цикловой методике. На площадке или неподалеку от нее выбирается КП с многократно измеренным значением наблюдаемого элемента поля. С использованием быстродействующих магнитометров все наблюдения на площадке укладываются в один цикл, который начинается и заканчивается на КП.

Поправка в рядовые точки цикла по разности значений на КП вводится после исправления всех наблюдений за вариации (на рядовых пунктах и на КП).

Рядовые точки цикла при обработке площадки следует располагать в виде замкнутых ходов (треугольных или квадратных), так как расположение их на прямолинейном отрезке может привести к созданию «профильных» ложных аномалий.

**11.8.5** Результаты наблюдений представляются в виде планов изодинам в масштабе и с сечением изолиний, которые должны соответствовать классу точности съемки. Методика статистической обработки и геологической интерпретации полученных данных излагается в работах, указанных в списке литературы. Методы обработки и истолкования результатов микромагнитной съемки привлекаются при анализе карт, полученных на основе проведения наземных или воздушных магнитных съемок в сложных полях.

## **11.9 Правила измерений градиентов магнитного поля**

**11.9.1** На практике вместо направленных производных приходится оперировать с конечными разностями значений какого-либо элемента земного магнетизма. Эти разности определяются по одному из множества горизонтальных направлений или по вертикали и приводятся к единице расстояния делением измеренной разности на длину базы - интервала между точками пространства, для которых сравниваются значения геомагнитного элемента. Значение градиента приписывается точке

пространства, находящейся в середине базы.

На современном уровне технической оснащенности магниторазведки реальны лишь измерения градиентов модуля геомагнитного вектора. Их обозначают  $T_x'$ ,  $T_z'$  или  $\partial T/\partial x$ ,  $\partial T/\partial z$ . Наиболее целесообразны измерения вертикального градиента  $T$ . Карты вертикальных градиентов поля легче «читаются», чем карты горизонтальных градиентов, а графики легко интерпретируются, например, по формуле Эйлера.

При градиентных наблюдениях определяется разность значений модуля, и она измеряется в тех же единицах, что и сам модуль (в нТл). Разность значений поля, приведенная к базе 1 м, измеряется в нТл на метр.

Массовые измерения градиентов магнитного поля используются при детальной разведке месторождений с неглубоким залеганием исследуемых геологических объектов в целях более точной локализации рудных тел и выявления деталей их строения, при разбраковке известных аномалий, решении картировочных задач, а также при конкретизации распределения магнитных масс в крупном геологическом объекте.

Непосредственные измерения градиентов предпочтительнее получения их расчетным путем из наблюдений поля при условии, что измеренные значения известны с меньшей погрешностью, чем вычисленные, а также в случаях, когда наблюдения значений поля не могут быть использованы для расчета градиентов (слишком редкая или неравномерная сеть съемки, наблюдения по одиночным маршрутам, на криволинейной поверхности или неравноточные наблюдения).

Непосредственные измерения градиентов заведомо неперспективны в случае, когда погрешность их измерения (т.е. измерения конечных разностей) превышает погрешность измерения самих значений геомагнитного элемента (например, модуля или его приращений).

Если погрешности измерений поля и его градиента примерно одинаковы (при возможностях современной магниторазведочной аппаратуры - около 0,3 нТл), градиентные наблюдения имеют преимущество перед наблюдениями значений самого элемента (например, модуля или его приращений) при обнаружении и (или) индикации сравнительно мелких магнитных объектов, залегающих на глубине не более 6-7 м от уровня съемки.

Искомые объектами геологического происхождения на малых глубинах могут быть, в частности, дайки, разрозненные «останцы» сильномагнитных пород в слабомагнитных интрузивах, неглубоко залегающие россыпи с заметным содержанием магнитной фракции, тектонические нарушения высших порядков (оперяющие разломы), маломощные зоны минерализации. Наблюдения вертикального градиента при выявлении перечисленных объектов ведутся по квадратной (или прямоугольной) сети с шагом по профилю, равным 2,5-5 м, и расстоянием между профилями не более 10 м.

В более распространенных случаях, когда ожидаемые аномальные эффекты в поле  $\Delta T$  достигают по амплитуде 50-500 нТл и протяженность аномальной зоны в полумаксимуме интенсивности находится в пределах 20-100 м, наблюдения вертикального градиента ведутся только в дополнение к съемке самого геомагнитного элемента (модуля) с целью разделения сложных аномалий, а также на расчетном профиле, проведенном через эпицентр аномалии, где используются при совместной интерпретации  $\Delta T$  и  $(\Delta T) z'$  [ $\Delta Z$  и  $(\Delta Z) z'$ ] на основе формулы Эйлера (см. прил. Б), позволяющей найти глубину верхней кромки тела или центра магнитных масс объекта либо вынести предварительное суждение о форме искомого объекта. В любом случае измерения градиентов с шагом реже 20 м нецелесообразны.

Съемки градиентов в средних широтах с той же погрешностью, что и погрешность съемки геомагнитного элемента, вообще имеют вспомогательное значение и, как правило, уместны лишь при решении особо мотивированных

## ТКП 17.04-39-2012

конкретно поставленных поисковых задач в четко определенных условиях.

Факторами, препятствующими постановке градиентометрических наблюдений, являются:

- засоренность участка съемки металлом, оставшимся после завершения разведочных и буровых работ (металлические трубы, скобы, муфты, доски с гвоздями);

- резкая неоднородность намагничивания геологических тел (интрузивов, осадочно-эффузивных толщ и т. п.), над которыми предполагается проведение наблюдений;

- наличие магнитных фракций в покровных осадочных образованиях (если обнаружение ареалов повышенной концентрации магнитного минерала не является одной из задач съемки);

- неровность рельефа на участке наблюдений; обрывы, каналы, выступы коренных пород в непосредственной близости от съемочного профиля особенно резко искажают именно наблюдения градиентов поля.

Преимуществом градиентометрии является независимость результата измерений от геомагнитных вариаций и значений нормального поля. Наземные инструментальные определения градиентов приобретают тем большую ценность, чем выше уровень вариаций в районе работ. Площадная съемка градиентов (вертикального, реже горизонтальных) является равноправным со съемкой поля  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) видом магнитных наблюдений при съемках в высоких широтах ( $55 < \Phi < 75^\circ$ ), а в средних - лишь на участках с интенсивными промышленными помехами или в дни магнитной бури, если наблюдения не могут быть перенесены на другие дни. Это преимущество реализуется лишь при непосредственном прямом измерении градиентов специальным прибором, предназначенным для измерения и регистрации конечных разностей значений геомагнитного элемента (модуля), т. е. только при работе с градиентометрами.

Иногда целесообразны измерения приближенных значений градиентов (конечных разностей), выполняемые путем последовательного (неодновременного) измерения значений геомагнитного элемента в двух точках. Такие наблюдения возможны с портативными квантовыми магнитометрами. Искомая разность получается посредством косвенных измерений. При определении приближенного значения вертикального градиента измерения модуля выполняются на каждой точке последовательно на двух уровнях, причем отсчеты на верхнем и нижнем уровнях должны производиться с разницей во времени не более 15 с.

Каждая пара отсчетов повторяется трижды и вычисляется среднее значение разностей. Измеренные разности приводятся к единице расстояния (делением на длину базы, выражаемую в метрах). Уровни измерений должны различаться по высоте не менее чем на 2 м. Фиксирование измерительного преобразователя магнитометра на уровне отсчета осуществляется на специально изготовленной немагнитной штанге. Пульт управления магнитометра (блок электроники, регистратор, источник питания) должен быть удален от точки наблюдений на полную длину кабеля, чтобы в результате разновысотных наблюдений не вошел эффект от магнитных масс пульта управления.

Определение градиентов по результатам последовательных разновысотных наблюдений модуля неприменимо в высоких широтах. В средних широтах оно правомочно лишь в спокойные дни,  $K$  - индекс которых не более 3. Поэтому при определении градиентов косвенными одновременными измерениями необходимым дополнением к рабочему журналу является официальный документ, характеризующий магнитную активность ( $K$ -индекс) в часы наблюдений. Такой документ может быть выдан ближайшей к месту работ магнитной обсерваторией. Если одновременно с косвенными измерениями градиента вариационный отряд магниторазведочной партии ведет регистрацию вариаций, оценка магнитной

активности производится начальником вариационного отряда и оформляется протоколом произвольной формы. Справка обсерватории или протокол вариационного отряда являются необходимыми приложениями, без которых материалы косвенных (неодновременных) определений градиентов считаются недействительными.

При измерениях вертикального градиента нижний конец базы (и нижний измерительный преобразователь), как правило, располагается на высоте не менее 0,7-1,0 м от земной поверхности.

### **11.10 Правила применения наземной магнитной съемки при решении геологических задач**

**11.10.1** Картировочно-поисковые съемки проводятся для решения задач крупномасштабного геологического картирования и выявления рудоконтролирующих факторов; для прослеживания контактовых зон, тектонических линий, разломов неглубинного заложения, оконтуривания зон развития крупных магматических комплексов или зон интенсивного метаморфизма, магнитных даек, эффузивно-осадочных толщ, а в некоторых случаях - элементов тектоники осадочных формаций и локальных геологических структур; реже используются для прямых поисков магнитных объектов. Выполняются в масштабах 1:50 000, 1:25 000 и 1:10000.

Картировочно-поисковые съемки производятся по инструментально и полуинструментально разбитой сети наблюдений, а также в виде маршрутов с опознаванием пунктов наблюдений на топографической карте. Направление маршрутов и рядовых профилей площадной съемки устанавливается вкрест преимущественного простирания пород. Расстояния между маршрутами и точками наблюдений на маршрутах (профилях) определяются масштабом съемок (таблица 3). Как правило, картировочно-поисковые съемки требуют средней или высокой точности наблюдений (таблица 4).

Детализация выявленных аномалий в интервалах с высокими горизонтальными градиентами значений измеряемой величины обычно выполняется двукратным сокращением шага наблюдений. При изометрическом характере детализируемых аномалий допускается проведение нескольких промежуточных профилей. Если на участке запроектирована поисково-разведочная съемка, детализационные наблюдения при картировочно-поисковой съемке сводятся к минимуму (выполняются лишь на узких, вызывающих сомнение в их достоверности аномалиях).

Иногда картировочно-поисковые съемки проводятся попланшетно с последовательным наращиванием обрабатываемых площадей. В этом случае помимо обязательной увязки каждого планшета по собственной опорной сети необходимо приведение всех стыкуемых планшетов к единому уровню, что обеспечивается повторением смежных профилей, выполнением связующих все планшеты увязочных ходов или единой, более редкой, чем внутренние, опорной сетью.

Картировочно-поисковые магнитные съемки обычно комплексуются с грави-, электроразведкой, шлиховым опробованием, металлометрией и измерением магнитных свойств образцов по заданной сети. Результаты магнитных наблюдений в совокупности с результатами других названных методов должны обеспечивать возможность не только качественного выявления и прослеживания искомых границ, но и количественной оценки основных параметров картируемых объектов - примерного угла падения тела, ориентировочной глубины до верхней кромки, амплитуды сброса и т. п. В соответствии с этим при необходимости следует выполнять расчетные профилевые съемки.

По результатам картировочно-поисковых наземных съемок составляются карты приращений элементов магнитного поля [ $Z_a$ ,  $(\Delta T)_a$  или  $H_a$ ] в графиках и изолиниях.

## **ТКП 17.04-39-2012**

Примеры построения таких карт в [5]. Карты впоследствии приводятся к абсолютному магнитному уровню с указанием эпохи приведения.

**11.10.2** Поисково-разведочные съемки проводятся для детального изучения рудоконтролирующих факторов и непосредственного выявления на местности рудных тел, определения их положения и формы, а впоследствии - для уточнения размеров и обнаружения более мелких особенностей основного и сопутствующих рудных тел. Результаты этих съемок служат основой для проектирования горных и буровых работ на месторождении и обязательно учитываются при подсчете запасов полезных ископаемых.

Поисково-разведочные съемки проводятся на основе ранее выполненных геофизических или геологических съемок, установивших перспективность участка или прямые признаки оруденения. Масштаб поисково-разведочных съемок крупный (1:10000, 1:5000, 1:2000), точность съемки средняя и высокая (таблица 4), Все измерения на местности проводятся по инструментально разбитой сети наблюдений, привязанной к геодезическим знакам.

В некоторых случаях при поисково-разведочных съемках направление рядовых съемочных профилей может быть оптимальным для всех объектов данного участка (приуроченность рудных тел к разлому или контакту, наличие данных о преобладающей ориентировке геологических объектов и аномалий), в других исследуемая площадь может характеризоваться несколькими направлениями геологических тел, структур и аномалий. Поэтому решение о выборе направления рядовых съемочных профилей в каждом конкретном случае обосновывается в проекте работ.

Поисково-разведочная съемка проводится в пределах одного небольшого планшета (до 10 км<sup>2</sup>).

Наращивание площади съемки обязательно в случае, если одно из обнаруженных рудных тел находится на краю планшета. Такое наращивание планшета при необходимости сохранения объемов работ на уровне проекта может производиться за счет исключения из плана съемки части наблюдений в неаномальных зонах с ожидаемым спокойным полем.

С целью уточнения морфологии аномалий, а также на аномалиях, вызывающих сомнения в их достоверности, или предположительно искусственного происхождения, проводятся детализационные наблюдения с двукратным уменьшением шага съемки и заданием промежуточных профилей. Объем детализационных работ на стадии поисково-разведочных съемок должен быть выше, чем при картировочно-поисковых съемках (до 20%). Сеть наблюдений на участке детализации, как правило, равномерна. Основной отчетный документ, как и в случае картировочно-поисковых съемок, - карта приращений измеренного элемента магнитного поля. Приведение к абсолютному уровню не обязательно, но может в зависимости от решаемой геологической задачи предусматриваться проектом.

Поисково-разведочные съемки должны обеспечивать материал для количественной интерпретации обнаруженных аномалий. С этой целью на каждой значительной аномалии намечаемой начальником отряда или техническим руководителем партии задается один или несколько интерпретационных профилей, а в отдельных случаях проводятся измерения по оценке вертикального градиента поля посредством наблюдений на двух уровнях.

**11.10.3** Разведочные (детализационные) съемки проводятся, в основном, для уточнения структуры рудных полей, изучения флангов месторождений, а также для уточнения деталей, ответвлений и параметров обнаруженных рудных тел путем количественной интерпретации аномалий, выявленных с высокой точностью с определением глубины до верхней, а в некоторых случаях и нижней кромки тел, угла падения (тел или контактов), намагниченности объектов, предварительной оценки

запасов и т. д. Масштабы разведочных съемок – 1:2000, 1:1000; по точности съемки высокоточные и прецизионные (кроме работ на сильномагнитных рудах). Выполняются на основе инструментально проложенной сети. В некоторых случаях требуют проведения работ по учету рельефа. Сеть - прямоугольная, равномерная, при необходимости квадратная. Детализация аномалий определяется комплексом решаемых разведочной съемкой задач; допускается в отдельных случаях не только двукратное, но и четырехкратное сгущение шага съемки. Основным отчетным документом - карта приращений поля без привязки ее к абсолютному уровню. Интерпретационные профили могут выполняться, однако вся съемка ведется так, чтобы качество материала в пределах всего планшета обеспечивало точную интерпретацию данных и выявление слабых аномалий (при необходимости с использованием методик числовой фильтрации).

Материалы разведочных съемок служат основанием для сгущения сети буровых работ; поэтому привязка участка съемок к геодезическим знакам на местности обязательна. В исключительных случаях (глубины объектов по результатам интерпретации до 4-5 м) допускается заверка отдельных аномалий силами магниторазведочной партии (шурфы, каналы). Комплексование магнитных наблюдений с другими методами определяется характером, минералогическим составом и физическими свойствами разведываемого сырья и вмещающих пород.

**11.10.4** Магниторазведка при решении частных задач геологического картирования и проверке аэромагнитных аномалий. В дополнение к крупномасштабным высокоточным съемкам (1: 5000, 1:2000) или вместо них могут проводиться прецизионные съемки, отличающиеся привлечением всех имеющихся средств, обеспечивающих предельное снижение погрешности съемки (1 нТл и ниже), максимальную конкретизацию формы аномалий и наивысшую точность плановой привязки съемочных маршрутов и аномальных участков на местности.

Прецизионные съемки выполняются в масштабе 1:1000 и крупнее (предельная густота сети наземных, в том числе и микромагнитных, съемок 2x2 м). Наблюдения ведутся с квантовыми (реже протонными) магнитометрами с обязательным введением всех поправок и тщательнейшей увязкой наблюдений по опорным значениям. В зависимости от поставленной задачи основным отчетным документом является карта магнитного поля или карта графиков, графики с геологическими разрезами.

Контроль прецизионных наблюдений осуществляет лично начальник опытно-методической партии или технический руководитель магниторазведочной партии. Сеть наблюдений разбивается инструментально топоотрядом или в крайнем случае (ввиду малости участка наблюдений) силами магниторазведочной партии. Учет рельефа - по усмотрению руководителя работ. Детализация настоящей инструкцией не регламентируется.

Проверка аномалий, обнаруженных аэромагнитной съемкой, проводится, как правило, по отдельным маршрутам, задаваемым в соответствии с результатами аэромагнитной съемки. Число и длины маршрутов должны соответствовать масштабу геологической съемки и действительным размерам выявленных аномальных зон. Прокладка маршрутов производится инструментально с использованием топографической основы геологической съемки. Расстояния между пунктами наземных наблюдений измеряются мерной лентой. При маршрутных проверочных наблюдениях создание опорной сети не обязательно. Съемочный прибор дважды в сутки контролируется на КП, а сами наблюдения ведутся по цикловой методике или с систематическим заходом на промежуточный КП, расположенный непосредственно в районе исследуемой аномалии.

Площадные магнитные съемки при проверке аэромагнитных аномалий проводятся, когда ставится задача детализации аномалий с целью поисков полезных ископаемых. В этом случае работы ведутся по общим правилам для

## ТКП 17.04-39-2012

съепок выбранного масштаба.

В случаях, когда наземные проверочные наблюдения предназначаются и для интерпретационных расчетов (оценки глубин, элементов залегания, намагниченности), маршруты отрабатываются в соответствии с требованиями к измерениям на расчетных профилях (пункт 11.5.1 настоящего ТКП). При необходимости совместной интерпретации значений поля на двух уровнях (на поверхности земли и аэромагнитной съемки) и оценки скорости затухания аномалий для суждения о природе аномального объекта, наземный маршрут (маршруты) намечают параллельно ближайшему из маршрутов аэросъемки.

Результаты проверочных наблюдений представляются в виде карт графиков с указанием в плане расположения наземных профилей или в виде карт изолиний, когда проверочные работы ведутся по обычной методике крупномасштабных площадных съепок.

Все проверочные наземные наблюдения, предназначаемые для совместных с аэромагнитными данными интерпретационных расчетов, ведутся модульными (квантовыми, протонными) магнитометрами.

## 12 Правила определения магнитных характеристик горных пород

### 12.1 Задачи и методы их решения

**12.1.1** Для проектирования магниторазведочных работ и геологической интерпретации результатов необходимо располагать сведениями о модуле и направлении намагниченности  $J$  горных пород и полезных ископаемых исследуемого района. Эти сведения могут быть получены расчётным путём либо из данных измерения объёмной магнитной восприимчивости  $\chi$  и модуля и направления естественной остаточной намагниченности  $J_n$  образцов, либо из наблюдений магнитного поля в скважинах, шурфах, над характерными резко выраженными формами естественного или искусственного рельефа дневной поверхности, над магнитными объектами с известными размерами и элементами залегания. Магнитная восприимчивость указанных сред может быть также определена отдельно от  $J_n$  путём измерений на образцах, обнажениях, в горных выработках или на основе интерпретации данных каротажа магнитной восприимчивости.

Каждый из приёмов имеет свои достоинства и недостатки. Для повышения достоверности определения намагниченности необходимо комплексировать эти приёмы с учётом особенностей исследуемого района.

**12.1.2** Методика изучения магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых для целей магниторазведки определяется:

- геологическим строением района;
- целевым заданием и масштабом магниторазведочных работ;
- состоянием геофизической изученности и изученности физических свойств пород исследуемого района;
- степенью обнажённости изучаемой территории, наличием горных выработок и скважин, рельефом местности.

**Примечание –** Словами «магнитные свойства» здесь и далее заменено перечисление  $J$ ,  $\chi$ , и  $J_n$ .

В условиях Республики Беларусь физические свойства горных пород, в том числе магнитные, изучаются, главным образом, по кернам скважин и образцам, отобраным в горнодобывающих карьерах. Такой способ является наиболее подходящим к геологическим условиям Беларуси и обладает рядом преимуществ среди которых следует отметить: высокую степень геологической привязки отобранных образцов и их представительность. В отличие от образцов из обнажений

керны скважин, как правило, не затронуты процессами выветривания и представляют значительные интервалы горных пород в состоянии близком к естественным условиям залегания.

Проект работ в соответствии с целевым заданием магнитных съёмок должен содержать анализ вышеперечисленных условий проведения работ и обоснование задач и методики исследований физических свойств горных пород и полезных ископаемых. В связи с внедрением прецизионной ядерной и квантовой магниторазведочной аппаратуры изучение магнитных свойств слабомагнитных и слабоконтрастных по намагниченности сред является в настоящее время столь же обязательным, как и исследование свойств магнитных и сильномагнитных сред. При постановке комплексных геофизических работ методика изучения физических свойств горных пород и полезных ископаемых выбирается с учётом особенностей всего комплекса используемых геофизических методов.

Выбор и обоснование методики исследования магнитных свойств горных пород по району работ проводится на основании следующих материалов:

- геологических карт и стратиграфических колонок;
- карт магнитного поля;
- результатов расчётов намагниченности горных пород по аномальному магнитному полю и физического моделирования ожидаемых геологических ситуаций;
- карт фактического материала, составленных по данным непосредственных определений  $\chi$  и  $J_n$  горных пород и полезных ископаемых, разрезов по буровым скважинам и сводных колонок с результатами измерений  $\chi$  и  $J_n$  по району.

На основе изучения указанных материалов:

- выделяются участки исследований и комплексы горных пород, требующие дальнейшего изучения магнитных свойств;
- в пределах выделенных участков указываются площади обнажений, горные выработки, а также области резко расчленённого рельефа, сложенного магнитными породами;
- определяется количество петрофизических разновидностей пород и полезных ископаемых, подлежащих изучению, и необходимое для этого количество образцов (для получения статистических характеристик каждая разновидность должна быть представлена по крайней мере 25 – 30 образцами, а при опробовании керна, эту норму следует относить к каждой буровой скважине).

По данным анализа всех перечисленных материалов намечается необходимый комплекс работ, определяется объём и методика исследований магнитных свойств и оценивается качество предшествующих измерений. Недостоверные данные исключаются из рассмотрения.

**12.1.3** Намагниченность магнитоизотропных горных пород и полезных ископаемых, обладающих  $\chi$  и  $J_n$  менее  $20000 \times 10^{-6}$  ед. СГСМ, вычисляется по данным массовых измерений  $\chi$  по образцам, а также на обнажениях и в скважинах, выполняемых индукционным методом, и по выборочным измерениям  $J_n$  ориентированных образцов магнитометрическим методом.

Вычисление намагниченности пород и полезных ископаемых в этом случае осуществляется по формуле:

$$\bar{J} = \bar{\chi} T_0 + \bar{J}_n, \quad (12.1)$$

где,  $T_0$  – вектор нормального магнитного поля;

$\bar{\chi}$  и  $\bar{J}_n$  – среднее значение соответственно магнитной восприимчивости и вектора естественной остаточной намагниченности исследуемых сред.

Если исследуемые среды обладают бимодальным распределением

## ТКП 17.04-39-2012

магнитных свойств, причём магнитные и слабомагнитные разности их пространственно не разделены и создают одну локальную магнитную аномалию, а измерения  $J_n$  выполнены лишь на магнитных образцах, то  $J$  следует вычислять как средневзвешенное

$$\bar{J} = \frac{V \sum_{j=1}^k J_n j}{k}, \quad (12.2)$$

где,  $k$  – число измеренных образцов;  $V$  – относительный объём, занимаемый магнитными разновидностями среды.

Если направление остаточной намагниченности неизвестно или близко к направлению  $T_0$ , его считают совпадающим с направлением вектора  $T_0$ . В этом случае намагниченность вычисляется по формуле

$$\bar{J} = \bar{\chi} T_0 (1 + \bar{Q}), \quad (12.3)$$

где  $\bar{Q}$  – среднее значение отношения  $J_n / (\chi \cdot T_0)$  измеренных образцов.

При изучении магнитоанізотропных сред (железистых кварцитов, магнетитовых сланцев и др.) вектор  $J$  следует определять в координатах, привязанных к пластам, т. е. измерять составляющие намагниченности в плоскости слоистости  $J_{||}$  и в направлении, перпендикулярном к слоистости  $J_{\perp}$ . Вычисление составляющих  $J$  анизотропных сред производят по формулам

$$J_{||} = \chi_{||} T_{0||} + J_n_{||}; \quad J_{\perp} = \chi_{\perp} T_{0\perp} + J_n_{\perp}, \quad (12.4)$$

где  $T_{0||}$ ,  $T_{0\perp}$  и  $J_n_{||}$ ,  $J_n_{\perp}$  – проекции векторов  $T_0$  и  $J_n$  на плоскость слоистости и на перпендикулярную к ней плоскость;  $\chi_{||}$  и  $\chi_{\perp}$  – значения магнитной восприимчивости вдоль слоистости и перпендикулярно к ней.

Определение намагниченности сильномагнитных породы полезных ископаемых при  $\chi > 20000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГСМ (например, магнетитовых руд) следует выполнять с учётом эффекта размагничивания в зависимости от формы объектов, сложенных этими породами. Намагниченность в этом случае определяется в координатах главных осей объектов. Вдоль  $k$ -й оси тела среднее значение составляющей намагниченности вычисляется по формуле

$$\bar{J}_k = \frac{\bar{\chi}_k (1 + \bar{Q}_k) T_{0k}}{1 + N_k \bar{\chi}_k}, \quad (12.5)$$

где  $\bar{\chi}$  и  $\bar{N}_k$  – среднее значение истинной магнитной восприимчивости и коэффициент размагничивания вдоль  $k$ -й оси тела;  $T_{0k}$  – проекция нормального магнитного поля на  $k$ -ю ось магнитного тела;  $Q_k$  – среднее значение отношения проекции вектора  $J_n$  на  $k$ -ю ось тела к индуктивной намагниченности тела.

Измерения  $\chi$  сильномагнитных пород следует выполнять магнитометрическим методом с введением в результаты измерений поправки за коэффициент размагничивания образца  $N$ :

$$\chi = \chi' / (1 - \chi' N), \quad (12.6)$$

где  $\chi'$  – измеренное значение кажущейся магнитной восприимчивости.

Значение  $N$  определяется согласно рекомендациям, приведённым в [8], [9]. При значениях  $\chi$ , больших 0.2 ед. СГСМ, характерных для магнетитовых руд, измерения  $\chi$  выполняют по выпиленным из образцов призмам с соотношением сторон 1:5–1:10

и менее, чтобы удовлетворить условию  $\chi N \leq 5\%$ , или выточенным шарам, для которых  $N = 4\pi/3$  и не зависит от  $\chi$ .

При изучении образцов изометрической формы можно воспользоваться значениями коэффициента  $N$  из таблицы 10, рассчитанной по материалам А.К. Вейнберга и О.Н. Квачевского [6].

**Таблица 10 – Зависимость величины коэффициента размагничивания  $N$  от значений кажущейся магнитной восприимчивости для образцов изометрической формы**

$\chi, 10^3$ СГСМ	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
$N$	4.12	4.06	4.00	3.93	3.86	3.80	3.75	3.71	3.66	3.62	3.58	3.55	3.48

**12.1.4** Определение намагниченности горных пород и полезных ископаемых по данным измерений вертикальной составляющей магнитного поля в скважинах и шурфах выполняется по скачкам магнитного поля  $\Delta Z$ , наблюдаемым вдоль оси скважины (шурфа) при пересечении контакта сред различной намагниченности. Разность вертикальной составляющей намагниченности контактирующих сред находятся по формуле

$$\Delta J_z = \Delta Z / (4\pi), \quad (12.7)$$

По магнитному полю на участках с пересечённым рельефом намагниченность горных пород можно определить в случае корреляции изменений магнитного поля и рельефа. При тесной корреляции намагниченность оценивается в предположении, что она однородна. Она определяется на основании сравнения графиков наблюденного магнитного поля  $Z_a$  или  $(\Delta T)_a$  с теоретическими  $Z_{a,T}$  или  $(\Delta T)_{a,T}$ . Для пород принимается такая намагниченность, при которой корреляция разностных значений  $Z_a - Z_{a,T}$  или  $(\Delta T)_a - (\Delta T)_{a,T}$  с рельефом практически отсутствует. В более сложных случаях (трёхмерные формы рельефа, чередование слоёв с разной намагниченностью и т. п.) намагниченность пород определяется по специальным программам. Для вычисления намагниченности целесообразно использовать ПК.

Намагниченность горных пород может быть определена по наблюдениям магнитного поля вдоль профилей над участками с известным геологическим разрезом. Как и в предыдущем случае, она оценивается посредством сравнения графиков наблюденного магнитного поля с теоретическими. Часто для этого достаточно рассчитать намагниченность по формуле

$$J = \Delta Z / (2\pi), \quad (12.8)$$

где  $\Delta Z$  – интенсивность аномалии  $Z_a$  или  $(\Delta T)_a$ .

В геологически открытых районах уровень отсчёта интенсивности аномалий следует определять по значениям магнитного поля над комплексами горных пород, намагниченность которых известна из данных измерений  $\chi$  и  $J_n$  образцов.

Определение намагниченности рыхлых пород (почвенный слой, делювий) может быть выполнено путём измерений магнитного поля над специально сделанным шурфом (закопушкой); первое измерение  $\Delta Z_1$  осуществляется до рытья, второе  $\Delta Z_2$  – после рытья шурфа (закопушки). Намагниченность удалённой из шурфа горной породы находят по формуле

$$J = (\Delta Z_2 - \Delta Z_1) / \Delta Z_T, \quad (12.9)$$

где  $\Delta Z_T$  – теоретически вычисленное значение магнитного поля фиктивного тела,

## ТКП 17.04-39-2012

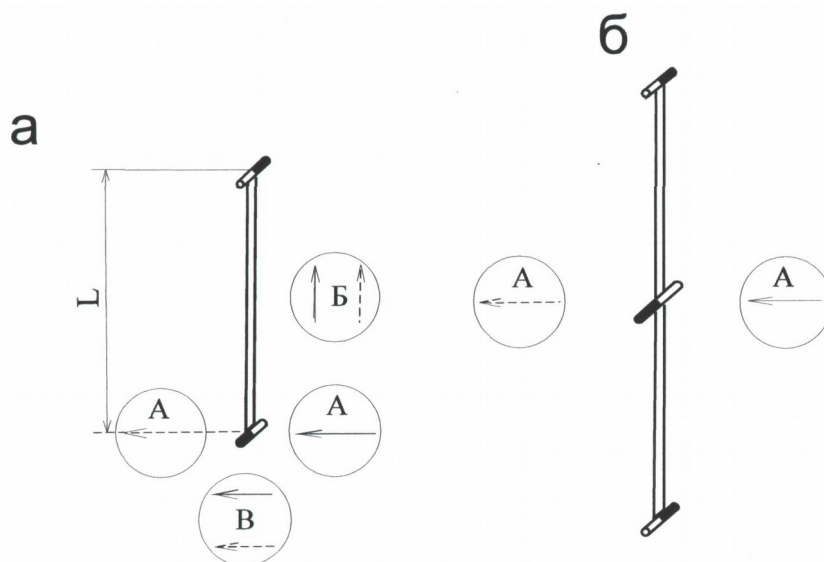
заполняющего шурф, в предположении, что оно однородно и намагниченность его равна единице.

Поскольку в этом способе требуется измерять небольшие приращения магнитного поля, контрольный пункт для измерений магнитного поля следует располагать вблизи исследуемой точки. Вырытая порода должна быть удалена от точки измерений. Измерения высоты магнитометра и размеров шурфа (закопушки) должно обеспечивать погрешность расчёта  $J$  не более  $\pm 20\%$ .

### 12.2 Аппаратура и методика определения магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых

**12.2.1** Измерения  $\chi$  и  $J_n$  образцов горных пород и полезных ископаемых выполняют с помощью астатических магнитометров МА-21, МАЛ-036, серии ЛАМ-20, МГ-2 (со специальной подставкой для измерения образцов размерами более  $20 \times 20 \times 20$  мм) или с применением несерийных моделей (стационарные астатические установки). На образцах кубической формы с помощью астатических магнитометров можно определять также коэффициент анизотропии  $\chi$ . Магнитная восприимчивость на астатических магнитометрах измеряется в земном или искусственном магнитном поле, которое по напряжённости близко к земному.

Астатические магнитометры относятся к высокочувствительным приборам с наиболее простой конструкцией измерительных систем. МЧЭ магнитометра является астатическая система, подвешенная на упругой нити, состоящая из двух или трёх магнитов, укрепленных на жёстком стержне (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Схема расположения образцов относительно двух- (а) и трехмагнитной (б) астатических систем при измерении  $J_{ri}$  и  $J_n$  по методу А.А. Логачева (А), Г.П. Карпова (Б) и Г.М. Авчяна (В).**

Примечание – Стрелкой показана измеряемая составляющая  $J$ : сплошной линией для основного, пунктиром для дополнительного положения образца.

Магниты имеют противоположную ориентировку полюсов, так что суммарный магнитный момент системы близок к нулю. Благодаря этому она слабо взаимодействует с однородным магнитным полем, но приобретает высокую чувствительность к градиенту магнитного поля, создаваемого образцом.

Астатические магнитометры подразделяются на два типа: оптико-механические с визуальным оптическим отсчётным устройством угла поворота системы (МГ-2, МА-21, МАЛ-36, ЛАМ-22 и др.) и электронные с отрицательной обратной связью (ООС), в которых угол поворота системы с помощью фоточувствительного детектора

преобразуется в электрическое напряжение и далее — в ток катушки ООС, возвращающий систему в исходное состояние (ЛАМ-23, ЛАМ-24).

Измерения  $\chi$  горных пород и полезных ископаемых в образцах и в естественном залегании производят с помощью индукционных приборов типа КТ-3, КТ-5, ПИМВ. Измерения  $\chi$  горных пород и определения ее коэффициента анизотропии на образцах кубической формы с ребром 20 — 40 мм выполняют в лабораторных условиях на индукционных мостах магнитной восприимчивости ИМВО, KLY-1, KLY-2. Измерения  $J_n$  слабомагнитных сред производятся на рок-генераторах ИОН-1, Йр-2, ЙР-4.

Основные параметры приборов для измерения  $\chi$  и  $J_n$  приведены в таблицах 11, 12, 13, 14.

**Таблица 11 – Поправки на неровности поверхности исследуемой среды при работе с приборами КТ-5 и ПИМВ**

Неровности поверхности, мм	Поправочный множитель
1	1.07
2	1.15
3	1.24
4	1.35
5	1.44
6	1.55
7	1.66
Примечание - Таблица приведена из инструкции по эксплуатации прибора КТ-3.	

**12.2.2** Измерения  $\chi$  и  $J_n$  магнитометрическим методом проводятся на астатических магнитометрах. Фактически измеряют  $J_i$  и  $J_n$ ; значение магнитной восприимчивости связано с  $J_i$  соотношением  $\chi = J_i / T_0$ ,  $T_0$  – намагничивающее поле.

Используются три основных метода измерений  $J_i$  и  $J_n$ , отличающиеся положением образца относительно магнитов системы, подвешенной вертикально (рисунок 2).

В серийных астатических магнитометрах для одновременного определения  $J_i$  и  $J_n$  используется метод равноудалённого положения образца (Г.П. Капралова). Метод А.А. Логачёва (или метод измерения в первом положении Гаусса на уровне магнита, в том числе на уровне центрального магнита трёхмагнитной системы) применяется для измерения  $J_n$ . Третий метод (или метод измерения во втором положении Гаусса под магнитом) используется для определения  $J_n$  на приборах МГ-2 (с подставкой Г.М. Авчяна) и серии ЛАМ-20.

Во всех трёх методах как для одновременного определения  $J_i$  и  $J_n$  так и только  $J_n$  измерения необходимо выполнять при 12 положениях образца.

Для определения каждой из трёх ортогональных составляющих  $J_i$  и  $J_n$  регистрируются показания прибора ( $\Delta n = n - n_0$ ,  $n_0$  – отсчёт без образца) при четырёх положениях образца:  $\Delta n_k^0$ ,  $\Delta n_{-k}^0$ ,  $\Delta n_k^{\delta}$ , и  $\Delta n_{-k}^{\delta}$ .

Таблица 12 - Астатические магнитометры серийного производства

Марка	Страна, Завод-изготовитель	Принцип измерения	Астатическая система		Отсчётное устройство	Число диапазонов измерений	Время установления, с „„,отсчёта,	Максима- льные размеры образцов, мм	Цена деления или единицы младшего разряда шкалы, нТл
			тип	длина, мм					
МГ-2	Российская Федерация, Уфимский з-д геофизического приборостроения	Оптико- механический	Двух магнитная	70	Коллиматор	1	3	70×70×70	$5 \cdot 10^{-1} \div 2$
МА-21	Российская Федерация, з-д «Геологоразведка», НПО «Рудгеофизика»	То же	То же	150	То же	4	20	70×70×70	$(5 \div 7) \cdot 10^{-2}$
МАЛ- 036	Российская Федерация, з-д «Геологоразведка», НПО «Рудгеофизика»	То же	Двух магнитная  Трёх магнитная	150  2× 150	Коллиматор или выносная шкала с лазерным осветителем	5	20  20	70×70×70	$(2 \div 5) \cdot 10^{-2}$ (с коллиматором) $(5 \div 10) \cdot 10^{-3}$ (с выносной шкалой)
ЛАМ- 22	Словакия предприятие «Геофизика»	То же	Двух магнитная Трёх магнитная	120 2× 120	Выносная шкала	1	6—20	80×80×80	$(5 \div 50) \cdot 10^{-3}$
ЛАМ-	Словакия	Электронный,	Двух	120	Цифровой	6	2—4	80×80×80	$10^{-2}$

23	предприятие «Геофизика»	автокомпен- сационный	магнитная		вольтметр				
ЛАМ- 24	Словакия предприятие «Геофизика»	То же	То же	То же	То же	6	2—4	80×80×80	$(1 \div 5) \cdot 10^{-3}$

Таблица 13 - Рок-генераторы серийного производства

Марка	Страна, завод-изготовитель	Определяемые параметры, способ	Пределы измерений; число диапазонов	Форма и размеры образцов, мм	Цена деления или единицы младшего разряда шкалы, А/м
ИОН-1	Российская Федерация, завод «Геологоразведка», НПО Рудгеофизика»	Проекция $J_n$ на плоскость вращения по стрелочному индикатору, угол—по лимбу	$(0.1 \div 200) \cdot 10^{-3}$ А/м; 6	Куб с ребром 24 мм	$1.2 \cdot 10^{-5}$ $(1.7 \cdot 10^{-10} \text{ А} \cdot \text{м}^2)$
ЙР-2	Словакия, предприятие «Геофизика»	Две проекции $J_n$ на плоскость вращения по двум стрелочным индикаторам	$\frac{0.1 \div 10^4 \text{ нТл}}{0.08 \div 8000 \cdot 10^{-3}}$ А/м; 5	Куб с ребром 20 мм	$1.6 \cdot 10^{-5}$ $(1.3 \cdot 10^{-10} \text{ А} \cdot \text{м}^2)$
ЙР-4	Словакия, предприятие «Геофизика»	То же, по двум цифровым вольтметрам	$\frac{0.06 \div 10^4 \text{ нТл}}{0.06 \div 8000 \cdot 10^{-3}}$ А/м; 5	Куб с ребром 20 мм; цилиндр, диаметр 25.4 мм; высота 22 мм	$1 \cdot 10^{-6}$ $(1 \cdot 10^{-11} \text{ А} \cdot \text{м}^2)$

Таблица 14 – Измерители магнитной восприимчивости серийного производства

Марка	Страна, завод-изготовитель	Минимальная цена деления $\chi$ , ед. СИ	Диапазон измерений $\chi$ , ед. СИ	Устройство датчика	Принцип измерений	Индикатор; число диапазонов	Размеры образца, мм	
							Минимальные	оптимальные
ПИМВ	Российская Федерация, ГНПП «Геологоразведка»	$10^{-6}$	$10^{-4} \div 1.0$ $10^{-5} \div 1.0$	Катушка индуктивности	Частотный метод	Цифровое табло; 2	60	Диаметр 120, высота 60
ИМВО	Российская Федерация, ГНПП «Геологоразведка»	$10^{-10}$	$10^{-7} \div 2.0$	Мост индукции с соленоидом	Автокомпенсационный по э.д.с. разбаланса моста	Четырёх-разрядное десятичное табло	—	$D_{\max}=80$ мм $H_{\max}=80$ мм Номинальный объём образца— $100 \text{ см}^3$
КТ-5	Словакия, предприятие «Геофизика»	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4} \div 1$	Катушка индуктивности	Частотный метод	Цифровое табло; 3	60	Диаметр 120, высота 60
KLY-1	Словакия, предприятие «Геофизика»	$1 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6} \div 0.1$	Мост индукции с соленоидом	Компенсационный по э.д.с. разбаланса моста	Многооборотный потенциометр; 5	—	Кубик с ребром 20; цилиндр: диаметр 25.4; высота 22
KLY-2	Словакия, предприятие «Геофизика»	$4 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-6} \div 0.2$	Мост индукции с соленоидом	Автокомпенсационный по э.д.с. разбаланса моста	Цифровой вольтметр; 11	—	То же, с датчиком KLY=2.1 Кубик с ребром 40; цилиндр: диаметр 46; высота 22

**Таблица 15 - Рекомендации по использованию измерителей магнитных свойств горных пород**

Раздел магниторазведки	Измерительные приборы	
	Основные	Дополнительные
Площадная и профильная магнитные съёмки (собственно магниторазведочные работы)	Астатические магнитометры—работа в полевых и стационарных лабораториях ПИМВ, КТ-5—измерения в полевых условиях (обнажения, скважины, кернохранилища)	KLY-1, KLY-2, ИМВО — в полевых и стационарных лабораториях
Палеомагнетизм	Рок-генераторы; Универсальные криогенные магнитометры (SQUID-магнитометры)	астатические магнитометры: МАЛ-36 и ЛАМ-22,23,24
Магнитные измерения при изучении ореолов рассеяния	ПИМВ, КТ-5	ИМВО, KLY-1, KLY-2
Изучение магнетизма горных пород	Астатические магнитометры; рок-генераторы; каппа-мосты: ИМВО, KLY-2; универсальные криогенные магнитометры (SQUID-магнитометры)	

## ТКП 17.04-39-2012

Индексом  $k$  обозначены оси координат  $x, y, z$  образца : индекс  $k$  соответствует прямому,  $-k$  – обратному (после изменения ориентировки  $k$ -ой компоненты  $J$  на  $180^\circ$ ) положениям образца, а индексы  $o$  и  $\delta$  — основному и дополнительному положениям (на рисунке 2 показаны сплошной и пунктирной стрелкой соответственно).. Положение  $\delta$  используется для уменьшения погрешностей, обусловленных несовпадением магнитного центра образца с центром держателя и влиянием других составляющих намагниченности на астатическую систему.

По данным измерений  $\Delta n$  вычисляют средние значения показаний  $k_i$  и  $k_n$ , пропорциональные  $k$ -м составляющим  $J_{ik}$  и  $J_{nk}$

$$K_i = (\Delta n_{k^o}^o + \Delta n_{k^\delta}^o + \Delta n_{-k^o}^o + \Delta n_{-k^\delta}^o)/4, \quad (12.10)$$

$$K_n = (\Delta n_{k^o}^o + \Delta n_{k^\delta}^o - \Delta n_{-k^o}^o - \Delta n_{-k^\delta}^o)/4, \quad (12.11)$$

где  $K_i$  — это  $x_i, y_i$  или  $z_i$ ;  $K_n$  — это  $x_n, y_n$ , или  $z_n$ .

Модуль  $J_n$ , значения кажущейся магнитной восприимчивости  $\chi_k'$  по осям и среднего значения  $\bar{\chi}$  образца вычисляют по формулам:

$$J_n = \frac{\varepsilon_M}{V} \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}, \quad (12.12)$$

$$\chi_k' = \frac{\varepsilon_M}{V} \cdot \frac{K_i}{T_o}; \quad \bar{\chi} = \frac{\chi_x' + \chi_y' + \chi_z'}{3}, \quad (12.13)$$

где  $\varepsilon_M$  — цена деления шкалы магнитометра в единицах магнитного момента;  $V$  — объём образца, определяемый гидростатическим методом;  $T_o$  — намагничивающее поле. Значение  $\varepsilon_M$  определяется по формуле:

– на уровне нижнего магнита (А, рисунок 2)

$$\varepsilon_M = \frac{\varepsilon}{A_M}, \quad (12.14)$$

– в равноудалённом положении (Б, рисунок 2)

$$\varepsilon_M = \frac{\varepsilon}{B_M}, \quad (12.15)$$

где  $A_M$  и  $B_M$  — коэффициенты, учитывающие положение относительно МЧЭ фиксированных позиций установки измеряемых образцов (у магнитометра МА-21 их 9, приводятся в технической инструкции) на уровне нижнего магнита и в равноудалённом положении соответственно, а  $\varepsilon$  — цена деления магнитометра.

Величина  $\varepsilon$  определяется с помощью градуировочной катушки, входящей в комплект серийных астатических магнитометров. Она устанавливается вместо образца, от градуировочного устройства в неё подаётся ток  $i$  и регистрируются показания прибора  $\Delta n$ . Значения  $\varepsilon$  вычисляют по формуле:

– на уровне нижнего магнита (А, рисунок 2)

$$\varepsilon = A_M K \cdot i / (\Delta n) \quad (12.16)$$

– в равноудалённом положении (Б, рисунок 2)

$$\varepsilon = B_M K \cdot i / (\Delta n), \quad (12.17)$$

где  $K$  — постоянная катушки (по свидетельству об аттестации).

Для ориентированных образцов вычисляют азимут  $a$  и наклонение  $j$  вектора  $J_n$ . Когда образец ориентирован по странам света (ось  $x$  на север,  $y$  – на восток,  $z$  – вниз),  $a$  и  $j$  рассчитывают следующим образом:

$$a = \arctg(Y_n / X_n), \tag{12.18}$$

$$J = \arctg(Z_n / \sqrt{X_n^2 + Y_n^2}), \tag{12.19}$$

При иной ориентировке образца  $a$  и  $j$  определяются, как указано в пунктах 13.3.1 и 13.4.1 настоящего ТКП. При массовой обработке материалов измерений магнитных свойств образцов магнитометрическим методом целесообразно использовать ПК. В качестве алгоритма программы вычислений магнитных характеристик в EXEL можно использовать таблицу журнала измерений (таблица 16).

Способы измерения  $\chi$  и  $J_n$  магнитометрическим методом основаны на теории взаимодействия магнитных диполей. При отборе образцов и выполнении измерений нужно учитывать, что магнитное поле образца с точностью до 5% эквивалентно полю диполя на расстоянии от его центра  $r > 3b$  ( $b$  – максимальный размер образца) при условии, что  $b/m \leq 2$  ( $m$  – минимальный размер образца). В случае  $r < 3b$  и  $b/m > 2$  в результаты измерений вводится поправка за недипольность образца. Поправочный коэффициент  $K_r$ , на который следует умножить полученные значения  $\chi$  и  $J_n$ , рассчитывается теоретически. Он зависит от размеров и формы образца, его положения относительно МЧЭ и размеров последнего. В общем случае коэффициент  $K_r$  равен отношению отсчёта магнитометра от однородного образца заданной формы, к отсчёту под воздействием диполя с таким же, как у образца, магнитным моментом (при условии совпадения центров диполя и образца).

**12.2.3** Измерения объёмной магнитной восприимчивости индукционным методом основаны на сравнении исследуемой среды со средой,  $\chi$  которой известна (пункт 12.3.2), по их влиянию на параметры измерительного преобразователя (датчика).

**Таблица 16 – Журнал измерений и обработки остаточной и индуктивной намагниченности образцов на астатическом магнитометре**

Дата..... Участок.....Скв..... ..Глубина (№).....

V, см <sup>3</sup>	измеряемая ось	X		Y		Z	
		в	н	в	н	в	н
$\varepsilon_M, 10^6$ СГС	к МЧЭ						
$\varepsilon_M / V$	от МЧЭ						
	$\Sigma k_B / \Sigma k_H$						
$k_i = (\Sigma k_B + \Sigma k_H) / 4$							
$k_n = (\Sigma k_H - \Sigma k_B) / 4$							
7		$J_{ix} =$		$J_{iy} =$		$J_{iz} =$	
		$J_{nx} =$		$J_{ny} =$		$J_{nz} =$	

$$A \dots a \dots j \dots J_i \dots J_n \dots Q \dots \chi \dots$$

$$J_i = \frac{\varepsilon_M}{V} (k_{ix} + k_{iy} + k_{iz}) / 3 ; J_n = \frac{\varepsilon_M}{V} \sqrt{k_{nx}^2 + k_{ny}^2 + k_{nz}^2} ; Q = J_n / J_i ; \chi = J_i / H ;$$

$$a = \arctg(Y_n / X_n); j = \arctg(Z_n / \sqrt{X_n^2 + Y_n^2})., \quad (12.20)$$

В таблице 16 приведён пример обработки измерений  $J_n$  и  $J_i$  при размещении образца в равноудалённом от магнитов МЧЭ положении. В тексте « $k_-$ » – соответствует « $k_B$ » таблицы и « $k$ » – « $k_n$ ». При измерениях на уровне магнита (первое положение Гаусса) « $k_-$ » соответствует – «измеряемая ось от МЧЭ» и « $k$ » – «измеряемая ось к МЧЭ», «А» – азимут линии маркировки.

Приборы КТ-5 и ПИМВ имеют датчики накладного типа (прикладываемые к исследуемой среде внешней стороной, именуемой рабочей поверхностью). Для этих приборов характерно резкое убывание чувствительности к магнитной восприимчивости среды с увеличением расстояния от рабочей поверхности датчика.

Над последней выделяется область, заполнение которой однородной по  $\chi$  средой вызывает максимальное при данной магнитной восприимчивости изменение параметров датчика, фиксируемое максимальным отсчётом. Эту область называют областью «насыщения», поскольку дальнейшее увеличение размеров исследуемой среды не влияет на показания прибора в пределах погрешности измерений (до 1–2%).

У приборов КТ-5 и ПИМВ область насыщения описывается соосной с датчиком цилиндрической поверхностью диаметром 120 мм и высотой (над рабочей поверхностью) 80 мм.

Изменчивость чувствительности к  $\chi$  среды в пределах области насыщения определяет зависимость результатов измерений приборами КТ-5 и ПИМВ от:

- зазора между поверхностями исследуемой среды и датчика;
- неровностей;
- кривизны поверхности исследуемой среды;
- размеров образца, когда они меньше насыщенных;
- неоднородности распределения магнитных компонентов в объёме среды.

Высокая точность измерений  $\chi$  может быть обеспечена в том случае, если средства градуировки по перечисленным факторам полностью соответствуют исследуемому объекту.

Влияние перечисленных выше первых четырех факторов на результаты измерений прибором КТ-5 описаны в инструкции по эксплуатации, требования которых необходимо строго выполнять. В приборе ПИМВ предусмотрено автоматическое введение поправочных коэффициентов на влияние диаметра образца керна. Влияние последнего из перечисленных факторов в связи с большим разнообразием характера неоднородности горных пород и полезных ископаемых недостаточно изучено, поэтому приборы КТ-5 и ПИМВ не рекомендуется применять для измерения  $\chi$  сред с высокой неоднородностью по магнитной восприимчивости.

Измерения магнитной восприимчивости сильномагнитных сред ( $\chi > 10000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГСМ) должны выполняться на обнажениях или образцах с «насыщенными» размерами<sup>1</sup>, так как в этом случае необходимо учитывать коэффициент размагничивания, точное знание которого при применении накладных датчиков известно только для среды, ограниченной плоской поверхностью. Истинная магнитная восприимчивость определяется по формуле

$$\chi = \frac{\chi'}{1 - 2\pi\chi'},$$

(12.21)

где  $\chi'$  – кажущаяся магнитная восприимчивость среды, вычисленная из измеренного значения  $\chi_{\text{изм}}$  с введением поправки за неровности поверхности среды

<sup>1</sup> Среда, заполняющая область «насыщения» именуется средой с насыщенными размерами.

(таблица 11).

**12.2.4** Приборы KLY-1, KLY-2 и ИМВО имеют датчики с внутренней рабочей областью (датчики проходного типа), расположенной в центре соленоида. Она для датчика прибора KLY-1 и датчика типа KLY-2.1 прибора KLY-2 описывается поверхностью цилиндра диаметром 24 мм и высотой 38 мм (по оси соленоида). Для датчика типа KLY-2.2 прибора KLY-2 её размеры составляют: диаметр 46 мм, высота 40 мм. У прибора ИМВО диаметр полости катушек 80 мм, высота 80 мм и максимальный объём измеряемого образца 400 см<sup>3</sup>. В этой области чувствительность датчиков сохраняется постоянной с погрешностью не более 1.5%. Исследуемый образец намагничивается практически однородным магнитным полем вдоль оси соленоида. Методика измерений образцов на приборах KLY-1, KLY-2 и ИМВО подобна методике измерений магнитометрическим методом.

При измерении  $\chi$  с помощью KLY-1 или KLY-2 с датчиком KLY-2.1 образец в форме куба с ребром 20 мм или цилиндра диаметром 24,5 мм и длиной 22 мм с помощью специального зажима вносится в центр соленоида. Последовательно измеряя ориентировку образца в зажиме, измеряют  $\chi$  по трём взаимно перпендикулярным осям  $x, y, z$  ( $\chi_x, \chi_y, \chi_z$ ), а затем вычисляют  $\bar{\chi}_{\text{изм}}$ .

При работе на приборах ИМВО и KLY-2 с датчиком KLY-2.2 размер ребра куба увеличивается в соответствии с техническими описаниями этих приборов. Приборы описываемого типа градуируются при определённом объёме образца  $V_0$ . Отличие измеренного образца по объёму  $V$  учитывается по формуле

$$\bar{\chi} = \bar{\chi}_{\text{изм}} V_0 / V$$

(12.22)

При изучении коэффициента анизотропии  $\chi$  дополнительно измеряются значения  $\chi$  по всем диагональным направлениям (через 45° относительно осей  $x, y, z$ ). Вычисляются составляющие тензора магнитной восприимчивости, по которым в соответствии с методикой, изложенной в инструкции по эксплуатации приборов KLY-1, KLY-2 и ИМВО, рассчитываются значения  $\chi$  по осям эллипсоида анизотропии, коэффициент  $\lambda_\chi$  и элементы ориентировки эллипсоида. Вычисления производятся на ПК.

Помимо указанных выше пяти факторов при изучении магнитной восприимчивости необходимо учитывать возможные отличия результатов измерений  $\chi$  индукционным и магнитометрическим методами, обусловленные различием физических принципов, на которых они основаны. При измерении  $\chi$  в переменном магнитном поле проявляются два физических явления: потери на гистерезис и потери на токи Фуко. Интенсивность проявления этих процессов зависит от магнитной жёсткости магнитных минералов, от присутствия и характера включений в исследуемой среде, обладающих высокой электрической проводимостью. При использовании накладных датчиков в различии результатов измерений  $\chi$  магнитометрическим и индукционным методами проявляется также влияние неоднородности магнитного поля, создаваемые этими датчиками. Дополнительный вклад в это различие вносит зависимость магнитной восприимчивости от напряжённости магнитного поля, которая даже в слабых магнитных полях оказывается значительной.

Учёт ранее рассмотренных пяти факторов путём введения поправок сопряжён со значительными трудностями и практически производится с большими погрешностями. Влияние причин, определяемых принципом измерений, в настоящее время слабо изучено, методика их учёта не разработана. Результаты измерений  $\chi$  индукционным методом в обязательном порядке контролируются измерениями магнитометрическим методом. Объём контрольных работ должен быть не менее 5—10%. Контролю подвергаются измерения  $\chi$  на всех петромагнитных типах пород.

## ТКП 17.04-39-2012

Сопоставлением полученных данных оцениваются погрешности определений  $\chi$ , которые должны быть учтены при окончательной обработке материалов.

**12.2.5** Для определения  $J_n$  образцов очень слабомагнитных пород ( $J_n < 20 \cdot 10^{-6}$  СГСМ) целесообразно использовать индукционные измерители остаточной намагниченности (рок-генераторы) типа ИОН-1, ЙР-2, ЙР-4. Достоинство их состоит в том, что при высокой чувствительности они обладают хорошей помехозащищённостью и могут использоваться при наличии интенсивных магнитных помех. По этим параметрам они превосходят астатические магнитометры, оснащённые трёхмагнитной астатической системой (МАЛ-036) и серии ЛАМ-20), для которой также характерна высокая помехозащищённость.

Примечание – В настоящее время существуют значительно более чувствительные универсальные приборы – криогенные магнитометры (SQUID-magnetometers) типа приборов MPMS американской фирмы Quantum Design с чувствительностью  $10^{-8}$  СГС, а также SQUID-магнитометры способные измерять магнитный момент величиной  $10^{-11}$  СГС.

### 12.3 Градуировка аппаратуры

**12.3.1** Для градуировки магнитометров, используемых при определении магнитных свойств образцов, следует применять градуировочные устройства, входящие в комплект серийных приборов. Такие устройства обычно состоят из градуировочной катушки, имитирующей поле магнитного диполя, и градуировочного пульта. Магнитный момент градуировочной катушки равен  $Ki$ , где  $i$  – ток в катушке, а  $K$  – ее постоянная, указанная в свидетельстве об аттестации. Несерийные градуировочные устройства допускаются к применению в порядке исключения и только при наличии официального свидетельства об аттестации; при этом погрешность определения постоянной  $K$  должна быть не выше 0,5–1,0%.

Градуировка астатических магнитометров МА-21, МАЛ-036 и серии ЛАМ-20, а также контроль их цены деления должны выполняться с помощью приданных к приборам градуировочных устройств. Градуировка прибора МА-21 производится после окончания монтажа и юстировок. Она выполняется для всех фиксированных позиций каретки стола для образцов с обеих сторон от магнитометра для измерительного положения на уровне нижнего магнита и с одной стороны для равноудаленного положения. Градуировка осуществляется без магнита чувствительности или при неизменном положении последнего. Перед градуировкой необходимо отрегулировать положение стола для образцов относительно астатической системы в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. Определения цены деления осуществляются с двукратным повторением. Ток в градуировочной катушке измеряется с помощью дополнительного многопредельного миллиамперметра класса 0,2 с поддиапазонами 0,2; 1,0; 5,0 и 25 мА, подключенного в цепь последовательно с градуировочной катушкой. Градуировку можно считать выполненной если погрешность измерений цены деления для каждой позиции не выходит за пределы  $\pm 1,5\%$ .

В процессе эксплуатации прибора МА-21 необходимо осуществлять контроль за изменением цены деления магнитометра, используя одну-две позиции каретки стола для образцов. Для контроля цены деления применяется градуировочное устройство, входящее в комплект прибора. Фиксированные позиции выбираются с таким расчетом, чтобы при токе, вызывающем полное отклонение стрелки миллиамперметра (или близком к нему), отклонение астатической системы было 50–55 делений. Частота контроля цены деления определяется ее стабильностью во времени и устанавливается экспериментально. Периодичность контроля должна обеспечивать определение цены деления с погрешностью не более  $\pm 1,5\%$  на любой момент работы прибора. В начальный период эксплуатации прибора необходимо выполнять ежедневный и внутрисменный (утром, в полдень и вечером)

контроль; руководитель работ должен проанализировать полученные результаты и установить частоту проверок на последующее время; однако ежедневный однократный контроль (перед началом измерений) проводится в обязательном порядке. Цена деления должна контролироваться также при изменении положения магнита чувствительности.

Градуировка астатических магнитометров МАЛ-036 и серии ЛАМ-20 и контроль их цены деления производятся аналогично прибору МА-21 в соответствии с указаниями приданной к ним инструкции по эксплуатации.

Астатический магнитометр МГ-2 не имеет градуировочного устройства. При работе со специальной подставкой для градуировки прибора МГ-2 может быть использовано градуировочное устройство магнитометра МА-21. Требования к градуировке и контролю цены деления прибора МГ-2 аналогичны предыдущим.

Для измерения магнитной восприимчивости образцов горных пород и руд с помощью астатических магнитометров необходимо знать значение составляющей напряженности магнитного поля, вызывающей индуктивную намагниченность образца. Оно должно быть определено с погрешностью не более  $\pm 0,5\%$  в месте установки прибора до его монтажа.

Данные градуировки приборов, контроля цены деления и измерения магнитного поля относятся к обязательным сведениям первичной документации. Они фиксируются в журнале и оформляются графически.

Помимо контроля работы магнитометров регулярно в сроки, установленные действующими инструкциями по методам и средствам поверки, должна осуществляться периодическая поверка приборов вместе с их градуировочными устройствами. В это же время выполняются повторные измерения намагничивающего поля в месте установки прибора. Полученные результаты оформляются свидетельством по установленной форме.

**12.3.2** В основу индукционных средств измерений  $\chi$  положен относительный метод. Из всех областей применения этих средств для изучения  $\chi$  в слабых магнитных полях только магниторазведка выдвигает строгие ограничения на условия измерений магнитной восприимчивости, что связано с особенностями исследуемого ею стационарного земного магнитного поля. Для обеспечения задач магниторазведки необходимы такие средства поверки, которые позволяют согласовать результаты измерений  $\chi$  индукционными приборами разных типов между собой и с данными измерений магнитометрической аппаратурой. Этому условию в наибольшей степени удовлетворяют стандартные образцы магнитной восприимчивости (далее – СО МВ), изготовленные из природных сред или искусственных смесей и аттестованные магнитометрическим методом в земном магнитном поле. Форма и размеры стандартных образцов определяются конструкцией датчика, а состав комплекта СО МВ, каждый из образцов которого воспроизводит одно значение  $\chi$ , – диапазоном измерений прибора и характером его градуировочной характеристики.

С помощью СО МВ осуществляется первичная и периодические поверки приборов, выполняемые через определенные промежутки времени, установленные инструкциями по методам и средствам поверки, аналогичные поверки проходят и сами СО МВ. В межповерочный период в повседневной работе для контроля работоспособности и градуировочной характеристики прибора используются рабочие средства поверки. Ими служат или СО МВ, или имитаторы СО МВ (тесты). Тесты представляют собой образцы, изготовленные подобно стандартным. Форма и размеры их могут быть иными, чем у СО МВ. Аттестация тестов производится путем сличения с СО МВ с помощью средств измерений того же типа, для контроля которого они предназначены.

Для ускорения решения задачи метрологического обеспечения индукционных средств измерений  $\chi$ , указанных выше, метрологическим службам объединений и

## ТКП 17.04-39-2012

управлений организовывается изготовление на местах СО МВ на уровне стандартных образцов предприятий (далее – СОП МВ). Работы должны выполняться под методическим руководством отраслевой головной организации по СО МВ. Для обеспечения контроля состояния приборов в период подготовки СОП МВ должны быть изготовлены тесты, которые временно аттестовываются, используя заводскую градуировку прибора. После завершения работ по изготовлению, аттестации и утверждения СОП МВ проводится поверка средств измерения и сличаются результаты временной аттестации тестов с уточнённой градуировочной характеристикой прибора. В случае несоответствия заводской градуировке в ранее выполненные измерения вводятся поправки. Тесты аттестуются по созданным СОП МВ.

**12.3.3** Приборы KLY-J и KLY-2 относятся к высокочувствительным и прецизионным средствам измерений. Случайная приведенная погрешность измерений для них находится в пределах 0,1–0,3 %. Систематическая погрешность градуировки, по данным изготовителя, не превосходит 3 %. Для поверки этих приборов необходимы СО МВ на диапазон  $\chi$  от  $0,002 \times 10^{-3}$  до  $200 \times 10^{-3}$  ед. (правильно ли указан диапазон) СИ. Для прибора KLY-1 и KLY-2 с датчиком KLY-2.1 требуются СО МВ в форме куба с ребром 20 мм, а KLY-2 с датчиком KLY-2.2 – с ребром 40 мм. Удобно использовать тесты тех же размеров. Их можно изготовить из горных пород, выпилив кубы и подшлифовав их поверхность. СО МВ и тесты должны иметь маркировку с указанием типа средства поверки (присвоенного при регистрации его), номера и условно выбранного направления осей координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (оси параллельны ребрам куба).

При временной аттестации тестам присваивается непосредственно измеренное значение  $\chi$  для каждой из осей  $\chi_x$ ,  $\chi_y$ ,  $\chi_z$  и среднее значение  $\chi$ . Результаты исследований тестов должны быть оформлены протоколом испытаний. Порядок измерения тестов на приборах KLY-1 и KLY-2 аналогичен последовательности измерений образцов указанных в пункте 12.2.1 настоящего ТКП.

Контроль прибора должен включать проверку стабильности градуировочной характеристики. В первый период применения прибора она производится ежедневно утром и вечером и выполняется посредством измерений тестов в конце шкалы каждого диапазона и в начале используемого в работе диапазона с наибольшей чувствительностью. После двухнедельного опыта руководитель работ должен определить необходимую полноту и периодичность контроля на дальнейший период.

При аттестации тестов с помощью СОП МВ им присваивается измеренное значение  $\chi$ , установленное по уточненной градуированной характеристике прибора.

**12.3.4** Для прибора КТ-5 СО МВ выполняются в форме цилиндра: диаметром 120 мм и высотой 80 мм. Удобны тесты в форме дисков диаметром 60 и высотой 20 ÷ 30 мм.

Порядок измерения  $\chi$  тестов для всех приборов одинаков: устанавливается нуль-пункт прибора, на рабочую поверхность датчика кладется тест, производится отсчет по шкале. Временная аттестация тестов производится аналогично таковой для тестов приборов KLY-1 и KLY-2. То же относится и к порядку контроля работоспособности и стабильности градуировочных характеристик прибора КТ-5.

**12.3.5** Для приборов ИОН-1, ИР-2, ИР-4 изготавливаются стандартные образцы остаточной намагниченности (далее – СО ОН) в форме кубов с ребром 20 (ИР-2, ИР-4) или 24 мм (ИОН-1). В отличие от стандартных образцов магнитной восприимчивости СО ОН аттестуются по модулю и направлению намагниченности  $J_r$ . Для контроля настройки фазового детектора прибора могут быть использованы тесты, придаваемые к приборам ИР-4.

Порядок измерений СО ОН и тестов описан в пункте 13.3.1 настоящего ТКП.

Изготовление СО ОН для рок-генераторов выполняется под руководством

соответствующей отраслевой головной организации по стандартным образцам.

Все данные о контроле работы приборов и поверке относятся к сведениям первичной документации. Для удобства проведения анализа работы прибора эти данные заносятся в отдельный журнал.

## **12.4 Правила отбора образцов горных пород и полезных ископаемых, документирование и представление результатов**

**12.4.1** В качестве ведущих признаков геологических сред, с которыми сопоставляются данные о магнитных свойствах, служат петрографическая классификация и стратиграфическое подразделение, вещественный состав и текстурные особенности горных пород и полезных ископаемых.

При отборе образцов необходимо учитывать нижеследующее.

**12.4.1.1** Магнитные свойства горных пород определяются свойствами и концентрацией входящих в их состав ферромагнитных минералов. Последние относятся к аксессуарам и не используются в петрографической классификации пород. Магнитные свойства слабомагнитных пород обусловлены суммарным влиянием парамагнитных породообразующих и ферромагнитных аксессуарных минералов (при концентрации последних до 0,01%).

**12.4.1.2** Между петрографическим подразделением пород и количественными показателями магнитных свойств в общем случае нет прямой связи. Некоторые разновидности горных пород разделяются по магнитным свойствам на ряд петромагнитных групп, имеющих различную формационную или фаціальную принадлежность.

**12.4.1.3** Магнитные свойства и концентрация ферромагнитных минералов, входящих в состав данной петрографической разновидности горной породы одного и того же возраста, изменяются в определенных пределах, обуславливая дисперсию магнитных свойств горной породы. Связь магнитных свойств отдельных образцов данной петрографической разновидности горной породы с ее средними характеристиками носит вероятностный характер и подчиняется логнормальному, а у слабомагнитных – нормальному закону. Часто наблюдается бимодальное распределение магнитных свойств, характеризующееся наличием двух максимумов на вариационной кривой, соответствующих пара- и ферромагнитным разновидностям пород.

**12.4.1.4** Магнитные свойства горной породы описываются численными статистическими характеристиками, закономерностями их пространственной изменчивости, а также связями со слоистостью, сланцеватостью, трещиноватостью, флюидалностью и т. п.

**12.4.1.5** Магнитные свойства горных пород изменяются при термодинамических воздействиях и в результате химических изменений. Горные породы из областей проявления эндогенных (контактовый и гидротермальный метасоматизм, метаморфизм) и гипергенных (выветривание) процессов, а также зон тектонических разрывов могут резко отличаться по магнитным свойствам от неизменённых разновидностей пород. Измененная горная порода отделяется от исходной, выделяется как самостоятельная разновидность с подразделением ее по степени изменения. Зоны проявления жильной или рудной минерализации выделяются и исследуются в качестве самостоятельных геологических объектов, группирующихся по минеральному составу.

**12.4.1.6** В зависимости от диапазона значений  $\chi$  и  $J_n$  и характера их распределения одна петрографическая группа пород соответствует одной, двум или более петромагнитным группам. Группирование пород по  $\chi$  и  $J_n$  проводится на основании изучения рядов распределения с величиной каждого следующего разряда изменяющейся по логарифмическому закону. При значении интервала

## **ТКП 17.04-39-2012**

распределения логарифмов 0.167, разряды рядов составляют: 0÷10, 10÷15, 15÷20, 20÷30, 30÷45, 45÷65, 65÷100 и т.п.; на логарифмических бланках с модулем 6.28 каждому такому разряду соответствует расстояние в 1 см.

**12.4.1.7** При выделении разновидностей горных пород учитываются геофизические и геохимические материалы, данные палеомагнитных исследований.

**12.4.1.8** Образцы должны быть представительными по макроскопическим признакам в отношении изучаемой разновидности горной породы и не должны содержать нехарактерных включений.

**12.4.1.9** В каждом исследуемом районе изучается влияние выветривания пород на их магнитные свойства с учетом состава, возраста пород, сравнивая свойства выветрелых (взятых с поверхности) и неизмененных (взятых из разведочных горных выработок) образцов горных пород. При отсутствии разведочных горных выработок оценить влияние выветривания можно путем изучения связи магнитных свойств и открытой пористости. Последняя возрастает пропорционально степени выветривания горных пород.

**12.4.2** Отбор образцов горных пород для изучения магнитных свойств проводится, исходя из результатов анализа материалов, выполненного в соответствии с указаниями, приведенными в пункте 12.1.2 настоящего ТКП. При этом методика отбора образцов, предусматриваемая проектом, должна быть различной для пород разного генезиса. Она определяется степенью однородности их состава и элементами залегания. Отбору образцов должны предшествовать рекогносцировочные исследования магнитных свойств горных пород в естественном залегании, по керну скважин и отдельным образцам, отобраным из различных сред при рекогносцировке. Проектная методика должна быть уточнена так, чтобы в максимальной степени обеспечивалось решение поставленной задачи при минимальном объеме работ.

Отбираемые образцы должны быть пригодны не только для измерения магнитных свойств, но и для исследования других физических параметров (плотность, упругие свойства, электрическое сопротивление, поляризуемость и т. д.). Форма отобранных образцов должна быть близкой к изометрической, а объем – около 100–300 см<sup>3</sup> (максимальные размеры ребра куба 70 мм).

**12.4.3** Для измерения направления вектора  $J_n$  отбираются образцы, ориентированные относительно либо элементов залегания пород, либо магнитного меридиана. Процесс отбора ориентированных образцов из обнажений и разведочных горных выработок заключается в следующем:

- отбивают образец требуемой формы и размеров;
- используя неровности излома, образец прикладывают к обнажению так, чтобы он занял свое первоначальное положение;
- на верхней грани или плоскости образца по горному компасу цветным карандашом наносят стрелку, направленную на север;
- на боковых гранях образца при помощи отвеса или уровня проводят линии сечения граней образца горизонтальной плоскостью.

После этого образец вынимают и проводят линию горизонта на остальных его гранях. При отборе ориентированных образцов из сильномагнитных сред пользуются солнечным компасом с подвижным лимбом.

При отборе образцов из слоев с хорошо выраженными поверхностями напластования, а также на образцах, имеющих плоскую грань, ориентировку проводят относительно элементов залегания пласта (элементов залегания плоской поверхности). Для этого отбивают образец требуемой формы и размеров, затем используя неровности излома, образец прикладывают к обнажению так, чтобы он занял свое первоначальное положение, и далее с помощью горного компаса наносят карандашом по подготовленной грани образца (плоскости напластования) линии простирания и падения со стрелкой в сторону падения; записывают азимут

простираения и угол падения. Для нанесения линий простираения и падения используется и нижняя (висячая) сторона образца, условно отметив ее знаком минус.

Погрешность ориентировки образцов относительно элементов залегания или магнитного меридиана и горизонтальной плоскости не должна превышать  $\pm 2,5^\circ$ .

Ориентированные образцы отбираются только из коренных обнажений. Нельзя отбирать ориентированные образцы из возвышающихся на местности скальных выступов (возможно их перемагничивание полем грозовых разрядов).

Примечание – Если исследования не носят специального характера.

**12.4.4** Количество отбираемых для измерений образцов должно быть достаточным для оценки средних значений намагниченности изучаемой породы с заданной точностью, с учетом ожидаемой дисперсии магнитных свойств. При малой дисперсии и унимодальности распределения магнитных свойств пород может оказаться достаточным отбор первых десятков образцов. При высокой дисперсии магнитных свойств и ярко выраженной их бимодальности необходимое количество образцов может быть очень большим; в этом случае следует сочетать массовые определения магнитной восприимчивости на обнажениях с помощью приборов ПИМВ и КТ-5 с измерениями  $J_n$  по ограниченному числу ориентированных образцов.

**12.4.5** Документирование отбора образцов горных пород и полезных ископаемых должно проводиться с соблюдением нижеследующих основных требований.

**12.4.5.1** На каждый образец заполняется этикетка, в которой указываются организация, проводящая отбор, участок работ или номенклатура листа топографической или геологической карты, номер буровой скважины (обнажения), глубина отбора (номер образца), макроскопическое определение породы, номер цифровой фотографии обнажения, географические координаты по данным GPS-навигатора.

Дата отбора и подпись отбирившего образец (индексация образцов производится в определенной системе, позволяющей однозначно определить место отбора каждого образца). Этикетка укладывается вместе с образцом в матерчатый мешочек.

**12.4.5.2** Документирование отбора производится также в полевом дневнике, куда вносят все сведения, указанные в пункте 12.4.5.1, описание обнажения и полное макроскопическое описание каждого образца; здесь же указывают элементы залегания пород и ориентировку их структурно-текстурных признаков; для участков сложного геологического строения делают зарисовки с нанесением на них точек отбора образцов, комментарии к цифровым фотографиям, географические координаты.

**12.4.5.3** Точки отбора образцов в зависимости от положения мест отбора наносят на топографическую карту, план горной выработки или копию геологической колонки буровой скважины.

**12.4.5.4** В полевом лагере на каждый образец несмываемой тушью или нитроэмалевой краской наносят маркировку, содержащую номенклатуру участка или листа, номер буровой скважины (обнажения), глубину (номер образца) и год отбора, «поднимаются» элементы ориентировки на ориентированных образцах.

Документация отбора образцов должна обеспечивать преемственность работ в случае их возобновления в данном районе в будущем и точное сопоставление сведений о магнитных свойствах с результатами измерений магнитного поля. Соответствующие данные и зарисовки должны быть даны на этикетке и в полевом дневнике.

**12.4.6** Результаты измерений намагниченности и магнитной восприимчивости, в зависимости от используемой аппаратуры, регистрируются в специальных полевых (лабораторных) журналах или на магнитных носителях, где должны быть приведены

## **ТКП 17.04-39-2012**

такие же данные, как при отборе образцов: сведения о районе, участке, скважине (обнажении), о породе, на которой выполнено измерение, и т. п.

**12.4.7** В результате изучения магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых должны быть представлены нижеследующие материалы, помещаемые в отчет.

**12.4.7.1** Карта фактического материала, на которой должны быть показаны места отбора образцов и непосредственных измерений  $\chi$  на обнажениях, расположение буровых скважин, исследованных с помощью каротажа магнитной восприимчивости (далее – КВМ), а также участков определения намагниченности пород по магнитному полю.

**12.4.7.2** Таблицы магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых, в которых должны быть указаны средние, минимальные и максимальные значения  $J$  горных пород, а также их  $\chi$ ,  $J_n$  и  $Q$ , количество изученных образцов, методы, способы, погрешность определения магнитных свойств и использованная аппаратура (приложение Б).

**12.4.7.3** Вариационные кривые распределения  $J$ ,  $\chi$ ,  $J_n$  и  $Q$  выделенных разновидностей горных пород.

**12.4.7.4** Колонки буровых скважин с графиками магнитных свойств, полученными по данным КВМ и измерений керна. Целесообразно также составление петромагнитных моделей, карт, разрезов, таблиц петромагнитных характеристик горных пород и карт параметров горных пород.

Результаты изучения магнитных свойств представляют в отчете в отдельной главе.

## **13 Правила проведения палеомагнитных измерений**

### **13.1 Задачи и условия производства работ**

**13.1.1** Палеомагнитные исследования имеют целью изучение временных и пространственных закономерностей геомагнитного поля в геологическом прошлом (прямая геологическая задача) или решение структурных и геоисторических задач, основанное на закономерностях этого поля (обратные палеомагнитные задачи). Палеомагнитный метод используется при решении общих вопросов стратиграфии и геохронологии, при тектонических исследованиях, изучении региональной геологии, геологическом картировании, изучении скважин, а также при интерпретации данных магниторазведки.

Миграция полюсов при сохранении дипольности геомагнитного поля и неоднократно происходившие в прошлом геомагнитные инверсии привели к тому, что разрезы осадочных и вулканогенных толщ расчленяются на чередующиеся зоны прямой и обратной намагниченности (N-зоны и R-зоны). Каждая зона соответствует промежутку времени порядка  $10^6$  лет. Внутри зоны выделяются интервалы противоположной полярности пород – субзоны ( $10^5$  лет). Палеомагнитные зоны группируются в суперзоны ( $10^7$  лет) и гиперзоны ( $10^7$ – $10^8$  лет) с определенными характеристиками (соотношением N- и R-зон, средними координатами палеомагнитных полюсов). По этим единицам палеомагнитной стратиграфии проводят сопоставление разрезов, а при наличии опорных данных (приложение В) определение геологического возраста пород.

Палеомагнитный метод используется для решения следующих задач стратиграфии:

- изучение стратиграфии четвертичных и плиоценовых отложений, определение нижней границы четвертичной системы;
- корреляция региональных стратиграфических схем, разработка и обоснование хроностратиграфической шкалы;

– корреляция стратиграфических шкал разных континентов и биогеографических областей, в особенности шкал, разработанных на континентальных образованиях, их привязка к единой мировой шкале;

– изучение стратиграфии немых толщ, определение геологического возраста вулканогенных образований, руд и стадий их минерализации;

– детальная корреляция разрезов неогена, триаса – верхней перми, ордовика – верхнего кембрия.

При структурно-тектонических исследованиях палеомагнитный метод привлекается к изучению складок, горизонтальных деформаций в складчатых поясах и островных дугах, процессов дробления и спаивания жестких массивов.

Такое применение метода основано на том, что тектонические движения, сопровождающиеся поворотом масс горных пород, вызывают соответствующие изменения в распределении векторов  $J_n$ . Изменение географического положения блоков земной коры приводит к несовпадению их палеомагнитных широт  $\varphi_m$  (формула вычисления приведена в 13.6.1) с современными географическими широтами.

При региональных геолого-геофизических исследованиях палеомагнитный метод применяется для детального расчленения и корреляции разрезов вулканогенных и осадочных толщ, возрастного и генетического расчленения интрузивных комплексов, определения геологического возраста отдельных тел и немых осадочных толщ.

Основой таких работ в каждом регионе является составление эталонного палеомагнитного разреза, т.е. установление последовательности палеомагнитных зон в том стратиграфическом интервале, который представлен породами региона, и привязка этих зон к региональной стратиграфической шкале.

Палеомагнитные исследования привлекаются при оценке перспективности регионов и определенных стратиграфических уровней в их пределах на наличие месторождений каменного угля, калийных и других солей, бокситов и доломитов, а также месторождений нефти и газа на основе установленной палеоширотной зональности их размещения.

В ряде случаев палеомагнитные исследования позволяют проводить непосредственное палеомагнитное картирование пород в масштабах от 1:500 000 до 1:25 000. Палеомагнитное картирование входит в комплекс методов государственной геологической съемки масштаба 1:200 000.

Палеомагнитные данные помогают при интерпретации результатов магнитной съемки в тех регионах, где в намагниченности аномалеобразующих тел преобладает первичная составляющая вектора  $J_n$ . Наличие прямо и обратно намагниченных горизонтов в разрезах буровых скважин учитывается и используется при интерпретации данных магнитного каротажа и скважинной магниторазведки.

**13.1.2** Средством познания древнего геомагнитного поля является исследование распределений векторов естественной остаточной намагниченности  $J_n$  в сериях ориентированных образцов горных пород и физических хронологических компонентов  $J_n$ , выделяемых специальными лабораторными и статистическими методами. Решение большинства задач основано на изучении первичного компонента  $J_n$ , возраст которого равен возрасту горной породы.

Объектами палеомагнитных исследований являются осадочные и вулканогенные породы, не измененные или слабо измененные процессами метаморфизма и эпигенеза. Метаморфизованные и измененные породы (гидротермального происхождения, а также коры выветривания и др.) исследуют при решении специальных задач.

При палеомагнитных исследованиях определяются следующие магнитные характеристики горных пород:

## ТКП 17.04-39-2012

- модуль и направление естественной остаточной намагниченности горных пород  $J_n$  (направление  $J_n$  выражается углами склонения  $D$  и наклона  $I$ );
- модуль и направление компонентов  $J_n$ , выделяемых в процессе размагничивания образцов пород переменным магнитным полем, терморазмагничивания и временного размагничивания;
- вязкая остаточная намагниченность  $J_{rv}$ , возникшая в образцах при выдержке их в земном магнитном поле, и магнитная восприимчивость  $\chi$  в этом же поле.

Для характерных образцов (5–10 % коллекции) определяются:

- нормальная намагниченность  $J_r$  в полях от 10 Э до насыщающих, ее анизотропия и коэрцитивный спектр по кривой размагничивания в переменном поле;
- идеальная  $J_{ri}$ , термоостаточная  $J_{rt}$  и ориентационная  $J_{ro}$  намагниченности в полях порядка земного и коэрцитивные спектры  $1_n$  этих намагниченностей;
- коэрцитивная сила  $H_{cs}$  или разрушающее поле  $H'_{cs}$  насыщения, намагниченность насыщения  $J_{rs}$ , а также значения этих параметров после термообработки от 150 до 800° С;
- те же характеристики для магнитных фракций пород (в порошках после магнитной и термосепарации) и точки Кюри ферромагнитных компонентов пород и их фракций.

Направления  $J_n$  и ее первичного компонента для любого изучаемого геологического тела (пласта, интрузии, покрова) должны быть определены со средней квадратической погрешностью, не превышающей  $\pm 5^\circ$ . Для получения этой точности необходимо выполнение следующих условий:

- отбор в пределах данного геологического тела достаточного количества образцов с ориентировкой каждого из них относительно первичной горизонтальной плоскости (поверхности напластования) и географического меридиана с погрешностью  $\pm 1^\circ$ ; число отобранных образцов определяется кучностью направлений первичного компонента  $J_n$  в данном теле и составляет для осадочных пород от 2 до 10 образцов на пласт, а для магматических от 10 до 50 образцов на интрузию или 3–10 на отдельный поток (покров);

– определение направления  $J_n$  в каждом отобранном образце с погрешностью не выше  $\pm 10^\circ$ ;

- компенсация (экранировка) земного магнитного поля в процессе размагничивания (магнитной чистки) образцов с погрешностью не выше  $\pm 100$  гамм.

Средняя квадратическая погрешность определения магнитных характеристик пород не должна превышать  $\pm 5\%$ , температурных точек  $\pm 10^\circ$  С.

**13.1.3** Для отбора образцов и измерений используется следующий ряд приборов и установок:

- горный компас (предпочтителен компас повышенной точности КП-1) для ориентировки штуфов горных пород;

– теодолит и солнечный компас для ориентировки образцов геодезическим и астрономическим способами в районах развития сильномагнитных изверженных пород, особенно при их отборе;

– инструменты для взятия ориентированного штуфа (мотобур, пробоотборник, геологический молоток, зубило, ножи) и материалы для фиксации рыхлых пород (клей, бумага, эпоксидная смола);

– камнерезный станок или бур для изготовления из штуфа образцов правильной формы (кубиков или цилиндров);

– астатический магнитометр МА-21, МАЛ-036 или рок-генератор ИОН-1 или их аналоги, изготавливаемые в Чехии: ЛАМ-22, ИР-4, и другие выпуски этих серий (таблицы 12, 13);

- лабораторные установки для терморазмагничивания и размагничивания в

переменном поле;

- магнитный сепаратор СИМ-1 с приспособлением для термосепарации, термомагнитометр;

- измерители магнитной восприимчивости – российский ПИМВ, чешский КТ-5 и др. (таблица 14);

- установка для переосаждения осадочных пород.

### **13.2 Правила отбора и обработки ориентированных образцов**

**13.2.1** Перед началом отбора образцов проводится ознакомление с имеющимися коллекциями из разрезов, намеченных для изучения, определяются магнитные характеристики нескольких образцов всех типов пород, представленных в разрезах, с целью выявления пород, наиболее пригодных для палеомагнитного исследования. Общие требования к отбору образцов и ведению документации изложены в 12.4.1 и 12.4.2 настоящего ТКП.

Система отбора образцов из геологических тел зависит от задач, поставленных перед исследованием, а также от размеров тел и условий их залегания. Наиболее часто применяется равномерный отбор образцов по разрезу каждого геологического объекта в 2-3 местах (обнажениях). В каждой точке отбирают 1 штуф породы, из которого изготовляют 2-4 образца для магнитометрических измерений. При работе с астатическим магнитометром допускается измерение приблизительно изометрических штуфов (с соотношением осей не более 1:2) без изготовления образцов правильной формы. Интервал отбора определяется мощностью тела и минимальным количеством образцов – не менее 20 в каждом обнажении.

Отбор штуфов из эффузивных серий производят последовательно по разрезу каждого потока. Ориентированные штуфы осадочных пород отбирают примерно через равные интервалы истинной мощности: для платформенных образований – в среднем через 1-3 м, для геосинклинальных – через 3-15 м. При изучении эффузивно-осадочных серий наряду с образцами лав и нормальных осадочных пород отбираются образцы из экзоконтактов. Отбор штуфов из пластовых интрузий и даек ведется пересечением тела вкрест простирания по нескольким профилям с равномерным отбором. Штуфы из крупного интрузивного тела отбираются из нескольких обнажений в различных частях тела. Допускается несколько систем ориентировки штуфов. При изучении стратифицированных пород плоскостью маркировки служит поверхность напластования, в остальных случаях – горизонтальная или любая другая удобная плоскость отдельности. В качестве ориентира на плоскости маркировки служит линия ее падения. В том случае, если плоскость маркировки горизонтальна, на ней отмечается линия магнитного (или географического) меридиана. Для отбора ориентированного штуфа вручную необходимо:

- на участке, намеченном для отбора образцов, удалить выветрелую породу и освободить поверхность маркировки;

- с помощью горного компаса нанести карандашом или ножом на поверхности маркировки линию ее падения со стрелкой в сторону падения; записать азимут и угол падения; измерить и записать истинные элементы залегания пласта;

- отделить штуф такого размера, который достаточен для изготовления из него 2-8 кубиков;

- из штуфа вырезать или выпилить кубики, которые в качестве своей верхней грани должны иметь плоскость маркировки со стрелкой, указывающей падение; боковые грани должны быть параллельны линиям простирания и падения.

Кубики из штуфов мягких пород изготовляются непосредственно на обнажении. Распиловка штуфов твердых пород ведется в стационарных условиях на камнерезном станке. Кубики для магнитных измерений должны соответствовать

## ТКП 17.04-39-2012

стандартам используемых магнитометров. Допустимо изготовление цилиндров, если это предусмотрено техническими условиями используемых магнитометров.

Образцы керн буровых скважин для палеомагнитных исследований должны иметь отметку «верх – низ» и должны быть сориентированы по сторонам света на основании геологических признаков (например, по слоистости породы в случае известных элементов ее залегания) или специальными приспособлениями. Образцы неориентированного керн можно ориентировать по направлению современного компонента  $J_n$ , определяемому в процессе магнитной чистки, совмещая это направление с направлением геомагнитного поля в точке отбора. Применение такого способа требует предварительного опробования на исследуемом каменном материале.

Порядок отбора образцов ориентированного керн таков:

- на образце керн, сразу же после его извлечения, пометить верх и низ, очистить керн от шлама и выявить след поверхности напластования;

- на боковой поверхности керн в месте наибольшего опускания слоистости прочертить вертикальную линию со стрелками вниз – «елочку»; измерить угол падения;

- выпилить образец длиной, приблизительно равной диаметру керн; с помощью горного компаса ориентировать цилиндр «елочкой» по азимуту падения пород и прочертить на верхней поверхности образца линию меридиана со стрелкой на север; при диаметре, большем 6 см, и для образцов, измеряемых на рок-генераторах, распилить образец на кубики или цилиндры одного из стандартных размеров с сохранением ориентации вертикальных осей и стрелок.

Точность распиловки образцов должна характеризоваться следующими максимальными погрешностями:

- параллельность и перпендикулярность граней к линии маркировки  $\pm 2^\circ$ ;
- отношение наибольшей оси к наименьшей 1,2;
- отклонение объема кубика от стандартного  $\pm 20\%$ .

### 13.3 Магнитные измерения и первичная обработка данных

**13.3.1** Образцы после отбора должны быть доставлены на место измерения в возможно более короткий срок. Измерения и на приборах типа ПИМВ и КТ-3 следует проводить непосредственно на обнажении или в лагере партии. Измерения  $J_n$  на приборах МА-21, МАЛ-036 и рок-генераторах ведутся в условиях полевой или стационарной лаборатории.

Сразу после распиловки образцы ставят в то же положение по отношению к земному магнитному полю, в котором они находились в естественном залегании. В этом положении вся коллекция выдерживается 10–20 суток, затем проводят измерения  $J_n$ . После этих измерений образцы поворачивают вокруг горизонтальной оси восток–запад на  $180^\circ$  и выдерживают в этом положении 15–30 суток, затем проводят вторую серию измерений на том же приборе. Эта операция необходима для измерения вязкой намагниченности  $J_{rv}$  и учета ее влияния (временной чистки). Вторая выдержка может быть заменена термочисткой при температуре  $100\text{--}150^\circ\text{C}$ .

После измерения  $J_n$  и  $J_{rv}$  из всех образцов, взятых в одном и том же обнажении строго на одном стратиграфическом уровне, один подлежит бессрочному сохранению в неизменном виде. Все такие образцы создают эталонную коллекцию. Из остальных образцов 3–5 % посылаются в родственную лабораторию для внешнего контроля и создания калибровочных коллекций. Остальные образцы направляются на магнитную чистку и собственные лабораторные исследования. Для изучения скалярных характеристик используют также остатки штуфов после распиловки.

**13.3.2** Измерения на астатических магнитометрах проводятся одним из

трех способов (пункт 12.2.1, рисунок 2):

- при расположении центра образца и центра магнита системы на одной горизонтальной линии, перпендикулярной к оси магнита; образец находится на уровне нижнего магнита системы строго на восток или запад от его центра; при этом измеряется составляющая остаточного магнитного момента образца, которая горизонтальна и перпендикулярна к оси магнита (первое положение Гаусса);

- центр образца находится под нижним магнитом на продолжении оси астатической системы; измеряется та же составляющая, что и в предыдущем способе (второе положение Гаусса);

- центр образца находится на равном удалении от обоих магнитов на линии, перпендикулярной к их осям и проходящей через центр астатической системы; измеряется сумма вертикальных составляющих остаточного и индуцированного (земным полем) магнитного момента образца (метод Г.П. Капралова).

Оси координат, по которым ведутся измерения составляющих  $J_n$ , выбираются следующим образом:

- в образцах, выпиленных в соответствии с залеганием пород или с произвольной плоскостью маркировки, ось  $x$  – линия падения плоскости маркировки (положительное направление вниз по падению), ось  $y$  – линия простирания плоскости маркировки (направлена вправо), ось  $z$  – нормаль к плоскости маркировки (направлена вниз);

- в образцах (кубиках и цилиндрах из керна), имеющих в качестве верхней плоскости современную горизонтальную плоскость, ось  $x$  – магнитный меридиан (направлена на север), ось  $y$  направлена на восток, ось  $z$  – вертикально вниз.

Серия измерений для определения составляющих  $J_n$  по трем осям состоит из 12 отсчетов ( $n_1, \dots, n_{12}$ ) при разных ориентациях осей образца относительно астатической системы. Порядок взятия отсчетов и ориентация осей образца приведены в пункте 12.2.1 настоящего ТКП и инструкциях, прилагаемых к магнитометрам. При изучении образцов слабомагнитных пород, измерения предпочтительно выполнять в первом положении Гаусса, а для увеличения точности, проводить второй цикл отсчетов на противоположной шине магнитометра. Для оценки концентрации ферромагнетика и контроля его состава при термомагнитной чистке величина магнитной восприимчивости измеряется индукционным способом, например, каппаметром КТ-5.

Градуировка магнитометра производится с помощью градуировочных катушек, имеющихся в комплекте прибора или калибровочных образцов. Последние должны иметь ту же форму и размеры, что и образцы коллекции, и при градуировке помещаться на тех же расстояниях от магнитной системы и в тех же положениях, что и сами образцы. При этом, учитывая, что градуировочные катушки и образцы намагничены по одной оси, достаточно взять 4 отсчета по этой оси.

Порядок градуировки приведен в пункте 12.3.1 настоящего ТКП.

Измерения  $J_n$  образцов ведут на одном из трех-четырех фиксированных расстояниях от системы. Выбор расстояния для серии образцов рекомендуется производить так, чтобы наибольшие из разностей  $(n_1 - n_2)$ ,  $(n_3 - n_4)$  и т. д. для каждого образца лежали в пределах 10–100 делений шкалы.

Контроль градуировки магнитометра выполняют ежедневно для каждого из расстояний, на которых были измерены образцы.

При измерениях первым способом образцов с очень малыми магнитными моментами  $M_n$ , находящимися на пределе точности измерений, определяют суммы векторов  $M_n$  для двух образцов, взятых из одного и того же слоя. Для этого один образец ставят на восточную, а другой одновременно на западную шину прибора последовательно во всех 12 положениях, а затем меняют образцы местами и повторяют все измерения.

**13.3.3** Модуль  $R_n$  вектора  $J_n$  (в делениях шкалы), азимутальный угол  $\alpha$  и

## ТКП 17.04-39-2012

угол наклона  $j$ , характеризующие его направление, вычисляют по формулам

$$R_n = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2}; \quad (13.1)$$

$$a = \arctg \frac{Y_n}{X_n} + A; \quad (13.2)$$

$$j = \arcsin \frac{Z_n}{R}, \quad (13.3)$$

где  $A$  – истинный азимут линии маркировки (оси  $x$  образца).

Погрешность  $\alpha_1$  (в градусах) определения направления  $J_n$  рассчитывают по формуле

$$\alpha_1 = 75 r/R, \text{ где } r = \sqrt{\Delta X_n^2 + \Delta Y_n^2 + \Delta Z_n^2}, \quad (13.4)$$

Модуль вектора  $J_n$  образца вычисляют по формуле

$$J_n = \varepsilon_m R_n / V, \quad (13.5)$$

где  $\varepsilon_m$  – цена деления прибора по отношению к магнитному моменту на данном расстоянии от системы;  $R_n$  – модуль вектора  $J_n$  измеряемого образца в делениях шкалы прибора;  $V$  – объем образца.

Цена деления  $\varepsilon_m$  определяется по формуле

$$\varepsilon_m = M_k / R, \quad (13.6)$$

где  $M_k$  и  $R_k$  – магнитный момент и модуль вектора остаточной намагниченности калибровочного образца или катушки (в делениях шкалы прибора), причем  $R_k$  определен для данного расстояния.

Форма записи измерений на астатическом магнитометре приведена в таблице 16. Вычисления выполняются на ПК.

**13.3.4** Определения с помощью рок-генераторов проводят путем измерений амплитуды переменной э.д.с., наводимой в приемной катушке магнитным полем вращающегося внутри нее образца.

Отсчет сигнала на приборе ИОН-1 берется по стрелочному индикатору, угол – по лимбу.

На приборах ЙР-2, ЙР-4 измеряются одновременно две составляющие  $J_n$  в плоскости вращения по двум стрелочным микроамперметрам – ЙР-2 и двум цифровым вольтметрам – ЙР-4.

**13.3.5** Результаты измерений направления  $J_n$  подлежат переводу в одну из двух систем координат: древнюю, связанную с первично горизонтальной плоскостью, или в современную, связанную с современной горизонталью. Эти операции, как и другие расчеты, выполняются на ПК.

После перевода в современную систему координат данные по образцам с произвольной плоскостью маркировки, равно как и данные по образцам, которые получены сразу в современной системе, переводят в древнюю систему координат.

Направление современного земного магнитного поля переводится в древнюю систему так же, как и направление  $J_n$ . Эти операции выполняются на ПК.

**13.3.6** Вычисление средних направлений  $J_n$  следует проводить для всех, измерений, относящихся к одному ориентированному штуфу, а также по средним направлениям  $J_n$  всех штуфов и для каждого исследованного геологического тела, каждой литологической группы пород, стратиграфической

единицы и для магнитных групп образцов. Составляющие среднего направления  $J_n$  вычисляются по формулам

$$X = \sum_{i=1}^n \cos I_i \cos D_i, \quad (13.7)$$

(13.8)

$$Y = \sum_{i=1}^n \cos I_i \sin D_i,$$

(13.9)

$$Z = \sum_{i=1}^n \sin I_i,$$

где  $D_i$  и  $I_i$  – значения склонения и наклонения вектора по каждому из  $n$  определений.

Угловая погрешность  $\alpha$  (в градусах) в определении среднего направления  $J_n$  и кучность  $K$  векторов, участвующих в образовании среднего, оцениваются по формулам

$$\alpha = 140(nK)^{-1/2}, \quad (13.10)$$

$$K = \frac{n-1}{n-R}, \quad (13.11)$$

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad (13.12)$$

Все вычисления выполняются на ПК, результаты заносятся в журнал записи измерений и в каталог обработки материалов.

В настоящее время существуют универсальные криогенные магнитометры (SQUID-magnetometers) типа приборов MPMS американской фирмы Quantum Design. Эта аппаратура с чувствительностью порядка  $10^{-8}$  СГС позволяет вести измерения  $J_n$ , определять магнитную восприимчивость, снимать петли магнитного гистерезиса при любой температуре в диапазоне 5–800 К. При этом все операции полностью автоматизированы, процессы измерений, вычислений и выдачи результатов управляются компьютером. Есть также SQUID-магнитометры, способные измерять магнитный момент величиной  $10^{-11}$  СГС.

### 13.4 Выделение физических и хронологических компонентов естественной остаточной намагниченности

13.4.1 При компонентном анализе  $J_n$  выполняются следующие операции:

– определение жесткого и вязкого компонентов  $J_n$  посредством выдержки образцов в земном поле в двух положениях (пункт 13.3.1 настоящего ТКП); результаты первой серии измерений дают распределение  $J_n$  в естественном состоянии, результаты второй – распределение жесткого компонента  $J_n$ , найденное методом компенсации; векторы, вычисленные по полусуммам одноименных составляющих по осям для первого и второго измерения каждого образца, характеризуют значения и направления  $J_n$  после временной чистки, а по полуразностям составляющих определяются значения вязкой намагниченности во всех образцах;

– анализ картины распределения векторов  $J_n$  после временной чистки или компенсации; при этом проводится качественная оценка наличия разновозрастных компонентов  $J_n$  и анализ распределения  $J_n$  по Фишеру;

## ТКП 17.04-39-2012

– детальное ступенчатое размагничивание переменным магнитным полем и нагревами лидирующей коллекции (около 10 % образцов), представленной различными породами с разными магнитными свойствами [ $J_n$ ,  $J_{nv}$ ,  $\chi$ ,  $Q=J_n/(0,5\chi)$ ] и направлениями  $J_n$ ; исследования по методу сравнения характеристик стабильности и коэрцитивных спектров, изучение параметров насыщения, опыты переосаждения (еще 10 % образцов); выбор параметров магнитной чистки;

– термочистка или чистка переменным полем всех коллекций и групп образцов,  $J_n$  которых многокомпонентна;

– выборка по результатам чисток и параметрам стабильности, вычисление средних направлений компонент  $J_n$  для распределений, полученных после чистки; выполнение статистических тестов однокомпонентности и древности стабильной составляющей намагниченности, нахождение направления древней намагниченности методами плоскостей перемагничивания и обращения.

Визуальные признаки различного состава хронологических компонентов  $J_n$  пород следующие:

– если в древней системе координат направления  $J_n$  на проекции (сетка Каврайского) образуют круговую область, не включающую направление современного геомагнитного поля  $H$ , причём среднее направление  $J_n$  не зависит от залегания пород, то резко преобладает доскладчатый компонент  $J_n$ ;

– если область, занятая на проекции направлениями  $J_n$ , вытянута по направлению к  $H$ , то образцы содержат древнюю и современную составляющие  $J_n$  в различных пропорциях;

– если направления  $J_n$  на проекции образуют круговую область вокруг направления  $H$ , то древний компонент  $J_n$  отсутствует.

Примечание - Исключением являются горизонтально залегающие прямо намагниченные кайнозойские породы, не имеющие таких признаков.

Реальные распределения направлений  $J_n$  тех или иных групп пород сводятся к одному из этих распределений или к комбинации из них.

Считается, что  $J_n$  пород однокомпонентна, если распределение направлений  $J_n$  соответствует распределению Фишера. Мерой расхождения реального и теоретического распределений служит критерий

$$\chi^2 = \left[ \sum_{i=1}^l m_i^2 / (np) \right] - n, \quad (13.13)$$

где  $l$  – число областей, на которые единичная сфера, описанная вокруг общего начала всех векторов, разбита так, чтобы в случае соответствия реального распределения теоретическому, вероятность вектора попасть в любую из этих областей была равна  $p$ ;  $m_i$  – число векторов, в действительности попавших в область  $i$ ;  $n$  – общее число векторов. Расчёты выполняются на ПК.

Доскладчатый компонент  $J_n$  выделяют методом плоскостей перемагничивания, который основан на том, что в разрезах с разным залеганием пластов доскладчатые компоненты имеют одинаковые направления в древней системе координат, а постскладчатые в большинстве случаев имеют направление современного геомагнитного поля.

Направление доскладчатого компонента находят графически по экваториальной сетке с наложенной на неё калькой. Пусть среднее направление  $J_n$  для серии пород с близким залеганием пластов характеризуется углами  $D_1$  и  $I_1$ , а для другой серии, с другим залеганием пластов эти значения будут  $D_2$  и  $I_2$  и известны  $H_1$  и  $H_2$  – направления современного земного магнитного поля для этих серий (всё в древней системе координат). По значениям  $D$  и  $I$  на кальку наносят средние направления

$J_n$  и  $H$  для обеих серий образцов (в древней системе координат). Точки  $J_{n1}$  и  $H_1$  поворотом кальки приводят на один меридиан. Этот меридиан (круг перемангничивания) представляет собой сечение сферы плоскостью перемангничивания. На той же кальке вычерчивают круг перемангничивания для второго разреза; точка пересечения кругов, расположенная по другую сторону от  $J_n$ , чем  $H$ , считается наиболее вероятным направлением доскладчатой намагниченности. Для получения более уверенных результатов при определении направления доскладчатой намагниченности  $J_n^\circ$  и оценки погрешности такого определения используют данные по трем (и более) разрезам пород одного возраста с разным залеганием.

Для вычисления среднего направления оси, вдоль которой первоначально были намагничены породы, при наличии пород прямой и обратной намагниченности применяют метод обращения. Метод состоит в том, что направления  $J_n$  обратно намагниченных пород изменяются на  $180^\circ$ , т.е. вместо  $D$  берут  $D_1 = D + 180^\circ$ , а вместо  $I$  берут  $I_1 = -I$ , и затем эти направления  $J_n$  прямо намагниченных пород. При этом исключается влияние вторичной намагниченности, каким бы ни было ее направление. Для этого необходимо выполнение двух условий: примерная равночисленность прямо и обратно намагниченных образцов и сходство компонентного состава  $J_n$  в них.

Для проверки синхронности  $J_n$  породы и определения доли первичной намагниченности в  $J_n$  применяют метод галек. Он заключается в вычислении кучности  $K$  векторов  $J_n$  в гальках и обломках, взятых из галечников и конгломератов, образовавшихся при разрушении изучаемых пород. Соотношение первичной, возникшей до образования галечника, намагниченности  $J_n^\circ$  и вторичной  $J_n^h$  определяется формулой

$$J_n^h = J_n^\circ (\sqrt{K} - 1), \quad (13.14)$$

Синхронность  $J_n$  проверяется также вычислением истинных внутрислоевых  $K_s$  и межслоевых  $K_m$  кучностей векторов  $J_n$ . Значимость межслоевого разброса устанавливается с помощью  $F$ -проверки. Критерий  $F$  вычисляется по формуле

$$F = \frac{\sum_{i=1}^b r_i - R}{b - 1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^b (r_i - 1)}{\sum_{i=1}^b (n_i - r_i)}, \quad (13.15)$$

где  $R$  – геометрическая сумма нормализованных векторов группы образцов, отобранных из  $b$  слоев по  $n_i$  образцов из каждого;  $r_i$  – геометрические суммы векторов внутри каждого пласта.

Значимость разброса свидетельствует о синхронности  $J_n$ .

Ступенчатое размагничивание лидирующей группы образцов проводится для определения наилучших параметров магнитной чистки, а также для получения коэрцитивных и термопарциальных спектров  $J_n$ , сравнение которых со спектрами для идеальной и термоостаточной намагниченности позволит судить о происхождении  $J_n$ .

Размагничивание образцов переменным полем ведется на установках, которые включают в себя:

- систему компенсации земного магнитного поля или экранов. Компенсирующее поле создается обычно с помощью двух пар колец Гельмгольца. Проверка степени компенсации производится с помощью полемера или по термоостаточной намагниченности образца сильномагнитной

## ТКП 17.04-39-2012

породы, которую он приобретает, охлаждаясь от точки Кюри до комнатной температуры внутри колец компенсации;

– соленоид для создания переменного (и постоянного) магнитного поля, с системой реостатов и с амперметром;

– устройство плавной регулировки напряженности магнитного поля, создаваемого соленоидом в месте расположения образца, т. е. в центре колец компенсации;

– устройство, с помощью которого образец вращается вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, лежащих в плоскости поперечного сечения соленоида. Частоты вращения вокруг двух осей составляют несколько герц и не являются кратными друг другу и частоте переменного тока.

Для размагничивания переменным полем образец закрепляют в держателе, включают ток компенсации, реостатами устанавливают нужную силу переменного тока в соленоиде, обеспечивающую в его центре некоторую выбранную амплитуду  $H$ . Держатель приводят во вращение, соленоид плавно надвигается на образец и без задержки плавно отводится назад, после чего ток в соленоиде уменьшают до минимума полным введением реостатов и затем выключают вращающее устройство. Значения  $H$  постепенно увеличивают, при этом модуль и направление  $J_n$  каждый раз измеряются.

Стабильность  $J_n(\tilde{H})$ , а также других видов намагниченности испытуемого образца, созданных в лаборатории искусственно, оценивают по форме кривой размагничивания, т.е. кривой  $J_n(\tilde{H})$ , а также по изменениям направления вектора  $J_n$ , отраженным на стереографической проекции.

Если образец обладает намагниченностью  $J_n$ , состоящей из одного компонента, кривая  $J_n(\tilde{H})$  отражает плавное уменьшение  $J_n$ , происходящее при увеличении  $\tilde{H}$ . При этом направления  $J_n$  при различных значениях  $\tilde{H}$  образуют тесную группу в пределах нескольких градусов. Если же образец обладает двумя компонентами намагниченности, различными по своей стабильности, то кривая размагничивания состоит из двух различных по характеру частей. Чаще всего разные компоненты естественной остаточной намагниченности имеют и разные направления. Поэтому при размагничивании одного из них суммарный вектор  $J_n$  повернется от своего начального направления к направлению более стабильного компонента и направление  $J_n$  в процессе размагничивания будет изменяться до тех пор, пока не исчезнет менее стабильный компонент, а затем должно оставаться неизменным. Однако на практике нередко (особенно для малостабильных образцов) при  $\tilde{H} = 350 \div 800$  Э и выше наблюдаются беспорядочные изменения направления  $J_n$ , связанные с техническим несовершенством процесса размагничивания.

Температурное размагничивание  $J_n$  также представляет возможность анализа ее компонентного состава, разделяя компоненты намагниченности, обладающие разным характером изменения при нагревании.

При терморазмагничивании образец помещают в немагнитную электропечь, расположенную в немагнитном пространстве, где его выдерживают при заданной температуре в течение 30–60 мин; затем образец остывает до комнатной температуры при включенных токах компенсации, после чего производятся измерения  $J_n$  и  $\chi$ . Вся операция повторяется при более высокой температуре печи. Эти последовательные нагревы проводят с интервалом в 50–100° С, получая кривую  $J_n(t)$ . Если образцы содержат несколько ферромагнетиков с различными точками Кюри и температурами фазовых переходов, кривая  $J_n(t)$  будет разбиваться на несколько различных по характеру частей даже при наличии одного компонента намагниченности. Поэтому, так же как при интерпретации кривой  $J_n(\tilde{H})$ , необходимо сравнить полученную кривую  $J_n(t)$  с ходом температурного размагничивания  $1_{rs}$ , испытуемого образца и дополнить ее

данными об изменении направления вектора  $J_n$ . В результате могут быть получены сведения о том, какие виды намагниченности имеются в изучаемой породе и с какими ферромагнитными компонентами они связаны.

Результаты опытов размагничивания используются для выбора метода и параметров магнитной чистки. Выбор проводится по следующим критериям:

- стабилизация направлений векторов в пределах нескольких ступеней размагничивания в обе стороны от выбранной ступени;
- наибольшая кучность векторов при распределении Фишера;
- сохранение значимости межпластового разброса.

### 13.5 Правила анализа происхождения компонентов намагниченности

**13.5.1** Происхождение компонентов  $J_n$  устанавливается с целью определения времени их образования. Термоостаточная или ориентационная природа исследуемого компонента прямо указывает на его первичность; вязкое, нормальное, динамическое и иногда химическое происхождение – на вторичность компонента  $J_n$ .

Определение термоостаточного происхождения  $J_n$  производят методом последовательных нагревов и охлаждений в земном магнитном поле. Для ряда интервалов температур (которые в сумме составляют интервал от комнатной температуры до точки Кюри) сравнивают ту часть  $J_n$ , которая исчезла при нагревании образца ( $\Delta J_n$ ), с той частью термоостаточной намагниченности  $J_{rt}$ , которая образовалась в этом же интервале при охлаждении образца в магнитном поле.

Образец нагревают последовательно в двух положениях, различающихся на  $180^\circ$  (поворот вокруг оси восток–запад). Каждый раз после такого двойного нагрева измеряют намагниченность; следующий двойной нагрев проводят при более высокой температуре. Векторная полусумма намагниченностей, полученных после каждых двух нагревов до одной и той же температуры, дает модуль и направление  $J_{nt}$  – оставшейся части  $J_n$ , полуразность – модуль и направление парциальной термонамагниченности  $J_{rpt}$ , возникшей в интервале температур ( $20^\circ \div t$ ). Совпадение или подобие кривых возрастания  $J_{rpt}$  и исчезнувшей части  $\Delta J_n = J_n - J_{nt}$  свидетельствует о термоостаточном происхождении  $J_n$ .

Для пород с заметными изменениями при нагреве и с иной природой намагниченности, чем термоостаточная, определение происхождения  $J_n$  ведется методом сравнения характеристик стабильности. Кривые разрушения в переменном магнитном поле  $J_n$  или ее компонентов, полученных векторным разложением по вероятным их направлениям, сравниваются с кривыми разрушения идеальной намагниченности и намагниченности насыщения того же образца. Идеальная намагниченность при этом должна быть получена в переменном поле, равном или близком полю насыщения образца и постоянном поле, равном земному. Сравниваются непосредственно кривые  $J_n(\tilde{H})$  и  $J_i(\tilde{H})$  или же коэрцитивные спектры, полученные графическим дифференцированием этих кривых. Превышение кривой  $J_n(\tilde{H})$  над кривой  $J_i(\tilde{H})$  или их подобие указывает на термоостаточную, химическую (однодоменных зерен) или ориентационную природу  $J_n$ ; об этом же говорит подобие коэрцитивных спектров или смещение таковых для  $J_n$  в сторону больших значений  $\tilde{H}$  по сравнению с  $J_{ii}$ .

Ориентационная природа  $J_n$  нелигитифицированных осадочных пород устанавливается опытами переосаждения. Для опыта отбирается группа ориентированных образцов, взятых строго из одного и того же слоя. Для них определяют значения  $J_n$ ,  $J_{rv}$ ,  $\chi$ , кучность  $K$  векторов  $J_n$  и для двух образцов – коэрцитивные спектры  $J_n$ . Те же параметры –  $J_{r0}$ ,  $J_{rv0}$ ,  $\chi_0$ ,  $K_0$  и спектры  $J_{r0}$  – определяют и для образцов, вырезанных из осадка, полученного при

## ТКП 17.04-39-2012

перееосаждении в присутствии земного поля в немагнитном сосуде с водой. Признаками ориентационного происхождения являются: близость значений  $J_n$  и  $J_{r0}$ ;  $K_0 \geq K$ ; подобие коэрцитивных спектров. Равенства  $\chi = \chi_0$ ,  $J_{rv} = J_{rv0}$  являются признаками неизменности материала в процессе опыта.

Косвенными признаками определенной природы  $J_n$  пород и времени ее образования могут служить результаты петрографических, химических, рентгеноструктурных, электронно-микроскопических и термодифференциальных анализов пород и их магнитных фракций, полученных после магнитной и термосепарации.

### 13.6 Определение положения палеомагнитного полюса

**13.6.1** Каждое палеомагнитное определение завершается вычислением координат палеомагнитного полюса, соответствующего средним значениям склонения  $D_0$  и наклонения  $J_0$  вектора первичной намагниченности данной группы пород. Это вычисление обеспечивает сопоставимость данных, полученных для разных географических точек. Координаты палеомагнитного полюса определяются двумя способами – аналитическим и графическим, с помощью сетки Вульфа или Каврайского.

Широту  $\varphi$  и долготу  $\lambda$  северного палеомагнитного полюса находят по формулам

$$\sin \Phi = \sin \varphi \sin \varphi_m + \cos \varphi \cos \varphi_m \cos D_0, \quad (13.16)$$

$$\sin (\Lambda - \lambda) = \frac{\cos \varphi_m \sin D_0}{\cos \Phi}, \quad (13.17)$$

если

$$\sin \varphi_m \geq \sin \varphi \sin \Phi, \quad (13.18)$$

или

$$\sin(180^\circ - \Lambda + \lambda) = \frac{\cos \varphi_m \sin D_0}{\cos \Phi}, \quad (13.19)$$

если

$$\sin \varphi \leq \sin \varphi \sin \Phi; \quad \varphi_m = \arcsin \left[ \frac{\cos \varphi \sin \Phi}{\sin \varphi} \right], \quad (13.20)$$

где  $\varphi$  и  $\lambda$ , — широта и долгота точки наблюдения;  $\varphi_m$  – её палеомагнитная широта.

Погрешность в определении положения палеомагнитного полюса оценивается вычислением угловых размеров и положения двух осей овала, внутри которого должно находиться истинное положение полюса с вероятностью 95%. Полуоси овала в градусах вычисляются по формулам

$$\Theta_1 = \alpha \frac{\cos \varphi_m}{\cos I_0}, \quad (13.21)$$

$$\Theta_2 = \frac{\alpha}{2} \left( \frac{\cos \varphi_m}{\cos I_0} \right)^2, \quad (13.22)$$

### 13.7 Отчетность при палеомагнитных исследованиях

**13.7.1** В отчет о палеомагнитных работах должны входить следующие табличные материалы:

- каталог значений  $J_n$ ,  $J_{rv}$  (с указанием времени ее образования в лаборатории),  $\chi$ ,  $D$  и  $I$  в древней системе координат для каждого измеренного образца. Для каждого образца должны быть приведены также номер слоя, из которого взят штуф, номер штуфа, номер образца, выпиленного из штуфа, возраст, элементы залегания слоев, краткое литологическое описание породы, значения  $J_n^0$ ,  $D_0$  и  $I_0$  после разных видов магнитной чистки;

- таблица фактического материала, с указанием для каждого изученного обнажения его географических координат (с точностью до 30'), стратиграфического подразделения пород (система, отдел, ярус, подъярус, серия, свита, фаунистическая зона), количества всех исследованных штуфов и образцов, количества штуфов и образцов, использованных для получения палеомагнитных данных, а также углов  $D_{cp}$  и  $I_{cp}$ , характеризующих средние направления  $J_n$ , кучности  $K$ , способа определения первичной намагниченности, характеристик стабильности, углов  $D_0$  и  $J_0$  и кучности  $K_0$ , характеризующих ее направление (все отдельно для прямой и обратной намагниченности). Если в одном обнажении представлен разрез, охватывающий несколько ярусов, подъярусов, свит, данные приводят отдельно для каждого подразделения;

- таблицы средних значений  $J_n$ ,  $J_{rv}$ ,  $\chi$  для всех литологических типов пород (отдельно по каждому стратиграфическому подразделению и сводную по всей изученной коллекции);

- сводные таблицы результатов лабораторных опытов по изучению происхождения и компонентного состава  $J_n$ ;

- таблица основных палеомагнитных данных (приложение В);

- таблица палеомагнитных зон с перечислением всех зон прямой и обратной намагниченности, их стратиграфических и фаунистических аналогов и со средними координатами палеомагнитного полюса для каждой зоны.

Обязательной графикой к отчету являются:

- обзорная мелкомасштабная карта района работ с указанием местоположения изученных обнажений;

- фотографии или детальные зарисовки обнажений с помеченными точками взятия образцов;

- литолого-стратиграфические колонки по каждому обнажению (на колонках против каждого слоя, представленного образцами, должны быть указаны номера образцов и отложены средние значения  $J_n$ :  $J_{rv}$ ,  $\chi$ ,  $D$ ,  $I$ ,  $D_0$  и  $I_0$  для каждого слоя);

- схема возрастного сопоставления изученных разрезов по геологическим данным, на которой разрезы по каждому обнажению представлены в виде литологических колонок и примыкающих к ним колонок палеомагнитных зон со стратиграфической разбивкой и указанием слоев с важнейшими находками фауны и флоры;

- равнопромежуточные полярные проекции, составленные для каждой палеомагнитной зоны (или пары зон), выделенной в каждом данном разрезе с определенным залеганием породы; на проекции в древней системе координат наносят направления  $J_n$  для каждого штуфа, определенные с погрешностью  $\alpha_1 \leq 10^\circ$ , средние направления  $J_n$  и  $H$ ; такие же проекции составляются для  $J_n^0$  (после чистки);

- сводные проекции для каждой палеомагнитной зоны, где приведены средние

## ТКП 17.04-39-2012

направления  $J_n$ ,  $J_n^0$  (после чистки) и  $H$  для каждого разреза, а также нанесены круги доверия радиуса  $\alpha$ , круги перемагничивания и наиболее вероятное направление  $J_n^0$  для зоны;

– характерные графики изменений  $J_n$  в переменных магнитных полях кривые терморазмагничивания  $J_n(t)$ , а также проекции направлений  $J_n$  в процессе размагничивания. Особое внимание в отчете уделяется стратиграфическому обоснованию палеомагнитных работ и анализу данных о происхождении и времени образования компонентов  $J_n$ .

### 14 Правила магнитных измерений при изучении ореолов рассеяния

**14.1** При изучении ореолов и потоков рассеяния полезно проводить измерения магнитного поля и магнитной восприимчивости пород района исследований. Измерения магнитного поля, позволяя уточнить литологию, тектонику и магматизм исследуемого района, способствуют правильной оценке результатов литогеохимических съемок, которая возможна лишь на основе достаточно полных сведений о геологическом строении района работ. Измерения магнитной восприимчивости коренных пород и рыхлых отложений, оказывающие в ряде случаев существенную помощь при геологическом картировании, дают возможность дополнить результаты литогеохимических и магнитных съемок, правильно их интерпретировать.

С помощью магнитных измерений обоих типов решаются следующие геологические задачи, представляющие интерес при изучении ореолов и потоков рассеяния:

- картирование различных по составу пород;
- картирование зон гидротермального изменения пород;
- выявление и прослеживание зон тектонических нарушений;
- картирование площадей распространения аллювиальных отложений;
- оценка смещения ореолов рассеяния.

Кроме перечисленных задач магнитные измерения, выполняемые совместно с литогеохимическими съемками, имеют целью поиски полезных ископаемых (железорудных месторождений, кимберлитовых трубок, месторождений карбонатитов, никеля и др.). При детальном литогеохимическом съемках также применяется микромагнитная съемка для определения направлений сноса делювиальных и аллювиальных отложений по розам направлений изолиний магнитного поля (или по розам направлений градиентов).

Магнитные измерения полезно выполнять при проведении литогеохимических съемок любых масштабов. Измерения магнитного поля с воздуха и на земле, выполняются в тех же масштабах, что и литогеохимическая съемка. Наземная магнитная съемка производится по той же сети, что и отбор проб на спектральный анализ. При изучении ореолов рассеяния применяется обычная методика и техника измерений магнитного поля.

При литогеохимических поисках по вторичным ореолам и потокам рассеяния масштаба 1:100 000 и мельче изучение магнитной восприимчивости рыхлых отложений обязательно. При работах более крупных масштабов необходимость измерения магнитной восприимчивости рыхлых отложений определяется наличием магнитных разностей пород. Применение капаметрии при детальном литогеохимическом съемках эффективно на месторождениях цветных и редких металлов, ассоциирующихся с магнетитом. Во всех случаях капаметрическая съемка выполняется по той же сети, что и литогеохимическая.

При изучении первичных ореолов рассеяния измерение магнитной восприимчивости обязательно. Оно выполняется по той же сети, что и отбор

проб на спектральный анализ.

При определении магнитной восприимчивости рыхлых пород используются пробы, отбираемые в процессе литогеохимической съемки, после их перенесения в бумажный капсюль и соответствующей регистрации. Определение магнитной восприимчивости производится любым прибором или установкой, обеспечивающими необходимую для данного типа пород чувствительность. В случае использования для определения магнитной восприимчивости индукционной установки с баллистическим гальванометром, бумажный конверт с пробой нужно вносить в межполюсное пространство магнита 2–3 раза и каждый раз брать отсчет; затем вычисляется среднее.

Результаты измерений магнитной восприимчивости металлометрических проб изображаются в виде графиков по профилям и карт изолиний в принятом масштабе металлометрической съемки.

Новые возможности применения магнитной съемки при изучении ореолов и потоков рассеяния обеспечивают квантовые магнитометры.

## 15 Правила изучения магнетизма горных пород

**15.1** Предполагается изучение широкого спектра статических и «кинематических» характеристик магнетизма горных пород, геологическая интерпретация которых даёт материалы о их структурно-текстурных особенностях, геолого-геофизических условиях образования и дальнейшего изменения. Магнитные характеристики горных пород связаны с геологическими факторами косвенным образом и далеко не всегда поддаются однозначной интерпретации. Поэтому с достаточной определённой можно говорить лишь о чисто физических особенностях горных пород, определяющих изучаемые магнитные параметры и подлежащих геологической интерпретации. Выделяют три основных типа таких факторов:

- концентрация ферромагнитных минералов, заключённых в изучаемой породе;
- минералогический состав и структура ферромагнитных минералов;
- особенности их магнитного состояния.

Примечание - Здесь и далее имеются в виду минералы с ферромагнитными свойствами.

Выбор конкретных магнитных параметров предполагает достижение компромисса между возможностями лаборатории и их информативностью в рамках обозначенных факторов (концентрация, состав, структура, магнитное состояние).

В составе палеомагнитной лаборатории, оснащённой в соответствии с рекомендациями, приведёнными в разделе 13.1.1 настоящего ТКП, а также термомагнитометром и трубчатой муфельной печью с вакуумным насосом, можно определять помимо основных параметров –  $\chi$  и  $J_n$  следующие характеристики:

- фактор  $Q = J_n / 0.5 \chi$ ;
- коэффициент магнитной вязкости

$$S_v = \frac{J_r(H, t) - J_r(H, t_0)}{J_r(H, t_0) \lg(t/t_0)} H, \quad (15.1)$$

где  $J_r(H, t)$  – остаточная намагниченность, возникающая за время  $t = 30$  мин в поле  $H = 23$  э,  $J_r(H, t_0)$  – нормальная остаточная намагниченность ( $t_0 \sim 1$  с). Значения  $S_v$  определяются из нулевого состояния (далее – НС), т.е. после

## ТКП 17.04-39-2012

размагничивания образца переменным магнитным полем;

- параметры спектра НС:  $\gamma_0$ ,  $\Delta_m$ ,  $H_0$  [10];
- температурно-чувствительный параметр  $N_t$  [10];
- соотношение спектров  $J_n$  и  $J_{ri}$ , то есть характера размагничивания их переменным магнитным полем ( $h$ ):  $J_n(h)$  и  $J_{ri}(h)$ ;
- параметр установления гистерезисного цикла

$$m = \frac{J_r - J_{rk}}{J_{rk}}, \quad (15.2)$$

где  $J_r$  – нормальная остаточная намагниченность в поле  $H = 15$  э из НС,

$J_{rk}$  – коммутационная намагниченность в том же поле [10];

- магнитная анизотропия;
- направление  $J_n$  и его изменения при воздействии температуры и переменного магнитного поля;
- термомагнитные характеристики;
- гомогенизация титаномагнетита.

Для измерения перечисленных параметров волне достаточно оборудования палеомагнитной лаборатории, перечень которого приведен в разделе 13.1 и таблице 15 настоящего ТКП, а методика работ изложена в [8], [9] и др.

**15.2** Описанные измерения являются довольно трудоёмкими и не могут быть массовыми. Они проводятся на небольшом количестве образцов представляющих различные петрофизические и петромагнитные группы пород с целью выяснения особенностей состава и генезиса содержащихся в них ферромагнитных минералов, а равно и самих пород и причин обусловивших различия петромагнитных (петрофизических) групп горных пород и полезных ископаемых. С целью наиболее полной петрографической и геологической интерпретации полученных данных, при достаточном количестве каменного материала, подобные анализы проводятся на образцах с известными петрографическим, минералогическим или химическим составом. При проведении лабораторных исследований воздействие на образцы, даже слабых магнитных полей, уничтожает информацию об их магнитной предыстории, а нагревания могут вызывать ещё и изменения минералогического состава ферромагнитных минералов, поэтому обязательно иметь несколько дубликатов образцов и соблюдать последовательность работ, при которой в первую очередь проводятся измерения, характеризующие естественное магнитное состояние пород (далее – ЕС). Это могут быть: измерения  $J_n$ , изучение функций  $J_n(h)$  и  $J_n(T)$ , изучение коэрцитивных спектров из ЕС.

Большинство видов исследований слагаются из ряда последовательных внешних воздействий на образец температурой, переменным либо постоянным магнитным полем со ступенчато возрастающей или убывающей амплитудой и последующих измерений остаточной намагниченности на магнитометре. Измерения на рок-генераторах проводятся на кубиках с ребром 2 см, поэтому образец перед проведением магнитометрических исследований разрезается на максимальное количество кубиков с ребром 2 см. Из ориентированных образцов кубики вырезают в соответствии с элементами ориентировки образцов. Все обрезки при изготовлении кубиков также идут в дело. Для этого обычно используют контейнеры из органического стекла с ребром 2 см. Закрепив внутри такого контейнера небольшой кусочек горной породы с ним в таком положении проводится полный комплекс безнагревных испытаний. На небольших по объёму образцах проводятся также опыты по гомогенизации титаномагнетита.

Результаты многих видов исследований в первичном виде представляют собой графики зависимостей остаточной намагниченности от разного рода

внешних воздействий. В процессе обработки материалов с графиков, в соответствии с [10] и [11], снимаются численные характеристики, которые после соответствующей статистической обработки заносятся в сводные таблицы вместе с составом, химизмом пород и другими физическими параметрами, к ним же, в качестве иллюстраций, прилагаются наиболее характерные графики изученных функций, отражающие особенности магнитной минералогии и состояния петрофизических групп.

**Приложение А**  
(рекомендуемое)

**Форма журнала записей полевых измерений магнитного поля при наземной магниторазведке**

Участок \_\_\_\_\_

**Протонные и квантовые магнитометры**

№ п/п	Дата измерений	Координаты		Время измерений		Отсчет	Примечание
		№ профиля	№ точки	ч	мин		





**Приложение В**  
(рекомендуемое)

**Форма каталога основных палеомагнитных данных**

№ п/п	Возраст		Палеонтологическое обоснование	Объект изучения	Число изученных пластов, потоков, тел	Число отобранных шtuфов и образцов	Число шtuфов, использованных для вычисления возраста	Место отбора			Метод нахождения направления древней намагниченности	Направление древней (первичной) намагниченности				Док. синхронности древней намагнич.	Палеомагнитный полюс		Полуоси овала погрешности		Примечание
	Эпоха, век	Часть возрастного интервала						Район	$\varphi$	$\lambda$		$D_0$	$I_0$	$K$	$\alpha$		$\Phi$	$\Lambda$	$\theta_1$	$\theta_2$	

**Приложение Г**  
(рекомендуемое)

**Сведения о выполнении и увязке опорных сетей наземных магнитных съёмок**

**Г.1 Рекомендации к разбивке опорной сети и наблюдениям в ее узлах**

Полевая опорная сеть – это сеть пунктов наблюдений повышенной точности, служащая для контроля качества наблюдений, определения смещения ноль-пункта съёмочного прибора и учета этого смещения при исправлении результатов съёмки, а также приведения съёмки к единому уровню. Пункты (узлы, точки) опорной сети служат жесткой основой для привязки к ним наблюдений на пикетах рядовой съёмки и обладают повышенным весом при уравнивании их совместно с рядовыми пунктами.

Опорная сеть должна отвечать следующим требованиям:

- погрешность измерений наблюдаемого геомагнитного элемента (значений поля) на пунктах опорной сети должна быть в 1,5-2 раза ниже по сравнению с погрешностью измерений на пунктах рядовой съёмки;
- опорная сеть должна быть равномерной и удобно расположенной для привязки к ней пунктов рядовой сети;
- опорную сеть разбивают перед началом рядовой съёмки участка;
- поле наблюдаемого геомагнитного элемента на пунктах опорной сети должно характеризоваться малыми градиентами; опорный пункт, попавший в резко аномальное поле, подлежит переносу в ближайшее место с меньшими градиентами поля;
- пункты опорной сети устанавливают в местах, удобных для опознания и привязки их к реперам государственного нивелирования, знакам триангуляции, геодезическим знакам и другим долговременным ориентирам на местности (мостам, перекресткам дорог) или естественным ориентирам (излучинам рек, высотам);
- опорная сеть при наземных съёмках средней и высокой точности, и в особенности при крупномасштабных и прецизионных наблюдениях, должна создаваться на базе инструментально проложенных профилей.

Повышение точности наблюдений на опорных пунктах обеспечивается:

- применением приборов более высокого класса точности (например, квантовых, если рядовая съёмка планируется с протонными магнитометрами) или приборов того же класса точности, что и рядовые съёмочные, но с более стабильными характеристиками;
- многократным повторением наблюдений на пунктах опорной сети;
- сокращением времени на транспортировку прибора между соседними опорными пунктами (при больших звеньях сети для переброски прибора на смежный пункт используется транспорт);
- не менее чем двукратным прохождением звеньев, связующих опорные точки.

Измерения взаимных превышений между соседними точками сети выполняются по цикловой схеме. На звене  $AB$  проводят серию измерений сначала в точке  $A$  (среднее  $\mu'_A$ ), затем серию измерений в точке  $B$  (среднее  $\mu_B$ ) и снова в точке  $A$  (среднее  $\mu''_A$ ). Тогда взаимное превышение поля на звене  $AB$  определяется из равенств  $\Delta_{AB} = \mu_B - (\mu'_A + \mu''_A)/2$ .

- одновременным применением при разбивке опорной сети двух или более приборов с равноценными показателями точности.

Если одно из наблюдений в серии на опорном пункте отличается от среднего из остальных на значение, превышающее  $3\sigma$  – среднее квадратическое отклонение результата наблюдения на точке (определенное по повторному ходу), то это наблюдение бракуется.

Расстояние между точками опорной сети для съёмок высокой точности

## ТКП 17.04-39-2012

определяется на стадии проектирования работ с учетом класса используемой для съемки аппаратуры и важнейших метрологических показателей приборов, а также с учетом времени года, уровня магнитной активности и промышленных магнитных помех в районе съемки. Для съемок средней точности расстояние между опорными точками должно быть таким, чтобы в процессе рядовой съемки можно было бы не реже чем через каждые 2-3 ч брать отсчет на одной из опорных точек.

При проведении наблюдений на опорных пунктах обязательен учет вариаций магнитного поля. Допустимое удаление магнитовариационной станции от рабочего участка определяется с учетом положений, сформулированных в пункте 7.7.2 настоящего ТКП. Наиболее предпочтительное время суток для наблюдений на опорной сети – вечер, после 18 ч по местному времени. Перед началом работ на опорной сети необходимо получить вариограмму за ближайшие предшествующие наблюдениям часы. Разбивка опорной сети при средней и значительной возмущенности магнитного поля нецелесообразна.

Конфигурация опорной сети определяется задачами и масштабом съемки. Наиболее рациональны две разновидности сети:

- с опорными точками на магистралях;
- с узлами, образующими систему примерно равносторонних замкнутых полигонов.

При магистральном варианте линии расположения узлов сети лежат перпендикулярно к направлению рядовых профилей съемки, так что на этих линиях (магистралях) находятся первая (начальная) и последняя точки рядового профиля. Третью магистраль проводят посередине участка, между крайними магистралями параллельно им и на равном расстоянии от них. Наблюдения поля на каждой магистрали производят не менее трех раз; за значение поля в каждой точке на магистрали принимается среднее из серии наблюдений, относящихся к данной точке.

Опорные магистрали должны быть дополнительно увязаны между собой (приведены к единому уровню). Это обеспечивается системой рядовых профилей, соединяющих соответствующие точки магистралей.

При высоком уровне помех или при проведении прецизионных съемок, разрешается разбивка опорной сети после выполнения рядовой съемки, на основании полученной картины поля с обязательной переувязкой съемки по новым узлам опорной сети, помещенным в пункты с минимальными градиентами поля.

В необходимых случаях для привязки результатов относительных наблюдений к абсолютным значениям измеряемого геомагнитного элемента один из узлов опорной сети увязывается с пунктом векового хода или на одной из точек опорной сети выполняются абсолютные измерения полного мгновенного значения поля. В качестве приборов для таких измерений используются, протонные магнитометры.

### Г.2 Уравнивание наземной опорной сети

Уравнивание опорной сети, представляющей собой систему замкнутых полигонов, сводится к составлению и решению системы нормальных уравнений. Рассмотрим эту процедуру для системы полигонов со звеньями разной длины. В общем случае в нормальные уравнения входят веса звеньев, но при равноточных измерениях в условиях примерно одинакового уровня помех в процессе разбивки опорной сети различие весов обусловлено лишь различием длин звеньев. Веса превышений по звеньям обратно пропорциональны длинам звеньев.

Пусть опорная сеть состоит из трех полигонов (рисунок Г.1). Суммарную невязку при обходе полигона I, II и III обозначим соответственно  $V_I$ ,  $V_{II}$  и  $V_{III}$ . Взаимные превышения поля по звеньям обозначаются  $L_{i-k}$ , где пара индексов означает номера узлов сети, связываемых звеном. Длины звеньев будем обозначать буквой  $a$  с указателями, соответствующими номерам полигонов, которым то или иное звено

принадлежит.

Пример – Длину звена 1-2 обозначим через  $a_{1^{1-2}}$ , длину звена 2-3- $a_{1^{2-3}}$ ; но длину звена 1-4, принадлежащего одновременно полигону I и II - через  $a_{I,II^{1-4}}$ .

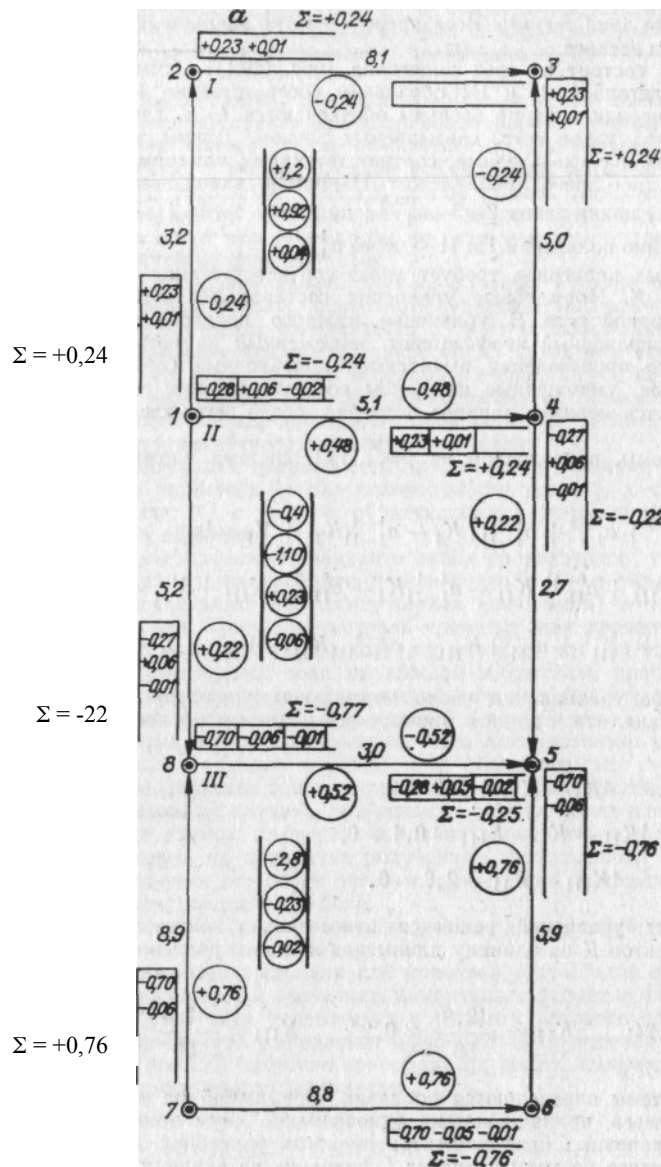


Рисунок. Г.1 – Схема опорной сети к увязке способом В.В. Попова

Присутствие смежных полигонов требует учета соответствующих поправочных коэффициентов  $K$ . Нормальные уравнения составляются непосредственно по чертежу опорной сети. В уравнение каждого полигона входит прежде всего «свой» поправочный коэффициент, умноженный на весь периметр полигона; из этого произведения вычитаются поправочные коэффициенты смежных полигонов, умноженные на длины соответствующих звеньев, и к разности прибавляется невязка данного полигона, после чего вся сумма приравнивается нулю.

Для конкретной схемы, приведенной на рисунке Г.1, система нормальных уравнений такова:

$$(a_{1^{1-2}} + a_{1^{2-3}} + a_{1^{3-4}} + a_{I,II^{4-1}}) K_I - a_{I,II^{4-1}} K_{II} + V_I = 0, \quad (\text{Г.2.1})$$

$$(a_{I,II^{4-1}} + a_{II^{4-5}} + a_{II,III^{5-8}} + a_{II^{8-1}}) K_{II} - a_{I,II^{4-1}} K_I - a_{II,III^{8-5}} K_{III} + V_{II} = 0 \quad (\text{Г.2.2})$$

$$(a_{II-III}^{8-5} + a_{III}^{5-6} + a_{III}^{7-8}) K_{III} - a_{II-III}^{5-8} K_{II} + V_{1III} = 0 \quad (\Gamma.2.3)$$

При данном способе уравнивания число нормальных уравнений равно числу полигонов. Учитывая, что в данном примере все полигоны равносторонние, записываем

$$4K_I - K_{II} + 1,2 = 0;$$

$$4K_{II} - K_I - K_{III} - 0,4 = 0;$$

$$4K_{III} - K_{II} - 2,8 = 0;$$

Система нормальных уравнений решается относительно неизвестных - поправочных коэффициентов  $K$  на единицу длины для каждого полигона сети. В нашем примере

$$K_I = -\frac{13,6}{56} \approx -0,24; \quad K_{II} = -\frac{12,8}{56} \approx -0,23; \quad K_{III} = -\frac{42,4}{56} \approx -0,76;$$

После решения системы определяются поправки превышений на каждую единицу длины для звеньев, принадлежащих одновременно двум полигонам, как разности двух поправочных коэффициентов смежных полигонов. Например, для звена 1-4, взятого по ходу полигона I, поправка на единицу длины будет  $K_I - K_{II}$ , а для звена 5-8, взятого по ходу полигона II, поправка равна  $K_{II} - K_{III}$ .

Результирующие поправки на взаимные превышения по звеньям определяются равенствами

$$\Delta_I^{1-2} = a_I^{1-2} K_1; \quad (\Gamma.2.4)$$

$$\Delta_I^{2-3} = a_I^{2-3} K_1; \quad (\Gamma.2.5)$$

$$\Delta_I^{3-4} = a_I^{3-4} K_1; \quad (\Gamma.2.6)$$

$$\Delta_{I-II}^{4-1} = a_{I-II}^{4-1} (K_1 - K_{II}) \text{ и т.д.} \quad (\Gamma.2.7)$$

Результат уравнивания опорной сети изложенным методом равноценен результату, который получился бы при непосредственном применении способа наименьших квадратов.

В простейших случаях (мало полигонов, длины звеньев измерены с большой точностью) искомые поправки определяются решением системы по правилу Крамера. В общем случае система решается методом последовательных приближений.

Метод последовательных приближений для определения поправок при уравнивании опорных сетей имеет два важнейших варианта: графический (способ коррелят или В.В. Попова) и способ узлов.

При увязке по способу коррелят (способу В. В. Попова) выполняют нижеследующие действия:

- составляют схематический чертеж опорной сети – римскими цифрами нумеруют полигоны, арабскими – узловые точки сети, т.е. вершины многоугольников;
- с графиков опорных маршрутов или непосредственно из журналов наблюдений на опорной сети для каждой пары соседних узлов сети определяют взаимные превышения поля. Эти приращения записывают без знака на соответствующих сторонах полигона. Направление возрастания поля от узла к узлу указывают стрелками, что и позволяет опускать знаки приращений при записи их на схеме;
- для подсчета невязки в каждом полигоне выписанные на его сторонах

приращения суммируют обходом по часовой стрелке. Если направление обхода совпадает с направлением возрастания поля, указанным стрелкой, то соответствующее слагаемое берется с положительным знаком; в противном случае с отрицательным. Суммарную невязку записывают и середине полигона;

- около каждого звена полигона вычерчивают таблички для занесения туда слагаемых разбрасываемой невязки так, как показано на рисунке Г.1. Для внешних звеньев таблички необходимы только с одной стороны - вне полигона.

- определяют вес каждого записанного на соответствующей стороне полигона приращения («вес звена полигона»). Для расчета весов требуется информация о конкретных обстоятельствах съемки опорной сети.

Одно из звеньев полигона может быть пройдено несколько ( $k$ ) раз, и записанное приращение является средним для серии полученных взаимных превышений, а другое - всего 1 раз. Веса таких звеньев оказываются в отношении  $k:1$ . Если звенья полигона существенно различны по длине, веса измеренных приращений при равенстве прочих условий обратны длинам звеньев. Возможны и более сложные случаи, когда для оценки весов необходимо учитывать различия в уровне магнитной активности при обработке разных звеньев полигона, степень отклонения рабочих условий от нормальных на различных же звеньях и другие факторы.

Разбрасывание невязки по сторонам полигона осуществляют обратно пропорционально значениям веса этих сторон (значениям веса отнесенных к этим сторонам приращений).

**Пример - Имеется замкнутый четырехзвенный полигон, где веса приращений (веса звеньев) находятся в отношении 4:3:2:1. Чтобы получить коэффициенты, пропорционально которым разбрасывается невязка, нужно:**

- вычислить значения, обратные данным значениям веса, т. е. перейти (в рассматриваемом примере) к числам  $1/4$ ,  $1/3$ ,  $1/2$  и  $1$ ,
- подсчитать сумму полученных чисел (в примере:  $1/4+1/3+1/2+1 = 25/12$ );
- нормировать значения, обратные значениям веса, путем их деления на подсчитанную в предыдущем пункте сумму (в примере нормированные значения суть  $3/25$ ,  $4/25$ ,  $6/25$  и  $12/25$ ). Сумма нормированных слагаемых должна быть равна единице.

Если звенья полигонов существенно разнятся по длине, находится периметр полигона и определяется относительная длина звена, которая будет при равноточности измерений соответствующим весовым множителем при разбрасывании невязки по сторонам полигона.

Весовые множители вычисляются до сотых долей. На схеме их записывают вне полигона за теми звеньями, к которым они относятся, и притом красными чернилами («красные числа»). Для равносторонних полигонов с равноточными измерениями взаимных превышений (вообще, в случае равных весов) «красные числа» на схему не выносятся.

Распределение невязок полигонов на отдельные звенья пропорционально «красным числам» назовем выбрасыванием невязок полигона за его границы. Распределение невязок начинают с полигонов, где невязка максимальна. В дальнейшем изложении рабочая процедура иллюстрируется примером, представленным на схеме рисунка Г.1.

Невязку полигона (в примере - полигона III) разносят по звеньям (по 0,70 на каждое). Слагаемые невязки заносят в таблички на внешней стороне каждого звена, а саму невязку, записанную внутри полигона, после ее распределения по звеньям обводят кружком (погашают).

В смежном с начальным полигоне его собственную исходную невязку суммируют с частью невязки, перешедшей сюда из предыдущего полигона и записанной в табличке у общей с предыдущим полигоном стороны (в примере для полигона II: -

## ТКП 17.04-39-2012

0,4-0,70= -1,10), после чего взятое из таблички значение отчеркивают там как уже использованное (погашенное), а суммарную невязку записывают непосредственно под исходной (которая при этом также обводится кружком) и разносят по звеньям полигона по уже продемонстрированной здесь процедуре.

В очередном следующем полигоне результирующая невязка распределяется так же (полигон I: 1,2-0,28 = 0,92),

После выполнения первой раскладки во всех без исключения полигонах схемы начинают вторую раскладку. Выбор начального полигона при этом не имеет значения.

Распределение невязок заканчивают, когда остающиеся в полигонах невязки либо становятся пренебрежимо малы, либо оказываются ниже наперед принятого уровня точности увязки.

В зависимости от очередности распределения невязок числа в табличках могут быть различны при различном порядке отработки полигонов, но итоговая сумма их в каждой табличке, определяющая поправку на звене полигона, должна независимо от порядка движения по полигонам быть одной и той же.

По суммам занесенных в таблички чисел находят искомые поправки на звеньях. Суммарная поправка для звена, взятая в направлении обхода полигона по часовой стрелке, равна сумме чисел во внутренней относящейся к данному звену табличке минус сумма чисел во внешней к данному полигону табличке этого же звена (в нашем примере поправка для звена 4 - / полигона: I: -0,24-0,24= -0,48). Окончательные поправки записывают в больших кружках возле каждого звена. Сумма поправок к сторонам по всему полигону должна быть равна начальной невязке данного полигона с обратным знаком.

Уравниваемые приращения на схеме исправляют путем суммирования их с соответствующими итоговыми поправками. Сумма исправленных приращений при обходе по любому из увязанных полигонов должна быть равна нулю или не превосходить заранее заданного уровня неопределенности (в примере для полигона II: 5,58+2,92-3,52-4,98 = 0).

Принимая какой-либо узел опорной сети за базовый, получают увязанные значения всех остальных узлов сети по исправленным взаимным превышениям.

Первоначальной характеристикой погрешности увязанной опорной сети является средняя квадратическая погрешность единицы веса (таблица Г.1).

Если  $\Delta_i$  – итоговые поправки взаимных превышений на звеньях полигонов,  $1 \leq i \leq n$ ,  $p_i$  – веса взаимных превышений на соответствующих звеньях,  $r$  – число замкнутых полигонов, то погрешность единицы веса  $\mu$  рассчитывается по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{ipi}}{r}}$$

(Г.2.8)

Вычисление  $\mu$  для опорной сети в примере, иллюстрирующем увязку способом В.В. Попова, выполнено в предположении равенства весов всех взаимных превышений:  $p_1 = p_2 = \dots p_1 = \dots = p_n = 1$  (рисунок Г.1)

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{r}} = \sqrt{\frac{2,5032}{3}} \approx 0,91$$

(Г.2.9)

$$\begin{aligned} \Delta_I^{1-2} &= -0,24; & \Delta_I^{2-3} &= -0,24; & \Delta_I^{3-4} &= -0,24; \\ \Delta_{I-II}^{4-1} &= -0,47; & \Delta_{II}^{4-5} &= 0,23; & \Delta_{II-III}^{5-8} &= -0,53; \\ \Delta_{II}^{8-1} &= 0,22; & \Delta_{III}^{5-6} &= 0,76; & \Delta_{III}^{6-7} &= 0,76; & \Delta_{III}^{7-8} &= 0,76; \end{aligned}$$

Таблица Г.1 - Расчет средней квадратической погрешности единицы веса сети

Пара смежных опорных точек	Превышение		$\Delta_i$	$\Delta_i^2$
	до увязки	после увязки		
2-1	3,2	2,96	0,24	0,0576
3-2	8,1	7,86	0,24	0,0576
4-3	-5,0	-5,24	0,24	0,0576
1-4	-5,1	-5,58	0,48	0,2304
5-4	2,7	2,92	0,22	0,0484
8-5	-3,0	-3,52	0,52	0,2704
1-8	-5,2	-4,98	0,22	0,0484
6-5	-5,9	-5,14	0,76	0,5776
7-6	-8,8	-8,04	0,76	0,5776
8-7	8,9	9,66	0,76	0,5776
			$\sum_{i=1}^{10} \Delta_i^2 = 2,5032$	

Уравнивание по способу узлов возможно для сети, содержащей узлы, связанные с более чем двумя смежными узлами, т. е. такой сети, где число звеньев более чем на единицу превосходит число узловых точек.

По каждому из звеньев известны взаимные превышения поля. В каждом замкнутом полигоне сети имеется невязка. Измеренные приращения по звеньям (взаимные превышения) обозначаются  $L_{i-k}$ , а веса этих звеньев  $p_{i-k}$ . Очевидно, что  $L_{i-k} = -L_{k-i}$ .

Процедура уравнивания сводится к нижеследующему.

За исходную принимается точка с твердым значением поля (например, КП в качестве узла опорной сети) или любая произвольно взятая точка, значение поля в которой условно считается равным нулю. Увязка по способу узлов рассматривается на том же числовом примере, что и увязка по способу коррелят, но иллюстрируется рисунком Г.2. В данном примере за исходную выбрана точка I.

Значения поля в любой узел сети можно передать с каждой связанной ней другой узловой точки по взаимным превышениям. В нашем примере точка 2 получает значение из узла 1 ( $0+3,2 = 3,2$ ), точка 3 из узла 2 ( $3,2+8,1 = 11,3$ ), 4 из 1 ( $0+5,1=5,1$ ), 8 из 1 ( $0+5,2 = 5,2$ ), 5 из 8 ( $5,2 + 3,0=8,2$ ), 7 из 8 ( $5,2-8,9= -3,7$ ) и 6 из 5 ( $8,2 - 5,9=2,3$ ).

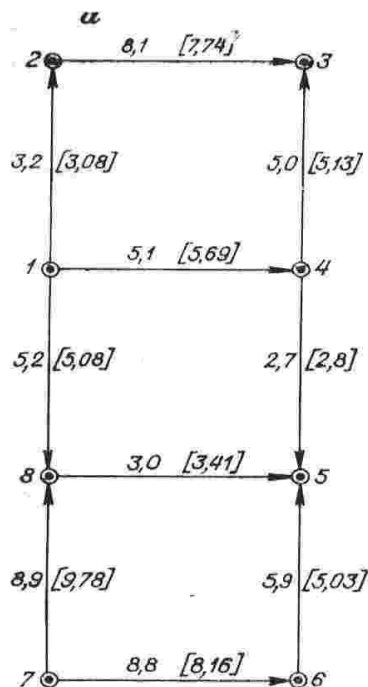


Рисунок Г.2. Схема опорной сети к уравниванию по способу узлов.

Таблица Г.2 – Расчет средней квадратической погрешности единицы веса увязанной опорной сети.

Пара смежных опорных точек	Превышение		Δ <sub>i</sub>	Δ <sup>2</sup> <sub>i</sub>
	до увязки	после увязки		
2-1	3,2	3,08	0,12	0,0144
3-2	8,1	7,74	0,36	0,1296
4-3	-5,0	-5,13	0,13	0,0169
1-4	-5,1	-5,69	0,59	0,3481
5-4	2,7	2,8	0,10	0,0100
8-5	-3,0	-3,41	0,41	0,1681
1-8	-5,2	-5,08	0,12	0,0144
6-5	-5,9	-5,03	0,87	0,7569
7-6	-8,8	-8,16	0,64	0,4096
8-7	8,9	9,78	0,88	0,7744
n-k = 10-8 = 2			$\sum_{i=1}^{10} \Delta_i^2 = 2,6424$	
$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-k}} = \sqrt{\frac{2,6424}{2}} \approx 1,16$				

Таблица Г.3 – Схема уравнивания узлов сетки

Номера узлов	1	2	3	4	5	6	7	8
Номера точек, связанных с узловой	2, 4, 8	1,3	2, 4	1, 3, 5	4, 6, 8	5,7	6, 8	1, 5, 7
Количество связей	3	2	2	3	3	2	2	3
Свободный член	-13,5	-4,9	+13,1	-2,6	+11,6	+2,9	-17,7	+11,1
$A^I$	0	+3,2	+11,30	+5,1	+8,2	+2,3	-3,7	+5,2
$A^{II}$	0	+3,20	+10,70	+5,63	+8,07	+3,70	-5,10	+5,20
$A^{III}$	+0,18	+2,90	+10,97	+5,60	+8,71	+2,93	-4,40	+4,69
$A^{IV}$	-0,10	+3,12	+10,80	+5,75	+8,27	+3,60	-5,04	+4,40
$A^V$	-0,08	+2,90	+10,98	+5,46	+8,45	+3,06	-4,85	+4,74
$A^{VI}$	-0,13	+3,00	+10,73	+5,58	+8,29	+3,25	-4,95	+4,87
$A^{VII}$	-0,02	+2,85	+10,84	+5,43	+8,43	+3,12	-4,79	+4,77
$A^{VIII}$	-0,15	+2,96	+10,69	+5,55	+8,31	+3,27	-4,91	+4,91
$A^{IX}$	-0,03	+2,82	+10,80	+5,42	+8,44	+3,15	-4,76	+4,78
$A^X$	-0,16	+2,93	+10,67	+5,54	+8,32	+3,29	-4,88	+4,92
$A^{XI}$	-0,04	+2,81	+10,78	+5,41	+8,45	+3,17	-4,75	+4,79
$A^{XII}$	-0,16	+2,92	+10,67	+5,53	+8,32	+3,30	-4,87	+4,92
$A^{XIII}$	-0,04	+2,80	+10,77	+5,41	+8,45	+3,18	-4,74	+4,80
$A^{IV}$	-0,16	+2,92	+10,66	+5,53	+8,33	+3,30	-4,86	+4,92

За наиболее вероятное значение поля в узловой точке принимается среднее арифметическое из всех значений, переданных с учетом весов на эту узловую точку из соседних, связанных с ней.

**Пример - для точки 5 уравнение наиболее вероятного значения имеет вид**

$$A_5 = \frac{(A_4 + L_{5-4}) + A_6 + L_{5-6} + (A_8 + L_{5-8})}{3}$$

(Г.2.10)

Такое уравнение называется нормальным уравнением 1-й узловой точки.

**Пример - нормальные уравнения составлены для случая равновесных взаимных приращений:**

$$A_1 = \frac{(A_2 + L_{1-2}) + (A_4 + L_{1-4}) + (A_8 + L_{1-8})}{3};$$

(Г.2.11)

$$A_2 = \frac{(A_1 + L_{2-1}) + (A_3 + L_{2-3})}{2};$$

(Г.2.12)

$$A_3 = \frac{(A_2 + L_{3-2}) + (A_4 + L_{3-4})}{2};$$

(Г.2.13)

$$A_4 = \frac{(A_1 + L_{4-1}) + (A_3 + L_{4-3}) + (A_5 + L_{4-5})}{3};$$

(Г.2.14)

$$A_5 = \frac{(A_4 + L_{5-4}) + (A_6 + L_{5-6}) + (A_8 + L_{5-8})}{3}; \quad (\text{Г.2.15})$$

$$A_6 = \frac{(A_5 + L_{6-5}) + (A_7 + L_{6-7})}{2};$$

(Г.2.16)

$$A_7 = \frac{(A_6 + L_{7-6}) + (A_8 + L_{7-8})}{2};$$

(Г.2.17)

$$A_8 = \frac{(A_i + L_{8-1}) + (A_5 + L_{8-5}) + (A_8 + L_{8-7})}{3};$$

(Г.2.18)

В каждом из уравнений сумма превышений, взятых со своими знаками, образует свободный член.

**Пример - в уравнении для A1 свободный член будет:  $L1 = L1-2 + L1-4 + L1-8 = -3,2-5,1-5,2 = -13,5$ ; в уравнении для  $A2 = L2 = L2-1 + L2-3 = 3,2-8,1 = 4,9$  и т. д.**

Каждое нормальное уравнение решается отдельно от других методом последовательных приближений (итерации). Свободные члены ( $L1, L2, \dots, L8$ ) остаются неизменными на любом шаге итерационного процесса.

Сначала в позиции переменных правой части каждого уравнения подставляются значения поля в соответствующих узлах до увязки. Совокупность значений в узлах опорной сети до процедуры увязки образует так называемое первое приближение  $A^I$ . Решение нормальных уравнений дает при этом другую совокупность значений в узлах - второе приближение  $A^{II}$ . По аналогии получают третье  $A^{III}$  и все последующие приближения.

**Пример**

$$A_1^{II} = \frac{A_2^I + A_4^I + A_8^I + L_1}{3}, \quad (\text{Г.2.19})$$

где  $A_2^I = +3,2$ ;  $A_4 = +5,1$ ;  $A_8 = +5,2$ ;

**Пример**

$$A_1 = \frac{A_2^I + A_4^I + A_8^I + L_1}{3} \quad (\text{Г.2.20})$$

Процесс решения заканчивается, когда два очередных последовательных приближения либо разнятся в каждом узле на значение, меньшее заданной погрешности вычислений, либо практически вообще не различаются.

В ходе решения нормальных уравнений следует пользоваться схемой-таблицей Н.В. Линицкого (таблица Г.3). Вычерчивается чертеж опорной сети. На связях (звеньях), где стрелками указано направление возрастания поля, надписывают исходные, неувязанные значения приращений. В таблице за каждым узлом опорной сети закрепляется определенный столбец. В одной из строк этой таблицы для каждого узла записывают значение свободного члена, подставляемое в нормальные уравнения этого узла на каждом очередном шаге итерационного процесса. Под строкой свободных членов записывают последовательные приближения решений, начиная с первого. В самой нижней строке записывают исправленные (увязанные) значения поля в узлах сети.

По окончании увязки производится вычисление средней квадратической погрешности увязанных взаимных превышений на единицу веса

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \rho_i}{n - k}}, \quad (\text{Г.2.21})$$

где  $\Delta_i$  – итоговые поправки взаимных превышений на звеньях полигонов, найденные в результате уравнивания;

$\rho_i$  – веса взаимных превышений на соответствующих звеньях;

$n$  – число всех звеньев в опорной сети,  $k$  – число узловых точек сети;

$n-k$  – это число избыточно измеренных разностей (превышений).

В числовом примере увязки опорной сети способом узлов также принято, что  $\rho_1 = \rho_2 = \dots \rho_1 = \dots \rho_n = 1$ .

Уравнивание по способу узлов особенно эффективно при наличии нескольких твердых узловых точек, значения поля в которых на любом шаге итерации, т. е. в любом приближении, сохраняются фиксированными.

### Г.3 Увязка двух опорных магистралей по рядовым пересекающим их профилям

На каждой точке магистрали I (МГ I) (рисунок Г.3) определены средние значения поля (абсолютные значения  $T$ , приращения  $\Delta Z$ ,  $\Delta H$  или  $\Delta T$ ).

**Пример - 55, 60, 48, 40, 82, 65, 51. Аналогичный числовой ряд определен и на МГ II где измерения могут выполняться вне связи с измерениями на МГ I: 92, 98, 76, 71, 116, 96, 79.**

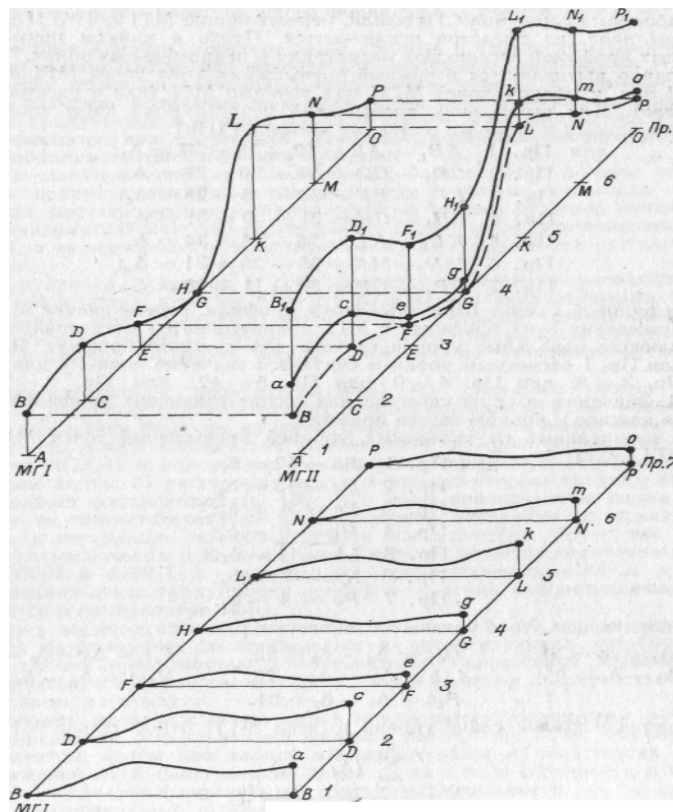


Рисунок Г.3 – Схема магистрального способа увязки

Вычитая для удобства постоянную составляющую из чисел обоих рядов, получаем

для МГ I,	для МГ II
AB = 15;	AB <sub>1</sub> = 52;
CD = 20;	CD <sub>1</sub> = 58;
EF = 8;	EF <sub>1</sub> = 36;
GH = 0	GH <sub>1</sub> = 31
KL = 42;	KL <sub>1</sub> = 76;
MN = 25;	MN <sub>1</sub> = 56;
OP = 11;	OP <sub>1</sub> = 39.

Для увязочных операций отбираются лишь те пары точек, которые получены в слабоаномальном поле. Профили, пересекающие МГ I или МГ II в резко-градиентном поле, из расчетов исключаются. В данном примере все семь рядовых профилей пересекают магистрали в неаномальных зонах.

Попарно вычисляются взаимные превышения поля точек МГ I над точками МГ II или, наоборот, точек МГ II над точками МГ I (как в рассматриваемом примере). Для вычисления превышений используются пары точек, принадлежащих одному и тому же рядовому профилю (Пр):

для	Пр. 1	$AB_1 - AB = 52 - 15 = 37 = \delta_1$
	Пр. 2	$CD_1 - CD = 58 - 20 = 38 = \delta_2;$
	Пр. 3	$EF_1 - EF = 36 - 8 = 28 = \delta_3;$
	Пр. 4	$GH_1 - GH = 31 - 0 = 31 = \delta_4;$
	Пр. 5	$KL_1 - KL = 76 - 42 = 34 = \delta_5;$
	Пр. 6	$MN_1 - MN = 56 - 25 = 31 = \delta_6$
	Пр. 7	$OP_1 - OP = 39 - 11 = 28 = \delta_7;$

При рядовой съемке обрабатываются профили, пересекающие МГ I и II. Точкам пересечения этих профилей с МГ I приписываются магистральные значения, задающие начальные уровни отсчета для каждого профиля. В нашем примере для Пр. 1 отсчетным уровнем считается значение поля 15, для Пр. 2 - 20, для Пр. 3 - 8, для Пр. 4 - 0, для Пр. 5 - 42, для Пр. 6 - 25, для Пр. 7 - 11. Значения поля на пересечениях соответствующих профилей с МГ II приводятся каждое к уровню своего профиля.

Пусть отсчитанные от указанных уровней превышения точек МГ II над точками МГ I будут для

Пр.1	$Ba = 12 = \delta_1$
Пр.2	$Dc = 15 = \delta_2$
Пр.3	$Fe = 4 = \delta_3$
Пр.4	$Hg = 6 = \delta_4$
Пр.5	$Lk = 11 = \delta_5$
Пр.6	$Nm = 7 = \delta_6$
Пр.7	$Po = 4 = \delta_7$

На следующем этапе увязки составляются разности

$$\begin{aligned} B1a &= \Delta_1 - \delta_1 = 25; & D1c &= \Delta_2 - \delta_2 = 23; & F1e &= \Delta_3 - \delta_3 = 24; \\ H1g &= \Delta_4 - \delta_4 = 25; & L1k &= \Delta_5 - \delta_5 = 23; & N1m &= \Delta_6 - \delta_6 = 24; \\ & & P1o &= \Delta_7 - \delta_7 = 24; \end{aligned}$$

и определяется искомый сдвиг уровня отсчета МГ II относительно МГ I

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^k (\Delta_i - \delta_i)}{k}$$

(Г.2.22)

В нашем случае  $\Delta = 24$ . Затем все значения на МГ I увеличиваются на  $\Delta$  (или все значения на МГ II уменьшаются на  $\Delta$ ).

## Приложение Д

(рекомендуемое)

**Опорные палеомагнитные данные  
для определения геологического возраста пород**

Платформы	Период, эпоха	Средние координаты полюса		Число определений	Погрешность определения полюса	Преобладающая полярность пород
		Ф с. ш.	Л в. д.			
Русская и Сибирская	$Q_{IV}-Q_{II}$	87 <sup>0</sup>	125 <sup>0</sup>	28	3 <sup>0</sup>	N
	$Q_I-N$	80	178	47	4	NR
	$P-K$	76	168	26	3	N
Русская	$J-T_2$	65	152	14	7	N
	$T_1$	51	154	25	5	R
	$P_2$	45	165	34	3	NR
	$P_1-C_3$	40	168	50	2	R
	$C_2$	32	161	17	3	NR
	$C_1-D_2$	28	159	16	6	R
Сибирская	$T_3-T_2$	54	137	7	8	NR
	$T_1$	51	148	32	4	NR
	$P_2-P_1$	45	140	12	11	R
	$C_1-D$	10	117	7	16	R
	$O_3$	-21	131	5	6	N
	$O_2$	-24	132	6	4	N
	$O_1-C_3$	-39	126	21	2	NR
	$C_2-C_1$	-44	156	7	7	R
	$V$	-33	153	6	19	R
$R_2-R_1$	-29	98	8	11	NR	
Русская	$V$	8	189	7	5	R
	$R_1$	46	232	5	12	N

## Библиография

- [1] Инструкция о порядке разработки, согласования и утверждения проектной документации на пользование недрами  
Утверждено постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 20 февраля 2009 г. N 6/8
- [2] Методика по составлению проектов и смет на геологоразведочные работы.  
Утверждена приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 3 декабря 2007 г. № 327-ОД.
- [3] Положение о порядке проведения государственной геологической экспертизы проектной документации на геологическое изучение недр  
Утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 4 мая 2010 г. № 667
- [4] Инструкция о порядке составления отчётов о геологическом изучении недр.  
Утверждена постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 14 мая 2007 г. №58.
- [5] Основные положения по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ. М., 1974. 40 с.
- [6] Вейнберг А.К., Квачевский О.Н. Коэффициенты размагничивания тел кубической формы. Геофиз. Аппаратура, 1981, вып. 72, с. 12-18.,
- [7] Логачёв А.А., Захаров В.П., Магниторазведка. 5-е изд. Л., Недра, 1979. 351с.
- [8] Шолпо Л.Е. Использование магнетизма горных пород для решения геологических задач. Л., Недра, 1977. 198 с.
- [9] Использование магнетизма горных пород при геологической съёмке. Методическое пособие по геологической съёмке масштаба 1:50 000, вып. 18. Л., Недра, 1986. 224 с.