

**ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС  
УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ**

---

Охрана окружающей среды и природопользование. Недра  
**ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ГРАВИРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**

Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарастанне. Нетры  
**ПРАВІЛЫ ПРАВЯДЗЕННЯ ГРАВІРАЗВЕДАЧНЫХ РАБОТ**

*Издание официальное*



УДК

МКС 73.020

КП-02

**Ключевые слова:** Гравиметрические работы, гравиметр, аномалии силы тяжести, плотность горных пород, трансформации гравитационного поля, редукция Буге.

---

### 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 Республиканским унитарным предприятием «Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт»

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ (взамен Инструкции по гравиразведке, утверждённой заместителем Министра геологии СССР, начальниками Военно-топографического управления Генерального штаба, Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны, Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР, директором института Физики Земли Академии наук СССР, М., 1980)

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.

---

Издан на русском языке

## Содержание

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины и определения.....	1
4 Обозначения и сокращения.....	2
5 Общие положения.....	2
5.1 Задачи гравиразведки и виды гравиметрических работ.....	2
6 Правила проведения гравиметрических работ.....	4
6.1 Правила проектирования работ.....	4
6.2 Правила организации работ.....	7
6.3 Функции, обязанности и ответственность исполнителей.....	8
6.4 Правила проведения геодезических работ.....	10
6.5 Технический контроль и оценка качества работ.....	11
7 Правила проведения наземной гравиметрической съемки.....	12
7.1 Аппаратура.....	12
7.2 Методика наблюдений.....	14
7.3 Полевая опорная сеть.....	15
7.4 Рядовая сеть.....	18
7.5 Обработка результатов гравиметрических наблюдений и оценка точности.....	20
8 Правила проведения подземной гравиметрической съемки.....	23
9 Правила определения плотности горных пород.....	29
10 Интерпретация результатов гравиметрических съемок.....	33
11 Правила составления технической отчетности.....	35
11.1 Составление отчетности по результатам гравиметрических работ.....	35
11.2 Составление отчетных графических материалов.....	36
11.3 Хранение результатов съемок.....	37
Приложение А (рекомендуемое) Форма полевого гравиметрового журнала.....	39
Приложение Б (рекомендуемое) Форма полевого журнала нивелирования (при определении поправок за влияние рельефа местности).....	40
Приложение В (рекомендуемое) Форма журнала обработки полевых наблюдений гравиметрии.....	41
Приложение Г (рекомендуемое) Форма ведомости контрольных измерений.....	42
Приложение Д (рекомендуемое) .....	43
Приложение Е (рекомендуемое) Форма каталога рядовых пунктов.....	44
Приложение Ж (обязательное) Технические требования к гравиметрическим полигонам.....	45
Приложение К (обязательное) Определение цены деления при эталонировании гравиметров на специальных эталонных полигонах.....	46
Приложение Л (обязательное) Определение цены деления при эталонировании гравиметров методом наклона.....	47
Библиография .....	48

## Введение

Гравиразведочные работы, выполняемые на территории Республики Беларусь, являются одним из важнейших методов изучения геологического строения недр. Кроме этого, гравиметрические данные используются в практике геодезических работ. До последнего времени гравиразведочные работы регламентировались Инструкцией по гравиразведке [1], утверждённой заместителем Министра геологии СССР, начальниками Военно-топографического управления Генерального штаба, главного управления навигации и океанографии Министерства обороны, Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР, директором института Физики Земли Академии наук СССР и изданной в 1980 году. За прошедшее время аппаратная база гравиразведки принципиально не изменилась, но появилась новая аппаратура с лучшими техническими характеристиками [2],[3]; в области обработки и интерпретации данных гравиразведки наблюдался значительный прогресс [7] - [6]. Гравиразведочные данные в связи с развитием техники утратили своё оборонное значение, а в части использования при геологическом изучении недр их значение возросло. Особенно важное значение гравиразведочные работы имеют для Беларуси, поскольку отложения, с которыми связаны основные полезные ископаемые Республики, перекрыты чехлом осадочных пород значительной мощности. Технический кодекс установившейся практики «Правила проведения гравиразведочных работ» составлен с целью учета изменений, которые произошли в области измерений гравитационного поля и использования полученных данных за время, прошедшее с 1980-го года.

## ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

**Охрана окружающей среды и природопользование. Недра  
ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ГРАВИРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ****Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарастанне. Нетры  
ПРАВІЛЫ ПРАВЯДЗЕННЯ ГРАВІРАЗВЕДАЧНЫХ РАБОТ**

Environmental protection and nature use. Subsoil  
Carrying out rules gravimetric works

Дата введения 2009 -03-01

### 1 Область применения

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее – ТКП) устанавливает правила проектирования и производства гравиразведочных работ, отвечающие современному уровню техники полевых измерений, обработки и интерпретации материалов.

Область действия настоящего ТКП – наземные гравиметрические региональные площадные и профильные съёмки масштабов 1:200000, 1:50000 и 1:25000, детальные съёмки 1:10000 и крупнее, а также выполнение подземных гравиметрических работ.

ТКП обязателен для юридических лиц, осуществляющих деятельность в области проведения гравиразведочных 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):

СТБ 1813-2007 Государственная гравиметрическая сеть Республики Беларусь

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 техническом кодексе применяются термины, установленные в СТБ 1813, а также следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 аномалия Буге:** Аномальное значение гравитационного поля, рассчитанное на основе измерения полного значения вертикальной составляющей поля путём вычета нормального поля геоида и введения поправки за высоту над геоидом и за плотность промежуточного слоя горных пород, а также поправки за рельеф.

**3.2 бергштрих:** Короткая черточка, ставится перпендикулярно к изолинии и указывает направление увеличения (уменьшения) значений.

**3.3 геоид:** Упрощенная фигура Земли.

**3.4 гравиметрическая система 1971 года:** С 1971 года в нормальное поле Земли,

рассчитанное по формуле Гельмерта, вводится поправка -14 мГал.

**3.5 звено рейса:** Часть рейса между двумя последовательными наблюдениями на опорных пунктах.

**3.6 изоаномалы:** Линии равных значений аномального гравитационного поля и его производных.

**3.7 квершлаг:** Горизонтальная подземная горная выработка, проходимая вкрест простирания горных пород.

**3.8 нулевой способ отсчета:** Измерения приращений поля силы тяжести, основанные на его компенсации с помощью пружинных весов гравиметра.

**3.9 нульпункт:** Воображаемый отсчет по шкале гравиметра в течение рабочего процесса на одной и той же точке.

Примечание – Этот отсчёт вследствие ряда причин изменяется со временем. Значения нульпункта восстанавливаются по наблюдениям на точках с известным значением поля.

**3.10 плоскость относимости:** Плоскость, от которой отсчитываются уклоны дневной поверхности при учете влияния рельефа.

**3.11 полигон распределения:** Графическое изображение в двухмерной плоскости частоты проявлений значений плотности с оконтуриванием прямолинейными отрезками.

**3.12 постоянная гравиметра:** Цена деления отсчетной шкалы гравиметра.

**3.13 разностный нульпункт:** Разность отсчетов двух гравиметров при одновременных наблюдениях.

**3.14 рейс:** Совокупность последовательных наблюдений на опорных и рядовых пунктах одним или группой гравиметров, объединенных непрерывным нульпунктом (в том числе ломаным), полученным по результатам измерений на опорных пунктах.

**3.15 твердые значения силы тяжести:** Значения поля силы тяжести на пунктах, используемые в процессе проведения гравиметрических съемок в качестве опорных.

**3.16 штрек:** Горизонтальная подземная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на дневную поверхность.

**3.17 экзаменатор:** Прибор для точного определения угла наклона гравиметра.

## 4 Обозначения и сокращения

В настоящем техническом кодексе применяют обозначения и сокращения, установленные в СТБ 1813-2007, а также следующие сокращения:

$\Delta g$ : Приращение ускорения поля силы тяжести

$\Delta g_a$ : Аномальное значение силы тяжести с поправкой Буге

**GPS-комплекс:** Геодезические аппаратно-программные комплексы для определения координат, использующие данные искусственных спутников Земли

**ГГК-П:** Плотностной вариант гамма-гамма-каротажа

**ГГрС:** Государственная гравиметрическая сеть

**ГГФ:** Государственный геологический фонд

**ГрС-1:** Гравиметрическая сеть первого класса

**ГрС-2:** Гравиметрическая сеть второго класса

**ОГрС-1:** Опорная гравиметрическая сеть первого класса

**ПК:** Персональный компьютер

## 5 Общие положения

### 5.1 Задачи гравиразведки и виды гравиметрических работ

**5.1.1** Гравиметрическая разведка является одним из геофизических методов, применяемых при геологоразведочных работах для изучения геологического строения

территории, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Кроме решения прикладных геологических задач, гравиметрические исследования проводят с целью изучения фигуры Земли, ее глубинного строения и т. п.

**5.1.2** Физической основой гравиметрической разведки является различие плотностей пород, рудных и нерудных полезных ископаемых. При гравиметрической разведке измеряются плотности горных пород, выполняются относительные измерения ускорения силы тяжести и ее производных, выделяются аномалии гравитационного поля и проводится их геологическое истолкование.

**5.1.3** Эффективность применения гравиметрической разведки определяется физико-геологическими условиями залегания изучаемого объекта, точностью и детальностью гравиразведочных работ, изученностью района исследований геологическими и другими геофизическими методами, их правильным комплексированием.

**5.1.4** Благоприятными физико-геологическими условиями для применения гравиразведки являются:

- наличие разности плотностей изучаемых тел и вмещающих пород или контактирующих сред;
- отсутствие вблизи изучаемых тел других объектов, гравитационное влияние которых является помехой;
- достаточно большие размеры тел и небольшая глубина их залегания, простая форма и т. п.

**5.1.5** Гравиметрическая разведка применяется как для региональных, так и для детальных геологических исследований. Региональные исследования предшествуют детальным.

**5.1.5.1** Региональная гравиразведка применяется для решения следующих основных геологических задач:

- тектоническое и литолого-петрографическое районирование крупных регионов при геологическом картировании и составлении прогнозных и металлогенических карт; объектами исследований могут быть складчатые области, кристаллические щиты и массивы, поднятия фундамента, депрессии, области накопления мощных толщ, осадочных отложений, платформы, глубинные разломы земной коры;

- картирование геологических зон и крупных структур (в пределах структурных элементов I и II порядков) с целью выделения участков для проведения более детальных работ геологическими и геофизическими методами.

При решении перечисленных задач региональную гравиметрическую разведку предпочтительно, а иногда и необходимо применять в комплексе с магниторазведкой, сейсморазведкой, сейсмологическими исследованиями и некоторыми модификациями электроразведки, с гамма-спектрометрией, металлометрией и т. п.

**5.1.5.2** Детальная гравиразведка применяется для решения поисковых (в т.ч. далее - поисковая съемка) или разведочных (в т.ч. далее - разведочная съемка) геологических задач:

- изучение тектонического строения отдельных нефтегазоносных территорий для последующего производства работ другими геологическими и геофизическими методами;

- изучение тектонического строения и геолого-геофизическое картирование кристаллического фундамента для выявления участков, перспективных на черные, цветные и редкие металлы, в комплексе с магниторазведкой; достоверность интерпретации результатов гравимагнитных съемок в этом случае может быть повышена путем изучения рельефа поверхности кристаллического фундамента другими геофизическими и геологическими методами;

- прослеживание крупных залежей полезных ископаемых или пород, вмещающих и контролирующих полезные ископаемые;

- выявление локальных структурных форм, благоприятных для скопления полезных ископаемых и непосредственно залежей полезных ископаемых (нефти, газа, руды, угля и



т. п.), прослеживание разрывных нарушений;

- определение формы, размеров, элементов залегания исследуемых объектов, их литолого-петрографическое расчленение и т. п.

Детальная гравиметрическая разведка применяется в комплексе с магниторазведкой, сейсморазведкой, электроразведкой.

**5.1.6** Различают съемки: наземную, подземную, скважинную, морскую (донную, надводную, мелководную), аэрогравиметрическую, которые проводятся соответствующими типами гравиметров.

**5.1.7** По своему характеру гравиметрическая съемка может быть площадной и профильной.

**5.1.7.1** П л о щ а д н о й называется съемка, результаты которой позволяют построить карту изоаномал силы тяжести (векторов, кривизн) исследованной площади. Площадная съемка может быть равномерной, если расстояния между пунктами наблюдений по профилю и между профилями одинаковы, и неравномерной, если расстояния между пунктами наблюдений по профилю и между профилями неодинаковы.

Неравномерность съемки, определяемая геологическими и другими особенностями изучаемой площади, не должна снижать достоверности карты изоаномал силы тяжести, для чего соотношение расстояний между пунктами по профилю и между профилями не должно быть меньше 1:5. Площадная съемка дает наиболее полную и достоверную характеристику гравитационного поля исследуемого района и потому является предпочтительной при всех видах гравиметрической съемки.

**5.1.7.2** П р о ф и л ь н о й называется съемка, результаты которой из-за взаимной удаленности отдельных линий измерений позволяют получать изменения аномалий силы тяжести или градиентов аномалий лишь вдоль этих линий.

Профильная съемка применяется для изучения глубинного строения земной коры, для детального изучения протяженных геологических объектов (зон контактов крупных тектонических блоков, зон разломов, пластовых залежей), для определения интенсивности и характера аномалий на эталонном участке с целью оценки эффективности и определения методики гравиметрической съемки в новом районе, для проложения интерпретационных профилей повышенной детальности и точности с целью выполнения количественных расчетов, а также на труднодоступных участках.

**5.1.7.3** При региональных съемках и на участках детальных работ в труднодоступной местности выполняется м а р ш р у т н а я съемка по дорогам, долинам и т. п.

**5.1.8** Гравиметровые съемки всех масштабов проводятся, как правило, полностью с обязательным обрамлением полосой 5 см. При региональных съемках масштаба 1:100000, имеющиеся на листах водоемы (озера, водохранилища, реки) покрываются съемкой в обязательном порядке.

**5.1.9** Для выполнения гравиразведочных работ организуются партии или отряды в составе экспедиций или комплексных партий.

**5.1.10** Полный цикл гравиразведочных работ делится на следующие этапы:

- проектно-сметный;
- организационный (на месте формирования партии и в поле);
- полевой;
- ликвидационный (в поле и на месте расформирования партии);
- камеральный.

## **6 Правила проведения гравиметрических работ**

### **6.1 Правила проектирования работ**

**6.1.1** Основным документом, определяющим работу партии или отряда на всех этапах, является технический проект, который составляется на основе анализа всех

имеющихся по району геофизических, геологических, геодезических и других материалов. При написании проекта учитываются требования ТКП и других действующих ТНПА, а также локальных НПА конкретной организации.

**6.1.2** В проекте должна быть сформулирована геологическая задача работ, в зависимости от которой, а также от физико-геологических условий района работ, ожидаемого гравитационного эффекта и типа применяемой аппаратуры должны быть определены и обоснованы:

- методика съемки;
- способы изучения плотностного разреза;
- способы обработки и интерпретации материалов, в том числе и на ПК;
- ожидаемые результаты.

**6.1.3** Под методикой съемки понимается:

- вид съемки;
- точность съемки, масштаб и сечение изоаномал отчетной карты, масштаб графиков при профильной съемке;
- система расположения и густота рядовых пунктов наблюдений, система исходных и опорных пунктов;
- техника полевых измерений;
- точность и способы проведения геодезических работ.

**6.1.4** Проект должен содержать необходимые сведения о географии, геологии, геофизической изученности района и все имеющиеся сведения о плотностной характеристике разреза по материалам прошлых лет.

**6.1.5** В проекте излагается методика наблюдений на опорных и рядовых пунктах при работе гравиметрами; предусматривается сгущение сети пунктов наблюдений на участках, требующих детализации; оценивается необходимость введения поправки за влияние рельефа местности и выбирается радиус области учета влияния рельефа; указываются перекрытия с соседними съемками; определяются процент независимых контрольных наблюдений, процент дополнительных пунктов наблюдений для оценки погрешности интерполяции карты; указывается объем работ в квадратных километрах, координатных пунктах и физических наблюдениях, длина профилей, подлежащих исследованию; определяются состав партии (отряда) и сроки выполнения работ; приводится план мероприятий по охране труда и технике безопасности.

**6.1.6** При проектировании должна быть обоснована категория местности и выбран наиболее экономичный вид транспорта, обеспечивающий необходимую точность работ.

В разделе проекта, посвященном геодезическим работам, обосновываются требуемая точность и методика, определяются состав геодезической партии (отряда), объем и сроки выполнения работ.

**6.1.7** Проектом предусматриваются работы по определению плотности пород исследуемого района.

**6.1.8** Проект должен содержать следующие основные графические приложения:

- обзорную карту района работ;
- сводный геолого-геофизический разрез района с выделением основных плотностных границ;
- схему геофизической изученности района;
- схему расположения гравиметрических профилей на геологической или структурно-тектонической картах;
- схему расположения опорных пунктов.

Кроме того, прилагаются другие геологические и геофизические материалы, необходимые для обоснования проектируемых работ.

**6.1.9** В зависимости от реальной обстановки и получаемых результатов при проведении полевых работ допускаются, как исключение, отступления от проекта. При этом изменения, касающиеся методики съемки и техники наблюдений, густоты сети или

направления профилей, не снижающие или улучшающие качество съемки, повышающие производительность труда и снижающие себестоимость работ в пределах утвержденных проектом технических условий, рассматриваются протоколом производственно-технического совета организации, проводящей работы.

Изменения целевого назначения, геологических задач, перемещение участков съемки, а также полное прекращение или частичное сокращение работ могут быть осуществлены только после согласования с вышестоящей организацией и должны быть оформлены в виде дополнений к основному проекту, утвержденных руководителем предприятия.

**6.1.10** При работе в новом районе, с новой аппаратурой или по новой методике партия может проводить опытные работы, продолжительность которых, а также штаты партии определяются техническим проектом. В опытном порядке следует также проводить работы по выяснению возможностей применения гравиразведки для решения новых для данного района геологических задач.

**6.1.11** Проектная точность съемки (среднеквадратическая погрешность определения аномалий силы тяжести) выбирается в зависимости от интенсивности предполагаемых или исследуемых аномалий, а также от условий работ и заданного масштаба съемки.

При площадной съемке среднеквадратическая погрешность определения аномалий силы тяжести должна составлять 0,4 интервала сечения изоаномал отчетной карты.

Среднеквадратическая погрешность определения аномалий силы тяжести или ее производных не должна превышать при поисковой съемке 1/5, а при региональной — 1/3 минимальной величины локальных аномалий гравитационного поля, создаваемых искомыми объектами.

По интерпретационным профилям точность определения аномалий должна быть выше.

Для решения поставленных задач интервал сечения изоаномал отчетной карты при региональных и детальных поисковых съемках должен быть меньше амплитуды исследуемых аномалий, а при детальных разведочных съемках — в 2—3 раза меньше амплитуды исследуемых аномалий.

**6.1.12** Профили наблюдений при площадной съемке, как правило, должны быть прямолинейными. Они ориентируются вкрест простирания изучаемых объектов.

При наличии на исследуемой площади профилей других геофизических методов и бурения гравиметрические профили должны быть совмещены с ними.

**6.1.13** Густота сети пунктов наблюдений зависит от задач съемки, размеров и интенсивности ожидаемых аномалий и выбранного сечения изоаномал отчетной карты. Густота сети должна обеспечивать выявление искомым аномалий силы тяжести и ее производных, представляющих интерес для поисков и разведки.

Аномалия силы тяжести считается достоверной, если она выделена не менее, чем на трех пунктах различных звеньев и имеет амплитуду, не меньшую сечения изоаномал карты. В случае коррелируемости более слабых аномалий на трех и более профилях они могут считаться достоверными.

При детальной съемке интенсивных аномалий расстояния между пунктами наблюдений должны обеспечивать интерполяцию не более одной изолинии.

На участках выявленных аномалий рекомендуется сгущение сети пунктов наблюдений. Сгущение сети рекомендуется также для подтверждения аномалий, соизмеримых с точностью наблюдений.

Аномалия на профиле считается достоверной, если она подтверждается не менее, чем тремя проконтролированными пунктами.

На интерпретационных профилях шаг наблюдений устанавливается таким, чтобы величина изменения аномалий силы тяжести между двумя соседними пунктами не превышала тройной погрешности их определения.

**6.1.14** Соотношения между масштабом отчетных карт и графиков, сечением изоаномал, среднеквадратической погрешностью определения аномальных и наблюдаемых значений силы тяжести, густотой сети пунктов наблюдений даются в таблице 1.

Приведенные в таблице погрешности не включают погрешностей исходных опорных пунктов.

Густота сети наблюдений зависит от задач гравиразведочных работ, геологического строения и гравитационного поля изучаемого района. Минимальные цифры следует применять в районах с простым геологическим строением и несложным характером поля, максимальные цифры — для районов со сложным геологическим строением и сложным характером поля.

**Таблица 1 — Сечение изоаномал, среднеквадратические погрешности и густота сети в зависимости от масштаба карты**

Масштаб отчетных карт и графиков	мГал Сечение изоаномал,	Среднеквадратическая погрешность определения аномалий силы тяжести в редукции Буге, мГал	Среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемых значений силы тяжести, мГал	Полная погрешность интерполяции, мГал	Среднеквадратическая погрешность определения высот, м	Среднеквадратическая погрешность определения координат пунктов относительно Государственной геодезической сети, м	Густота сети	
							на 1 кв. км. Число пунктов	Расстояние между пунктами при наблюдениях по профилям, м
1:500000	5	$\pm 1,5$	$\pm 0,5$	$\pm 2,0$	$\pm 5,0$	$\pm 200$	0,04-0,1	2500-5000
1:200000	2	$\pm 0,8$	$\pm 0,4$	$\pm 1,0$	$\pm 2,5$	$\pm 100$	0,1-0,25	1000-2000
1:100000	1	$\pm 0,4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 1,2$	$\pm 80$	0,25-1,0	500-1000
1:50000	0,50	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$	$\pm 0,35$	$\pm 0,70$	$\pm 40$	2-30	100-500
	0,25	$\pm 0,10$	$\pm 0,07$	$\pm 0,20$	$\pm 0,35$	$\pm 40$	4-50	50-250
1:25000	0,25	$\pm 0,10$	$\pm 0,06$	$\pm 0,20$	$\pm 0,35$	$\pm 20$	12-60	50-250
	0,20	$\pm 0,08$	$\pm 0,06$	$\pm 0,15$	$\pm 0,25$	$\pm 20$	16-80	20-100
1:10000	0,20	$\pm 0,08$	$\pm 0,06$	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$	$\pm 4$	20-100	20-100
	0,10	$\pm 0,04$	$\pm 0,03$	$\pm 0,07$	$\pm 0,10$	$\pm 4$	25-200	10-50
1:5000	0,10	$\pm 0,04$	$\pm 0,030$	$\pm 0,07$	$\pm 0,10$	$\pm 2$	50-250	10-50
	0,05	$\pm 0,02$	$\pm 0,015$	$\pm 0,03$	$\pm 0,05$	$\pm 2$	100-500	5-25

## 6.2 Правила организации работ

### 6.2.1 В течение организационного периода необходимо:

- подобрать аппаратуру, удовлетворяющую требованиям технического проекта

(точность, стабильность, диапазон измерений, точка полной температурной компенсации);

- составить схему расположения пунктов наблюдений и график выполнения полевых работ гравиметрическими и геодезическими отрядами;

- ознакомить технический персонал партии с проектом, инструкциями и наставлениями по работе, технике безопасности и т. п.

**6.2.2** При проведении работ в малообжитых и труднодоступных районах проводится обучение всех работников партии правилам охраны труда и техники безопасности, а в случае необходимости проводятся тренировки на выживание в сложных метеорологических условиях.

Отряды (партии), действующие самостоятельно, обеспечиваются неприкосновенным запасом и средствами связи.

При работе с вертолетами в договорах с авиаподразделениями особо оговариваются средства связи между отрядом и экипажем вертолета.

**6.2.3** Полевые работы гравиметрической партии заключаются в выполнении измерений гравиметром на каждом физическом (координатном) пункте местности и проведении геодезических работ с целью определения координат и высот пунктов наблюдений.

Геодезические работы должны опережать работы гравиметрического отряда; не допускается отставание геодезических работ от гравиметрических.

**6.2.4** В процессе полевых работ необходимо координировать работу всех отрядов и бригад партии, а также своевременно обрабатывать полевые материалы «в две руки» вплоть до построения карт или графиков изменения силы по профилям, за исключением случаев, когда необходимо учитывать поправку за влияние рельефа. Результаты обработки полевых материалов необходимо систематически наносить на рабочие карты и схемы и учитывать их в последующих работах партии.

**6.2.5** Для записи результатов полевых наблюдений и обработки материалов рекомендуются формы журналов (приложения А – Е).

**6.2.6** При заполнении полевых журналов не допускаются подчистки и подтирки. Ошибочная запись перечеркивается тонкой линией и сверху делается новая запись. Все исправления заверяются подписью наблюдателя.

**6.2.7** При использовании ПК допускается обработка полевых материалов «в одну руку».

### **6.3 Функции, обязанности и ответственность исполнителей**

**6.3.1** За работу партии в целом отвечает начальник партии, которому подчиняются все сотрудники.

**6.3.1.1** Начальник партии осуществляет на основе единоначалия общее техническое, административное руководство и обеспечивает своевременное получение необходимой документации на проведение работ, укомплектование партии кадрами, выполнение поставленной перед партией геологической задачи, выполнение планов работ партии и норм выработки всеми отрядами и бригадами, входящими в состав партии, высокое качество работ, правильное использование и хранение аппаратуры и оборудования, своевременный их ремонт, знакомство всех работников партии с условиями и оплатой труда, соблюдение установленного режима рабочего времени, соблюдение правил техники безопасности, проведение работ с наименьшим ущербом для природных ресурсов, постоянный технический контроль за выполняемыми работами, совершенствование научной организации труда, развитие изобретательства и рационализации, правильное расходование денежных средств, точность учета выполненных работ, своевременность и полноту материальной отчетности, своевременность камеральной обработки и интерпретации полевых материалов и качество технической отчетности, выполнение обязательств партии перед государственными органами и хозяйственными предприятиями, правильное хранение специальных материалов и использование их в соответствии с существующими инструкциями.

**6.3.1.2** Главный инженер (главный геофизик) осуществляет техническое руководство работами и обеспечивает выполнение требований технического проекта в вопросах методики и техники работ, выполнение планов работы партии и норм выработки полевыми бригадами, укомплектование партии аппаратурой и оборудованием и правильное использование их, соблюдение правил техники безопасности, применение передовых методов проведения работ, развитие рационализации и изобретательства, высокое качество полевого материала, обеспечивающего решение геологической задачи, строгое соблюдение инструкции по ведению гравиразведочных работ, полноту документации работ, контроль, своевременную и доброкачественную обработку полевых материалов и их геологическую интерпретацию, полноту и своевременность технической отчетности партии, своевременное внесение предложений о необходимых дополнениях и изменениях в технический проект, высокую производительность труда работников интерпретационной группы, своевременную сдачу окончательного технического отчета, составление проекта.

**6.3.1.3** Начальник отряда (ведущий геофизик) руководит работой отряда; обеспечивает выполнение поставленной перед отрядом задачи, плана отряда и норм выработки, рост производительности труда, высокое качество работ, сохранность и правильное использование аппаратуры и оборудования, применение передовых методов труда и развитие рационализации и изобретательства в отряде, безопасное ведение работ и соблюдение соответствующих правил техники безопасности и охраны труда в отряде; выполняет самостоятельную работу на отдельных участках согласно техническому заданию; ведет первичную техническую документацию и учет выполненных работ, обработку полученного полевого материала, принимает участие в геологической интерпретации геофизических материалов и составлении окончательного технического отчета; подготавливает аппаратуру и оборудование к полевому сезону; принимает участие в составлении проекта.

**6.3.1.4** Геофизик-оператор работает под руководством главного инженера (главного геофизика, начальника отряда, старшего геофизика); руководит полевыми измерениями; обеспечивает сохранность и правильное использование гравиметрической аппаратуры, высокое качество измерений, применение передовых методов труда и т. п.

**6.3.1.5** Геофизик-интерпретатор (должность эта вводится в штат крупных партий) работает под руководством главного инженера (главного геофизика, старшего геофизика); ведет обработку и интерпретацию материалов; принимает участие в составлении окончательного технического отчета и проекта.

**6.3.1.6** Геолог работает под руководством главного инженера (главного геофизика); производит сбор и анализ геологических данных по исследуемому району; проводит обработку геологических материалов; принимает участие в геологической интерпретации результатов гравиметрических съемок, в составлении проекта и окончательного технического отчета.

**6.3.1.7** Техник-геофизик I категории (техник-геофизик, оператор) ведет полевые измерения, обработку материалов; выполняет необходимые вычисления и другие работы по указанию геофизика-интерпретатора, старшего геофизика (главного геофизика, главного инженера, начальника отряда, геофизика-оператора).

**6.3.1.8** Техник-вычислитель производит первичную и камеральную обработку полевых материалов и другие работы по указанию геофизика-интерпретатора (старшего геофизика, главного геофизика, главного инженера, начальника отряда).

**6.3.1.9** Начальник топографо-геодезического отряда (или лицо его заменяющее) осуществляет общее руководство топографо-геодезическими работами; подготавливает картографические и исходные геодезические данные, необходимые для проведения и контроля топографо-геодезических работ; обеспечивает выполнение технического проекта в вопросах методики и техники топографо-геодезических работ, а также выполнение и перевыполнение норм выработки полевыми бригадами; осуществляет контроль за выполнением топографо-геодезических работ.

укомплектовывает отряд геодезическими инструментами и оборудованием; следит за строгим соблюдением нормативов по топографо-геодезическому обеспечению работ, своевременным внесением предложений о необходимых дополнениях и изменениях в технический проект, своевременной обработкой полевых материалов в полевой и камеральный периоды; ведет учет выполненных работ; следит за соблюдением правил техники безопасности; составляет топографо-геодезическую часть отчета и проекта.

**6.3.1.10** Ведущий геодезист осуществляет техническое руководство геодезическими работами и обеспечивает выполнение требований технического проекта в вопросах методики и техники топографо-геодезических работ, строгое соблюдение нормативов по топографо-геодезическому обеспечению работ, выполнение полевого контроля, своевременную и доброкачественную обработку топографо-геодезических материалов и принимает непосредственное участие в полевых геодезических работах по перенесению проекта в натуру и определению с требуемой точностью высот и координат гравиметрических пунктов.

**6.3.1.11** Геодезист проводит топографо-геодезические работы под руководством начальника топографо-геодезического отряда; обеспечивает своевременное перенесение проекта в натуру и определение с требуемой точностью высот и координат гравиметрических пунктов, безопасное ведение работ, выполнение норм выработки, правильную эксплуатацию аппаратуры, ее ремонт и хранение; следит за правильным ведением первичной документации и своевременной обработкой материалов; составляет картографическую документацию к отчету партии и проекту.

**6.3.1.12** Техник-геодезист проводит топографо-геодезические работы под руководством начальника топографо-геодезического отряда; обеспечивает своевременное перенесение проекта в натуру и определение с требуемой точностью высот и координат гравиметрических пунктов, закрепление на местности пунктов геофизических наблюдений, безопасное ведение работ, выполнение норм выработки, правильную эксплуатацию аппаратуры, ее ремонт и хранение, правильное ведение первичной документации и своевременную обработку материалов; составляет картографическую документацию к отчету партии и проекту.

**6.3.1.13** Заместитель начальника партии по административно-хозяйственной части обеспечивает партию вспомогательным оборудованием и материалами; принимает и увольняет рабочих; организует базу партии на месте работ и подбазы на отдельных участках; создает необходимые жилищные и культурно-бытовые условия; организует совместно с профсоюзной организацией культурно-массовые мероприятия и отдых, работу пищеблоков, снабжение продовольствием, посудой и инвентарем; проводит денежные расчеты с рабочими и служащими; обеспечивает работу и своевременный ремонт аппаратуры, оборудования и автотранспорта, следит за хранением и сохранностью материальных ценностей партии; обеспечивает противопожарную безопасность на базе партии и на подбазах; ликвидирует базу и подбазы; проводит сдачу имущества, его чистку и ремонт; сдает денежный и материальный отчеты.

## **6.4 Правила проведения геодезических работ**

**6.4.1** К геодезическим работам предъявляются требования точности определения координат и высот пунктов наблюдений. Они согласуются с действующими нормативами по проведению геодезических работ при геофизических съемках, маркшейдерских работ в шахтах.

**6.4.2** Геодезические работы при гравиметрических съемках включают:

- перенесение в натуру проекта расположения опорных и рядовых гравиметрических пунктов (разбивка магистралей, профилей и т. п.), составление абрисов опорных гравиметрических пунктов;
- закрепление пунктов соответствующими знаками;

- определение координат и высот пунктов наблюдений;
- проведение работ по определению относительных превышений местности вокруг пунктов наблюдений с целью учета влияния рельефа;
- измерение сечений подземных выработок в шахтах;
- составление геодезической основы для гравиметрической карты;
- технический контроль и оценку точности выполненных работ.

**6.4.3** При гравиметрической съемке в зависимости от предусматриваемой точности определения аномалий Буге допустимы среднеквадратические погрешности определения координат и высот пунктов наблюдений, приведенные в таблице 1.

**6.4.4** Координаты пунктов гравиметрических наблюдений определяются в системе Гаусса-Крюгера 1942 г. или другой в общепринятой для Беларуси системе, высоты — в Балтийской системе.

**6.4.5** Для геодезической привязки пунктов съемки используются пункты государственной геодезической сети, специальных геодезических сетей и сетей сгущения, а также картографические материалы. Методика геодезических работ определяется требованиями точности определения координат и высот гравиметрических пунктов с учетом физико-географических условий района работ, картографо-геодезической обеспеченности и необходимости удешевления стоимости работ.

**6.4.6** При плановой привязке могут применяться:

- линейно-угловые измерения;
- спутниковые методы определений.

**6.4.7** Для определения высот применяют:

- геометрическое и тригонометрическое нивелирование;
- спутниковые методы определений.

**6.4.8** Для определения поправки за рельеф ближней зоны следует использовать крупномасштабные карты и аэрофотоснимки. Методика и техника определения поправок по картам и аэрофотоснимкам применяется в соответствии с изданными руководствами и наставлениями.

При отсутствии указанных материалов превышения местности определяют инструментальными методами с помощью теодолитов, баронивелиров и т. п. Размещение на местности пунктов, в которых определяются превышения, проводится в соответствии со схемами, установленными для соответствующей методики определения поправок.

**6.4.9** При размещении пунктов для проведения наблюдений гравиметрами, необходимо учитывать удобство установки приборов и легкость нахождения пунктов.

**6.4.10** Пункты наблюдений, располагаются по прямолинейным профилям. Пункт наблюдений гравиметровой съемки может быть перемещен по профилю или отодвинут от прямолинейного направления профиля, что должно быть отмечено в пикетажном журнале.

Отклонение от прямолинейности профилей допускается в случаях, когда необходимо:

- избежать участков, неблагоприятных для проведения наблюдений (болота, населенные пункты, карьеры);
- произвести наблюдения по дорогам, тропам и т. п.;
- избежать излишних потрав посевов или рубки просек;
- совместить профили наблюдений с профилями ранее выполненных работ;
- произвести съемку в городских условиях.

**6.4.11** Среднеквадратическая погрешность определения высот и координат пунктов наблюдений характеризуется контрольными наблюдениями в объеме 5 — 10% точек. Максимальные расхождения, полученные по результатам повторных определений, не должны превышать трехкратную проектную точность определения высот и координат ( $\varepsilon_{np}$ ).

**6.4.12** Пункты опорной гравиметрической сети закрепляются в соответствии с требованиями нормативов по геодезическим работам при геофизических съемках. На каждый опорный пункт составляется абрис.

Рядовой пункт закрепляется деревянным колышком или надписью на постоянном



предмете местности с сохранением этого обозначения в продолжение всего полевого сезона для возможных контрольных измерений.

**6.4.13** Формы каталогов опорных и рядовых пунктов приведены в приложениях Д, Е.

## **6.5 Технический контроль и оценка качества работ**

**6.5.1** Технический контроль полевых работ заключается в проверке выполнения требований настоящего ТКП, других руководств и проекта работ.

**6.5.2** Текущий контроль осуществляется начальником партии (отряда), техническим руководителем или другим уполномоченным лицом по окончании каждого рейса (дня) и состоит в приемке полевого материала.

Результаты проверки записываются в полевом журнале. Текущая приемка полевых материалов документируется также записью в регистрационном журнале.

**6.5.3** Приемка полевых материалов проводится периодически в процессе полевых работ, а по окончании их - специальной комиссией, назначаемой руководством предприятия.

Оценка полевых материалов (раздельно гравиметрических и геодезических) дается по трехбалльной системе. При этом учитываются следующие показатели:

- работа принимается с отличной оценкой при существенном расширении круга и характера решаемых геологических задач в результате технико-методической рационализации, сокращении сроков, повышении точности наблюдений по сравнению с проектной, рациональной густоте сети, отличном оформлении материалов;
- работа принимается с хорошей оценкой при сокращении сроков, соблюдении установленных допусков точности, рациональной густоте сети и хорошем оформлении материалов;
- работа принимается с удовлетворительной оценкой при выполнении объема, соблюдении требований инструкции и проекта и правильном оформлении материалов.

## **7 Правила проведения наземной гравиметрической съемки**

### **7.1 Аппаратура**

**7.1.1** Гравиметр представляет собой высокоточный, весьма чувствительный прибор, нуждающийся в очень бережном обращении.

Гравиметры, не находящиеся на полевых работах, должны храниться отнивелированными и в сухом месте. Необходимо систематически следить за состоянием гравиметров, предохранять их от влаги и своевременно проводить профилактический осмотр.

Основным условием правильности эксплуатации гравиметров является соблюдение температурного режима во время работы в рейсе и в промежутке между рейсами. Гравиметр должен быть защищен от воздействия прямых солнечных лучей. В нерабочее время (между рейсами) гравиметр должен находиться при температуре возможно более близкой к температуре воздуха во время наблюдения.

Для уменьшения нелинейности смещения нуляpunkта рекомендуется хранить гравиметры между рейсами в таком положении, чтобы маятник не лежал на ограничителе.

Особое внимание должно быть уделено амортизации гравиметров при их транспортировке. За перевозкой гравиметров и их переноской должен следить оператор.

В полевых условиях разрешается проводить только те регулировки и устранения неисправностей, которые не связаны со вскрытием прибора.

Не менее одного раза в месяц проводится профилактика аппаратуры.

**7.1.2** Перед началом полевых работ должно проводиться:

- определение цены деления (эталонирование) гравиметров;

- определение среднеквадратической погрешности единичного измерения гравиметром;
- предварительное определение промежутка времени, гарантирующего возможность линейного учета смещения нуля гравиметра в пределах требуемой точности (7.1.10), либо определение методики учета криволинейности нуля гравиметра, также с требуемой точностью.

Перечисленные операции должны выполняться в условиях, близких к условиям проведения полевых работ.

**7.1.3** Эталонирование гравиметров проводится на специальных эталонных полигонах, аттестованных в установленном порядке (в соответствии с приложением К), методом наклона (в соответствии с приложением Л). Эталонирование состоит из определения цены деления шкалы отсчетного устройства, ее нелинейности и зависимости от температуры.

**7.1.4** При эталонировании гравиметров на полигонах смещение нуля определяется по повторным наблюдениям в рейсах, продолжительность которых обеспечивает линейность смещения нуля гравиметра.

Измерения производятся не менее чем в шести рейсах с общим числом приращений ускорения силы тяжести не менее 50. При этом два рейса проводят на начальных, два — на средних и два — на последних оборотах отсчетного устройства. Измерения для определения постоянной гравиметра производятся так, чтобы не менее одной четверти всех измерений разностей ускорения силы тяжести приходилось на максимальную разность ускорения силы тяжести в районе работ.

В каждом звене из  $n$  измерений определяется  $n - 2$  приращения ускорения силы тяжести.

Нелинейность шкалы отсчетного устройства гравиметра определяется по двум пунктам с перестройкой диапазона измерения, либо по трем и более пунктам (в соответствии с приложением К).

При определении зависимости цены деления оборота микрометра от температуры, последняя измеряется с точностью  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ . Диапазон изменения температуры должен быть не менее  $10^\circ\text{C}$ .

Для эталонирования широкодиапазонных гравиметров рекомендуется использовать Паричский полигон (пгт. Паричи, Светлогорский район, Гомельская область).

**7.1.5** Эталонирование гравиметров методом наклона выполняется как в лабораторных, так и в полевых условиях на специальных установках.

В диапазоне эталонирования до 100 мГал должна обеспечиваться точность измерения угла наклона внутреннего корпуса, содержащего чувствительную систему, в две секунды дуги (в соответствии с приложением Л).

Недопустимо, чтобы при эталонировании на экзаменаторе закреплялся только наружный теплозащитный корпус гравиметра.

Наклон гравиметров с нулевым способом отсчета можно осуществлять в любой плоскости. При этом необходимо выполнять условие сохранения устойчивости показаний прибора при наклонах.

Определение нелинейности шкалы проводится в соответствии с приложением К.

**7.1.6** Цена деления должна определяться с относительной среднеквадратической погрешностью, указанной в таблице 2.

**Таблица 2 — Допустимая относительная погрешность определения цены деления гравиметра**

Диапазон измерений разности ускорения силы тяжести, мГал	Допускаемая относительная погрешность определения цены деления гравиметра ( $10^{-4}$ )		
	Класс А	Класс В	Класс С

От 80 до 100,	1,7	2,6	5,0
« 100 « 150,	1,4	2,2	4,0
« 150 « 250,	1,2	1,9	3,1
« 250 « 400,	1,1	1,6	2,5
« 400 « 500,	1,0	1,5	2,3
« 500 « 1000,	0,9	1,4	2,0
« 1000 « 2000,	0,9	1,3	1,7
« 2000	0,8	1,2	1,6

**7.1.7** Контроль цены деления в процессе полевых работ проводится систематически на специально закрепленных пунктах с максимально возможной разностью  $\Delta g$  или методом наклона.

Эталонирование гравиметров в течение полевого сезона проводится при наличии данных об изменении цены деления, например, после ремонта гравиметра.

**7.1.8** По окончании полевых работ эталонирование выполняется повторно.

**7.1.9** Среднеквадратическая погрешность единичного измерения гравиметром (точность гравиметра)  $\varepsilon_0$  определяется по результатам наблюдений на полигонах или специально закрепленных пунктах. Если одновременно определяются  $\varepsilon_0$  и цена деления гравиметра, то  $\varepsilon_0$  определяется по формуле:

$$\varepsilon_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n} - \frac{k-2}{k} \varepsilon_n^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta$  — отклонение наблюдаемых значений разности силы тяжести от эталонного

значения, мГал;

$n$  — число единичных определений значений разности силы тяжести;

$k$  — число пунктов полигона;

$\varepsilon_n$  — средняя погрешность определения значения силы тяжести на пунктах полигона, мГал.

Если цена деления гравиметров известна, то в формуле (1) коэффициент  $\frac{k-2}{k}$  принимается равным единице.

Определение погрешности гравиметра выполняется в условиях близких к условиям проведения полевых работ.

**7.1.10** Промежуток времени, в течение которого нульпункт гравиметра изменяется линейно, определяется как по результатам эталонирования на полигоне, так и по результатам наблюдений на опорных пунктах участка работ.

**7.1.11** Все данные определения цены деления, нелинейности шкалы и сведения о проведенном ремонте заносятся в специальный журнал свободной формы ведения, который предъявляется комиссии по приемке полевого материала.

## 7.2 Методика наблюдений

**7.2.1** Полевые наблюдения гравиметрами проводятся рейсами. Основным типом рейса является однодневный. При работе в труднопроходимых районах допускается увеличивать продолжительность рейса (с применением гравиметров со стабильным смещением нульпункта, обеспечивающим требуемую точность наблюдения).

**7.2.2** При наблюдениях в полевых рейсах должны выполняться следующие правила:

- за два часа до начала рейса следует удерживать рычаг упругой системы в исходном

положении, перед началом рейса регулируются продольный и поперечный уровни гравиметра, после окончания рейса устанавливается рабочий диапазон для следующего рейса;

- гравиметр должен быть введен в рабочий режим;
- отсчеты по гравиметру следует брать через одинаковые на всех пунктах интервалы времени после установки гравиметра;

- на каждом пункте берутся и записываются три отсчета с точностью до 0,1 наименьшего деления шкалы, расхождение между отсчетами не должно превышать величины наименьшего деления шкалы, в противном случае наблюдения повторяются; для повышения точности на особо важных объектах допускается выполнение повторных отсчетов с полной переустановкой гравиметра.

- один-два раза в течение рейса выполняется проверка уровней.

**7.2.3** В течение всего полевого сезона систематически строится график изменения нуляпункта.

**7.2.4** Независимыми являются наблюдения, выполненные в независимых рейсах (звеньях), т. е. не связанные общим учетом изменения нуляпункта.

### 7.3 Полевая опорная сеть

**7.3.1** При выполнении полевой гравиметрической съемки создается сеть опорных пунктов.

Полевая опорная сеть — это сеть гравиметрических пунктов повышенной точности, служащая для учета смещения нуляпункта в рядовых рейсах и для приведения съемки к единому уровню.

Полевая опорная сеть привязывается к ГГрС, ОГрС-1, ГрС-1, ГрС-2 (СТБ 1813).

**7.3.2** Государственная гравиметрическая сеть ГрС-2 создается специализированными гравиметрическими подразделениями.

Пункты государственной гравиметрической сети ГрС-2 при съемках масштаба 1:50000 и 1:25000 используются в качестве центрального пункта опорной сети или являются одним из пунктов каркасной опорной сети.

**7.3.3** Проведение съемки в условном уровне возможно для отдельных профилей длиной менее 20 км, для площадных съемок масштаба 1:25000 и крупнее - площадью менее 70 кв. км без перспектив их наращивания.

При проведении профильных съемок значения силы тяжести на отдельных профилях выражаются в единой системе относительно общего уровня.

В случае последующего наращивания площадей или увеличения длины профилей, выполненных в условном уровне с превышением вышеуказанных пределов, привязка к государственному уровню является обязательной.

**7.3.4** Полевая опорная сеть привязывается к государственной гравиметрической сети, как свободная система, в случае, если точность полевой опорной сети выше точности государственной гравиметрической сети.

В случаях, когда точность определения значения силы тяжести в пунктах государственной гравиметрической сети выше точности определения значений силы тяжести в пунктах полевой опорной сети, должно проводиться уравнивание опорной сети, как несвободной.

**7.3.5** Полевая опорная сеть увязывается с полевой опорной сетью соседних съемок в двух случаях:

- съемка в соседнем районе проводилась с применением аналогичной аппаратуры, по аналогичной методике и с привязкой к государственным гравиметрическим пунктам ОГрС-1, ГрС-1, ГрС-2 (СТБ 1813); в этом случае проводят измерения на нескольких опорных пунктах (не менее 3 — 5), расположенных по возможности равномерно вдоль границы съемок;

- съемка проводилась со значительным перерывом (10 лет и более) устаревшей и менее точной аппаратурой и с привязкой к различным исходным гравиметрическим или маятниковым пунктам; в этом случае проводятся измерения на сохранившихся опорных пунктах и снимается полоса перекрытия шириной 3 — 5 см в масштабе отчетной карты.

При расхождениях больших, чем точность ранее выполненной съемки, следует проанализировать материалы и результаты съемок, выявить причину расхождения и установить возможность увязки соседней съемки с проведенной в настоящее время.

**7.3.6** Опорные пункты должны легко и надежно опознаваться на местности, иметь удобные подъезды и подлеты. По возможности их следует совмещать со знаками триангуляции, реперами государственного нивелирования или с другими долговременными предметами.

**7.3.7** Точность определения силы тяжести на опорных пунктах должна быть в 1,5 — 2 раза выше, чем на рядовых.

Повышение точности наблюдений на опорных пунктах достигается:

- применением более точных гравиметров;
- многократными измерениями группой гравиметров;
- сокращением длительности звеньев рейса;
- транспортировкой гравиметров в наиболее благоприятных условиях.

**7.3.8** Основной методикой наблюдений на опорной сети следует считать методику однократных наблюдений по схеме 1 — 2 — 3 —...— 1. Количество пунктов, включаемых в рейс (звено), определяется продолжительностью рейса (звена).

**7.3.9** Продолжительность рейса (звена) при съемке опорной сети должна обеспечивать требуемую точность измерения в предположении линейного изменения нуля гравиметра.

**7.3.10** Каждый опорный пункт наблюдается не менее чем в двух независимых рейсах (звеньях).

**7.3.11** Сеть опорных пунктов создается как в самом начале полевых работ, так и в процессе съемки. В последнем случае перед началом работ необходимо создание каркасной опорной сети.

Наблюдения на пунктах опорной сети выполняются по центральной, двухступенчатой, полигональной системам, а также по методике узловых пунктов.

**7.3.12** Центральной называется такая система измерений, при которой каждый опорный пункт имеет непосредственную связь с пунктом, принятым за центральный. Считается, что опорный пункт имеет непосредственную связь с центральным независимо от количества пунктов в рейсе (звене) и последовательности их обхода.

Приращение силы тяжести между опорным и центральным пунктами определяется как среднее арифметическое из наблюдаемых приращений при равноточных измерениях. Если измерения неравноточны, то осреднение выполняется с учетом весов. Центральный опорный пункт привязывается к опорным сетям ОГрС-1, ГрС-1 (СТБ 1813).

В качестве центрального опорного пункта можно принимать пункты государственной гравиметрической сети ГрС-2 (СТБ 1813).

Оценка точности опорных сетей, созданных по центральной системе, выполняется по формуле:

$$\varepsilon_{on} = \pm \frac{\varepsilon}{\sqrt{N_{cp}}}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{on}$  — среднеквадратическая погрешность определения силы тяжести на опорных пунктах, мГал;

$\varepsilon$  — среднеквадратическая погрешность единичного измерения, мГал;

$N_{cp} = N / n$  — среднее количество наблюдений на одном опорном пункте;

$N$  — количество независимых наблюдений на пунктах опорной сети;

$n$  — число опорных пунктов.

Значение  $\varepsilon$  вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{\frac{N}{n}(N-n)}}, \quad (3)$$

где  $\delta$  — отклонение измеренного значения  $\Delta g$  от среднего, мГал.

При оценке точности опорной сети в число опорных пунктов ( $n$ ) не входит центральный пункт.

Если значение  $\varepsilon_{оп}$ , вычисленное по формуле (2), превышает проектное, в методику измерений вносятся соответствующие изменения (п. 7.3.7).

Центральная система может быть и полигональной, если помимо независимых связей с центральным пунктом, опорные пункты имеют также независимые связи между собой.

**7.3.13** Двухступенчатая система состоит из каркасной и заполняющей опорных сетей.

Каркасные опорные сети создаются по центральной системе.

Заполняющие опорные сети определяются рейсами, которые начинаются и заканчиваются на пунктах каркасной опорной сети.

Оценка точности опорных сетей, созданных по двухступенчатой системе, производится по формуле:

$$\varepsilon_{он} = \pm \sqrt{\frac{n_k \varepsilon_k^2 + n_3 (\varepsilon_k^2 + \varepsilon_3^2)}{n_k + n_3}} = \pm \sqrt{\varepsilon_k^2 + \frac{n_3}{n_k + n_3} \varepsilon_3^2}, \quad (4)$$

где  $n_k, n_3$  — число каркасных и заполняющих опорных пунктов соответственно;

$\varepsilon_k, \varepsilon_3$  — среднеквадратические погрешности определения силы тяжести соответственно на

каркасных и заполняющих опорных пунктах, вычисленные по формуле (2), мГал.

**7.3.14** Методика узловых пунктов эквивалентна двухступенчатой системе. Особенность этой методики состоит в том, что заполняющая опорная сеть создается в процессе измерения на рядовой сети. Рядовые рейсы начинаются и заканчиваются на пунктах каркасной опорной сети. Узловые пункты представляют собой пересечение двух и более рядовых рейсов, опирающихся на различные опорные пункты; они используются как опорные пункты. Сеть узловых опорных пунктов уравнивается по материалам рядовых рейсов; при необходимости на них производятся дополнительные измерения. На втором этапе рядовые рейсы переобработываются с учетом значений силы тяжести в узловых пунктах.

При проведении съемки по методике узловых пунктов продолжительность рейса (звена) должна обеспечить линейное смещение нуля пункта гравиметров с требуемой точностью.

**7.3.15** Полигональной называется такая система измерений, при которой опорная сеть образуется из совокупности полигонов со сторонами, каждая из которых определена в независимых рейсах звеньях) по схеме: 1 — 2 — 1. Предпочтительными являются полигоны с малым числом сторон. Опорная сеть по системе полигонов образуется при невозможности ее создания по центральной или двухступенчатой системам и обосновывается проектом.

Полигоны опорных сетей уравниваются по методу наименьших квадратов одним из существующих способов.

Погрешность определения силы тяжести на опорных пунктах полигональной системы вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{он} = \pm \mu \sqrt{\frac{M}{m}}, \quad (5)$$

где  $\mu$  — среднеквадратическая погрешность определения единичного приращения  $\Delta g$ , мГал;

$M$  — средняя удаленность опорных пунктов от ближайших исходных пунктов,

выраженная в числе приращений;

$m$  — среднее число наблюдений  $\Delta g$  между двумя смежными пунктами.

Значение  $\mu$  вычисляется по формуле:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \delta^2}{N - S}}, \quad (6)$$

где  $S$  — число сторон образующих все полигоны опорной сети.

**7.3.16** Предварительная оценка качества полигонов, образующих опорную сеть при центральной и полигональной системах наблюдений проводится по их невязкам.

Допустимая невязка в полигоне  $W_o$  определяется по формуле:

$$W_o = \pm 2\mu \sqrt{\frac{K}{m}}, \quad (7)$$

где  $\mu$  — среднеквадратическая погрешность определения единичного приращения  $\Delta g$ , мГал;

$K$  — число сторон в полигоне.

Если смежные полигоны имеют невязки одного знака, то рассматривается также включающий их общий полигон.

**7.3.17** Густота опорной сети определяется, исходя из необходимости обеспечения линейной интерполяции нуля гравиметров в рядовых рейсах между двумя соседними опорными пунктами.

**7.3.18** Количество независимых наблюдений  $N$  на пунктах опорной сети:

$$N \geq \frac{\varepsilon_0^2}{\varepsilon_{np}^2}, \quad (8)$$

где  $\varepsilon_0$  — точность аппаратуры (среднеквадратической погрешности единичного измерения, вычисленной по формуле (1)), мГал;

$\varepsilon_{np}$  — проектная точность определения наблюденных значений силы тяжести на опорных пунктах, мГал.

Если невозможно оценить точность аппаратуры на эталонировочном полигоне или специально закрепленных пунктах в условиях, близких к полевым, допускается использовать значения среднеквадратической погрешности единичного измерения гравиметров, полученные по результатам полевых измерений.

**7.3.19** Если число наблюдений на пункте больше трех и одно из наблюдений отличается от среднего из остальных на величину, превышающую трехкратную погрешность определения силы тяжести, то это наблюдение бракуется.

Если число наблюдений на пункте равно двум (трем) и максимальное расхождение превышает  $3\sqrt{2}\varepsilon_0$ , то выполняются два (одно) дополнительных наблюдения и отбраковку осуществляют в соответствии с вышеуказанным требованием.

Измерения группой равноточных гравиметров можно рассматривать как одно измерение с весом, пропорциональным количеству гравиметров в группе.

Если вся съемка выполнена группой равноточных гравиметров с постоянным числом гравиметров в группе, то среднему значению можно придавать вес, равный 1, и тогда в формуле (8)  $\varepsilon_0$  будет иметь смысл погрешности единичного измерения группой гравиметров.

Число забракованных наблюдений не должно превышать 2 % от общего количества наблюдений.

## 7.4 Рядовая сеть

**7.4.1** Основной формой сети пунктов наблюдений при площадной съемке является квадратная. Отклонение от квадратной сети определяется геологическим строением участка и характером поля. Отношение расстояний между профилями и пунктами по

профилю не должно превышать 5:1. Критерием правильного соотношения между этими расстояниями является близость значений погрешности интерполяции по обоим направлениям.

**7.4.2** Наблюдения в рядовых рейсах должны проводиться по однократной методике.

Учет смещения нуля проводится по каждому звену рейса. Смещение нуля определяется по сопоставлению разности значений силы тяжести между опорными пунктами, полученной по наблюдениям в рядовом рейсе, с разностью твердых значений силы тяжести.

При наблюдениях могут быть применены один, два и более гравиметров в зависимости от точности съемки.

**7.4.3** Методика наблюдений с повторением является менее производительной и поэтому должна применяться в исключительных случаях, обоснованных проектом работ.

В случае применения методики с повторениями, структура рейса должна обеспечивать надежное выявление характера смещения нуля с требуемой точностью.

**7.4.4** При проведении съемок в труднодоступных районах наблюдения должны проводиться тремя гравиметрами одновременно. Это исключает необходимость повторения рейса в случае обнаружения брака в наблюдениях одним из гравиметров.

**7.4.5** Для оценки качества съемки в процессе полевых работ проводятся независимые контрольные наблюдения: в каждый последующий рейс включается один или несколько контрольных пунктов из предыдущих рейсов или выполняются специальные контрольные рейсы, секущие профили рядовой сети.

Контроль съемки считается представительным, если он выполнен в достаточном объеме и все звенья рейсов проконтролированы (при измерениях одним гравиметром).

Количество независимых наблюдений, выполняемых для контроля качества работ, устанавливается техническим проектом в соответствии с требованиями настоящего ТКП. Контрольные наблюдения проводятся в объеме 5 — 10 %. Общее число контрольных наблюдений не должно быть меньше 50.

При наблюдениях на пунктах двумя и более гравиметрами одновременно, количество контрольных измерений устанавливается от 3 % (при съемках с большим количеством пунктов) до 5 % (при съемках с меньшим количеством пунктов), но число их должно быть не менее 50.

Методика наблюдений в специальных контрольных рейсах должна быть такой же, как и в рядовых рейсах.

**7.4.6** Основным критерием оценки качества наблюдений гравиметром служит среднеквадратическая погрешность единичного наблюдения, вычисляемая на основе сходимости контрольных наблюдений с первичными по формуле (3).

**7.4.7** Среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемых значений силы тяжести на пункте  $\varepsilon_g$  вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_g = \sqrt{\varepsilon_{он}^2 + \varepsilon_{ряд}^2}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon_{ряд}$  — среднеквадратическая погрешность определения силы тяжести рядовых

пунктов, вычисленная по формуле (3), мГал.

Для съемки масштабов 1:100000 и мельче в значения  $\varepsilon_{он}$  входит также погрешность привязки полевой опорной сети к государственным гравиметрическим пунктам ОГрС-1, ГрС-1, ГрС-2 (СТБ 1813).

**7.4.8** Измерения считаются достоверными в том случае, когда среднеквадратическая погрешность, вычисляемая по формуле (3), не превышает установленную проектом.

Рейс или его звено признается доброкачественным, если отклонение первого и контрольного измерений от их среднего не превышает утроенную величину ошибки, предусмотренной проектом, в противном случае контролируются измерения на



предыдущей и последующей точках звена.

Рейс или его звено также признаются доброкачественными, если разность между измеренным и твердым значениями на промежуточной опорной точке, которая не использовалась для учета смещения нуляпункта, не превышает удвоенной величины среднеквадратической погрешности наблюденного значения, предусмотренной проектом.

**7.4.9** Звено бракуется, если повторным контролем подтверждено недопустимое расхождение наблюденных значений на трех и более пунктах этого звена, а также во всех случаях нарушения нормального режима работы гравиметра.

Число забракованных наблюдений не должно превышать 2 % от общего количества наблюдений.

## 7.5 Обработка результатов гравиметрических наблюдений и оценка точности

**7.5.1** Обработка результатов гравиметрических наблюдений разделяется на два этапа: текущую и камеральную.

Текущая обработка должна обеспечивать непрерывный контроль качества и получение предварительных результатов съемки. Она включает: обработку наблюдений, выполняемых в опорных и рядовых рейсах; уравнивание опорных сетей; вычисление наблюденных значений силы тяжести; учет нормального поля; введение поправок за высоту и притяжение промежуточного слоя; вычисление аномалий силы тяжести.

Обработка выполняется в процессе полевых работ систематически «в две руки» с последующей сверкой.

При компьютерной обработке первичных материалов осуществляется контроль, обеспечивающий исключение ошибок.

Вычисления ведутся по формам, приведенным в приложениях В, Г и в соответствии с руководствами и наставлениями по работе с различными типами приборов.

В полевой период составляется предварительная карта аномалий силы тяжести в редукции Буге. При съемке масштабов 1:100000 и мельче введение поправок за влияние рельефа в значения предварительной карты является не обязательным, а при проведении съемок масштабов 1:50000 и крупнее на участках сложного рельефа введение поправок за влияние рельефа обязательно.

Камеральная обработка материалов выполняется после завершения полевых работ в камеральный период. Она включает: вычисление поправок за влияние рельефа местности; уточнение плотности промежуточного слоя; вычисление аномалий силы тяжести с различной плотностью промежуточного слоя; составление каталога опорных и рядовых пунктов; построение окончательных карт и графиков аномалий силы тяжести в различных редукциях; выполнение различных преобразований (трансформаций) и других расчетов; проведение геологической интерпретации; составление и защиту отчета.

**7.5.2** Нормальное значение силы тяжести  $\gamma_0$  учитывается по формуле:

$$\gamma_0 = 978030(1 + 0.005302 \sin^2 \varphi - 0.000007 \sin^2 2\varphi) - 14 \text{ мГал} \quad (10)$$

где  $\varphi$  — широта точки определения силы тяжести.

**7.5.3** При вычислении поправки за влияние промежуточного слоя в качестве поверхности относимости принимается уровень моря. При решении некоторых задач за поверхность относимости может быть принята другая горизонтальная плоскость, например, проходящая через низшую (высшую) точку рельефа.

**7.5.4** Поправки за влияние рельефа местности вводятся в наблюденные значения силы тяжести на тех пунктах, где они в ближней зоне превосходят 0,5 величины проектной среднеквадратической погрешности определения аномалий силы тяжести.

Погрешность аномального значения силы тяжести в этих пунктах не должна превышать половины сечения отчетной карты

**7.5.5** Вычисление поправок за влияние рельефа проводится по топографическим

картам или аэрофотоснимкам в масштабах, удовлетворяющих требуемой точности.

Учет влияния рельефа ближней зоны (до 100 — 300 м) проводится по крупномасштабным картам (1:5000 — 1:10000) или аэрофотоснимкам; при их отсутствии должны применяться инструментальные методы (нивелирование вокруг пунктов, наблюдений, применение специальных приборов — поправкомеров и т. п.).

При определении поправок за влияние рельефа используются аэрофотоснимки масштаба, соответствующего масштабу съемки.

Среднеквадратическая погрешность опознавания местоположения пункта наблюдения на снимке не должна превышать 0,3 мм.

**7.5.6** При вычислении поправки за влияние рельефа местности используется плотность пород, принятая при вычислении аномалии Буге, или при наличии данных, плотность пород, слагающих рельеф.

**7.5.7** Вычисление поправок за влияние рельефа местности средних и дальних зон целесообразно выполнять на ПК.

При спокойном рельефе местности и относительно редких профилях наблюдений с большой плотностью пунктов эффективным является сочетание прямых методов вычисления поправок с интерполяционными методами.

В качестве прямых методов могут быть рекомендованы методы, основанные на лучевой разбивке учитываемой области. При соответствующих условиях допустимо использование методов учета, основанных на двухмерном представлении местности.

Интерполяционные методы могут применяться для нахождения поправок как за влияние дальних зон, так и за влияние всей учитываемой области. Если поправки мало зависят от высоты пунктов наблюдений, то используются линейное и параболическое интерполирование.

**7.5.8** Для съемок масштабов 1:50000 и мельче радиус учитываемой области при вычислении поправок за влияние рельефа принимается равным 200 км.

**7.5.9** Для съемок масштабов 1:25000 и крупнее в радиус следует брать таким, при котором влияние неучтенных масс рельефа в 2 раза меньше проектной среднеквадратической погрешности определения аномалий силы тяжести.

**7.5.10** Для характеристики точности нахождения поправок за влияние рельефа местности вычисляется среднеквадратическая погрешность  $\varepsilon_p$ . Погрешность  $\varepsilon_p$  определяется по результатам повторных вычислений поправок при различном расположении узлов, в которых определяются высоты, или же другими равноценными по точности методами.

Оценка точности определения поправки, полученной интерполированием, проводится путем сопоставления с результатами прямых методов.

Число повторных вычислений должно составлять 5 – 10 % от общего числа пунктов, в которые вводятся поправки. Повторные пункты вычислений должны быть равномерно расположены по всему участку съемки.

Среднеквадратическая погрешность определения поправок за влияние рельефа местности  $\varepsilon_p$  вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_p = \pm \sqrt{\varepsilon_{p1}^2 + \varepsilon_{p2}^2 + \varepsilon_{p3}^2}, \quad (11)$$

где  $\varepsilon_{p1}$  – среднеквадратическая погрешность, характеризующая точность учета влияния ближней зоны (радиус 0÷100 м), мГал;

$\varepsilon_{p2}$  – среднеквадратическая погрешность, характеризующая точность учета влияния средней зоны (радиус 100÷500 м), мГал;

$\varepsilon_{p3}$  – среднеквадратическая погрешность, характеризующая точность учета влияния дальней зоны (радиус 0,5÷10 км), мГал.

Погрешность  $\varepsilon_{p1}$  находится по результатам повторных определений поправок по аэрофотоснимкам или инструментальными методами. Погрешности  $\varepsilon_{p2}$  и  $\varepsilon_{p3}$  определяются по используемым топографическим картам.

Погрешность  $\varepsilon_{pi}$  вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{p_i} = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta p_i^2}{2n}}, \quad (12)$$

где  $\Delta p_i$  - разность между первичным и контрольным значениями поправки, мГал;  
 $n$  - число контрольных определений.

Во всех случаях при вычислении среднеквадратических погрешностей количество повторных наблюдений не должно быть меньше 50 в каждой зоне.

**7.5.11** При решении задач выделения малого гравитационного эффекта на рудных и других подобных объектах в условиях близкого залегания к земной поверхности известной плотностной границы вычисляются поправки за влияние этой границы. Для этого используются данные бурения и имеющиеся материалы комплексных геофизических исследований.

**7.5.12** Влияние лунно-солнечного притяжения должно учитываться, если за промежуток времени наблюдений звена отклонение от его линейности превышает 0,5 среднеквадратической погрешности единичного наблюдения гравиметром.

**7.5.13** При определении аномалий силы тяжести вводится поправка Буге  $\Delta g_B$ :

$$\Delta g_B = (0.3086 - 0.0419\sigma)H, \quad (13)$$

где  $H$  - высота пункта наблюдений гравиметрами над уровнем моря, м;

$\sigma$  - плотность пород промежуточного слоя, г/см<sup>3</sup>.

Значения аномалий Буге  $\Delta g_a$  вычисляются по формуле:

$$\Delta g_a = g_H + \Delta g_B - \gamma_0, \quad (14)$$

где  $g_H$  - наблюденное значение силы тяжести, мГал.

Аномалии Буге следует относить к вертикальной и горизонтальным координатам пункта наблюдения.

**7.5.14** По результатам съемки обязательно построение карт аномалий Буге с плотностью промежуточного слоя, равной 2,30 г/см<sup>3</sup> и 2,67 г/см<sup>3</sup>, для мелкомасштабных съемок, включая съемки масштаба 1:50000. При этом карты с плотностью промежуточного слоя 2,30 г/см<sup>3</sup> составляются без введения поправки за рельеф.

Для геологической интерпретации строятся карты и графики аномалий Буге с истинной (реальной) постоянной или переменной или кажущейся плотностями промежуточного слоя (9.1). В этих случаях поверхность относимости не обязательно должна совпадать с поверхностью геоида. При выборе поверхности относимости используется принцип, в силу которого мощность промежуточного слоя должна быть наименьшей.

**7.5.15** Основным критерием оценки точности аномалий силы тяжести служит среднеквадратическая погрешность  $\varepsilon_a$ , вычисляемая по формуле:

$$\varepsilon_a = \pm \sqrt{\varepsilon_g^2 + \varepsilon_B^2 + \varepsilon_{\gamma_0}^2 + \varepsilon_p^2}, \quad (15)$$

где  $\varepsilon_g$  - среднеквадратическая погрешность определения наблюденных значений силы тяжести, мГал;

$\varepsilon_B$  - среднеквадратическая погрешность определения поправки Буге, зависящая от погрешностей определения высот, мГал;

$\varepsilon_{\gamma_0}$  - среднеквадратическая погрешность определения нормального значения силы тяжести, зависящая от погрешности определения координат пунктов наблюдения, мГал;

$\varepsilon_p$  - среднеквадратическая погрешность определения поправок за влияние рельефа местности, мГал.

Если на территории съемки имеются участки с сильно различающимся рельефом, то  $\varepsilon_a$  дается для этих участков отдельно.

Для оценки качества гравиметрической карты вычисляется полная погрешность интерполяции ( $E$ ) по формуле:

$$E = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta g_i - \Delta g_i^{umm})^2}{n}}, \quad (16)$$

где  $\Delta g_i$  , - наблюдаемое значение аномалии силы тяжести в данном пункте, мГал;

$\Delta g_i^{umm}$  - значение аномалии в том же пункте, полученное путем интерполяции с карты, мГал;

$n$  - число пунктов, по которым производилось сравнение ( $n \geq 50$ ).

Вычисление полной погрешности интерполяции производится по интерполяционным профилям, наблюдения по которым производятся с шагом вдвое более частым, чем на обычных рядовых профилях. Гравиметрическая карта считается кондиционной, если величина полной погрешности интерполяции не превышает значений, приведенных в таблице 1. В противном случае необходимо проводить дополнительные наблюдения. С целью более эффективной качественной и количественной интерпретации на площади съемки задается не менее 2 - 3 интерпретационных профилей на лист. Направление интерпретационных профилей определяется геологическими задачами, длина профилей должна по возможности обеспечивать выход в нормальное поле. Масштаб съемки на интерпретационных профилях должен быть крупнее масштаба съемки на площади.

Интерпретационные профили используются при вычислении ошибок интерполяции.

## 8 Правила проведения подземной гравиметрической съемки

**8.1** Подземная гравиразведка применяется на разных этапах изучения и эксплуатации месторождений полезных ископаемых (руд, угля и др.), при эксплуатационной разведке, разработке и ревизии отработанных месторождений.

Основной особенностью подземной гравиразведки является возможность приближения к изучаемому объекту и изучения его гравитационного влияния с разных сторон (сверху, снизу, сбоку).

Подземной разведкой могут быть решены следующие задачи:

- обследование межвыработочных пространств с целью поисков рудных залежей, пропущенных при разведке и разработке месторождений полезного ископаемого;
- определение вероятных элементов залегания, формы и размеров рудных залежей и оценка запасов (при наличии благоприятных условий);
- изучение глубинного геологического строения месторождений, выявление литологических и тектонических контактов пород с разной плотностью;
- оценка перспективности глубоких горизонтов месторождения;
- изучение горнотехнических условий разработки месторождений, выявление зон карста, пустот в зонах обрушений и т. п.;
- определение средней плотности слоев горных пород между горизонтами рудника, а также плотности слоя, прилегающего к дневной поверхности (при совместном проведении подземной и наземной съемок).

**8.2** При поисках рудных залежей, зон карста, пустот в межвыработочных пространствах необходимы следующие благоприятные условия:

- наличие достаточной эффективной плотности и объема возмущающего объекта, создающих аномалии силы тяжести не менее 0,08 — 0,10 мГал;

- небольшое удаление объекта от выработки, в которой проводят наблюдения;
- асимметричное положение объекта относительно горизонта наблюдений, особенно при падении его, близком к вертикальному;
- отсутствие значительных изменений плотности вмещающих пород или наличие данных об этих изменениях;
- густая сеть горных выработок на разных горизонтах, позволяющая провести наблюдения с разных сторон от исследуемого объекта;
- спокойный рельеф дневной поверхности при небольшой глубине исследований и спокойный рельеф коренных пород.

При изучении глубинного геологического строения месторождений этими условиями являются:

- наличие сети доступных для работы горных выработок достаточной протяженности как по простиранию, так и вкрест простирания рудоносных зон на рудных горизонтах;
- возможность проведения наземной съемки совместно с подземной.

При определении средней плотности слоев горных пород между горизонтами и средней плотности промежуточного слоя необходимо:

- наличие нескольких вертикальных выработок, доступных и пригодных для проведения гравитационных наблюдений;
- плановое соответствие в расположении выработок на ближайших друг к другу горизонтах;
- возможность совместного проведения подземной и наземной съемок на участке рудника.

**8.3** Особенности работ в подземных горных выработках, которые необходимо учитывать при проектировании и проведении работ, заключаются в следующем:

- сеть пунктов наблюдений определяется расположением и протяженностью горных выработок, доступных для производства работ по требованиям техники безопасности;
- в горных выработках разрабатываемых месторождений высок уровень промышленных помех, обусловленных буровыми, взрывными и проходческими работами, движением рудничного транспорта, работой вентиляционных установок и т. п.;
- воздух в подземных горных выработках характеризуется значительной влажностью, повышенным содержанием газов CO (угарный газ), CO<sub>2</sub> (углекислый газ), NO (оксид азота) и т.п. и пыли.

**8.4** Гравиметровая съемка проводится во всех горных выработках на каждом горизонте рудника, а также вдоль шахтных стволов в пределах исследуемого участка месторождения.

Основным требованием, предъявляемым к съемке, является надежное выделение слабых аномалий силы тяжести, связанных с влиянием возмущающих объектов (рудной залежи, карстовых зон, тектонических нарушений и т. п.). Аномалия считается достоверной, если ее амплитуда превышает не менее чем в 2,5 - 3 раза величину среднеквадратической погрешности определения аномалии Буге  $\Delta g_a$ .

Среднеквадратическая погрешность определения наблюденных значений силы тяжести не должна превышать  $\pm 0,02$  мГал, а среднеквадратическая погрешность определения аномальных значений -  $\pm (0,03 - 0,04)$  мГал.

**8.5** В зависимости от задач съемки и геологического строения месторождения определяется рациональная густота пунктов наблюдений на профилях в горных выработках.

Для условий медноколчеданных месторождений, когда породы, вмещающие рудные тела, достаточно однородны по плотности, рационально выбрать шаг между пунктами наблюдений в квершлагах (ортах) 5 м, а в штреках – 10 - 20 м.

На железорудных месторождениях при сложной морфологии рудных залежей и частой перемежаемости пород различной плотности, являющихся вмещающими по отношению к рудным телам, шаг наблюдений по профилям в ортах 2 - 5 м, по штрекам 10 м.

На угольных месторождениях при выявлении тектонических нарушений, типа сбросов с малой амплитудой, и карстов целесообразен шаг между пунктами наблюдений 1 - 5 м.

**8.6** Каждый гравиметр необходимо тщательно подготовить к работе в подземных условиях. Предпочтительно применять гравиметры с температурной компенсацией, соответствующей температуре в подземных выработках рудника.

**8.7** Наблюдения гравиметром в горных выработках можно начинать через 20 часов после спуска гравиметра на рабочий горизонт. Во все время работы на данном горизонте гравиметр должен оставаться на нем; в нерабочее время его следует хранить в сухом и надежном месте, установленным по уровням с выведенным в исходное положение маятником.

Без крайней необходимости не разрешается поднимать гравиметр на поверхность.

Наблюдения в рейсе можно начинать после установления рабочего режима гравиметра, что определяется по совпадению двух-трех разностей отсчетов на начальном и ближайшем к нему пункте.

Необходимо повседневно следить за состоянием прибора: по окончании наблюдений насухо протирать корпуса и все наружные части прибора, систематически смазывать подъемные винты, ежедневно выполнять поверку уровней.

**8.8** Особое внимание должно уделяться транспортировке гравиметров. Гравиметр переносится на руках самим оператором с максимальной осторожностью, особенно в обводненных выработках. Оператор должен выбирать наиболее благоприятные условия для рейса из намеченных для него вариантов.

**8.9** При проведении наблюдений в подземных горных выработках гравиметр устанавливается либо на подошве выработки, либо на прочной треноге на высоте 70 – 90 см (одинаковой на всех пунктах, с точностью до 5 - 7 см).

На пункте наблюдений прибор следует устанавливать:

- симметрично относительно боковых стен выработки при работе с треногой;
- на грунте между рельсами, одинаково на всех пунктах (с точностью до  $\pm (0,1 - 0,2)$  м) при работе без треноги.

Пункты наблюдений не рекомендуется располагать в местах пересечения выработок и ближе чем на 5 м от них и от забоя выработок.

Не следует проводить наблюдения в местах, находящихся вблизи работающих буровых станков, перфораторов, погрузочных машин и т. п.

**8.10** Все гравиметрические пункты в подземных горных выработках данного месторождения образуют единую сеть. С этой целью пункты, расположенные вблизи ствола шахты на различных горизонтах (исходные пункты горизонтов), связываются между собой независимыми измерениями по вертикальному профилю.

**8.11** Значение ускорения силы тяжести, абсолютное или относительное, передается на исходные пункты горизонтов от устья шахты. К исходному пункту каждого из горизонтов привязывается многократной связью ближайший пункт опорной сети данного горизонта.

**8.12** На разведочных горизонтах сеть опорных пунктов разбивается по возможности сразу для всего горизонта. В случае, если предполагается использовать при наблюдениях на рядовой сети одновременно два гравиметра и применять методику разностного нуляпункта, опорную сеть следует разбить в два приема: сначала создается каркасная сеть (3 - 5 пунктов), а затем наблюдаются дополнительные опорные пункты, намеченные на основе графика разностного нуляпункта.

На эксплуатационных горизонтах месторождений опорную сеть следует создавать в два-три приема перед началом рядовой съемки на том или ином участке. На участках, где ведется непрерывная добыча руды, выставлять опорные пункты не следует. В этих случаях следует использовать опорные пункты на участках со спокойными условиями работы.

При наличии на горизонте ряда выработок, сообщающихся друг с другом, опорные

пункты следует располагать так, чтобы они образовывали замкнутые контуры.

При наличии одного штрека и ряда ортов опорные пункты располагают как в штреке, так и в ортах, в местах наиболее спокойных и удобных для повторения измерений.

**8.13** Измерения на вертикальных профилях (вдоль стволов шахт) выполняются для связи исходных пунктов различных горизонтов и для определения средней плотности слоя пород между горизонтами, на которых проводились измерения гравиметрами.

Наблюдения на вертикальных профилях начинают около устья шахты на дневной поверхности, а затем проводят измерения последовательно на различных горизонтах около ствола шахты.

**8.14** Обработка опорных рейсов аналогична обработке при наземных съемках.

По окончании обработки опорных рейсов сеть опорных пунктов независимо от того, представляет ли она систему замкнутых контуров или систему профилей, должна быть уравнена.

За исходный уровень рейса следует принимать среднее арифметическое из отсчетов на всех пунктах рейса, т.е. средний уровень рейса. Для каждого пункта определяется отклонение от принятого уровня, как разность отсчета на пункте и среднего значения для рейса.

Опорные сети, состоящие из системы замкнутых контуров, уравниваются по методу наименьших квадратов одним из существующих способов.

**8.15** Наблюдения на рядовых пунктах подземных съемок следует проводить по однократной методике. Каждый пункт наблюдается в двух независимых рейсах одним гравиметром или в одном рейсе двумя гравиметрами.

В исключительных случаях, при нелинейном ходе нуля гравиметра допускается применение методики повторений. При этом выполняют или трехкратные наблюдения на нескольких пунктах рейса, или двойной ход с одинаковой последовательностью наблюдений.

**8.16** Наблюдения в двух независимых рейсах исключают необходимость специальных контрольных измерений.

Для оценки точности съемки используются результаты повторных измерений на всех рядовых пунктах.

При наличии расхождений независимых измерений сверх допустимых необходимо проведение дополнительных наблюдений на этих пунктах.

Оценка точности наблюдений на опорной и рядовой сетях проводится согласно п.7.4.7.

**8.17** Текущая обработка результатов гравитационных наблюдений в подземных горных выработках выполняется в процессе проведения работ «в две руки», без отставания от съемочных работ и заканчивается вычислением наблюденных значений силы тяжести.

**8.18** Окончательная обработка включает: вычисления поправок за влияние пустот, зон обрушений (при наличии маркшейдерских данных), известных рудных тел, рельефа дневной поверхности; вычисления аномалий силы тяжести; составление каталогов; составление графиков, характеризующих изменение аномалий силы тяжести по всем профилям наблюдений; выполнение количественной интерпретации результатов наблюдений.

**8.19** Для сопоставления подземной и наземной съемок на участке месторождения, а также результатов измерений на различных горизонтах аномалии силы тяжести вычисляют с поправкой Буге, которую определяют по формуле:

$$\Delta'g_B = (0.3086 - 0.0419\sigma_1)H + 0.0419\sigma_2h, \quad (17)$$

где  $\sigma_1$  – средняя плотность пород слоя, заключенного между горизонтом наблюдения и

уровнем моря, г/см<sup>3</sup>;

$\sigma_2$  – средняя плотность пород слоя, лежащего выше горизонта наблюдений, г/см<sup>3</sup>;

$H$  – абсолютная высота подземного пункта (с учетом знака), м;

$h$  – высота над исходным пунктом горизонта наблюдения среднего уровня дневной

поверхности (при равнинном характере местности), или высота плоскости относимости, от которой будут отсчитываться уклоны дневной поверхности при учете влияния рельефа, м.

**8.20** При сложном рельефе местности на участке месторождения необходимо вводить поправки за его влияние. Поправки за влияние рельефа рекомендуется вычислять по способу, разработанному специально для обработки результатов подземных измерений, с помощью таблиц, программ, палеток. При двухмерных формах рельефа возможно применение других способов. Высоты пунктов дневной поверхности снимаются с карт масштабов 1:500, 1:1000 и 1:2000.

**8.21** Значения аномалий силы тяжести  $\Delta'g_a$  на пунктах подземного профиля вычисляют по формуле:

$$\Delta'g_a = g_H + \Delta'g_B - \gamma_0 + \delta g_p, \quad (18)$$

где  $g_H$  – наблюдаемое значение силы тяжести, мГал;

$\gamma_0$  – нормальное значение силы тяжести, мГал;

$\delta g_p$  – поправка за влияние рельефа (с учетом знака), мГал.

Если плоскость относимости выбрана касательной к нижним точкам дневной поверхности на участке месторождения, то  $\delta g_p > 0$ ; при выборе плоскости относимости, касательной к высшим точкам дневной поверхности,  $\delta g_p < 0$ .

**8.22** В случае если наблюдения проведены на одном горизонте и не предполагается сопоставления их результатов с результатами наземной съемки или съемок на других горизонтах, наблюдаемые значения силы тяжести можно приводить к уровню одного из пунктов наблюдений, находящихся вдали от рудных тел по возможности в однородной вмещающей среде. В этом случае вычисляют относительные аномалии силы тяжести для всех пунктов наблюдений по формуле:

$$\Delta''g_a = g_{H_i} - g_{H_A} + (0.3086 - 0.0419\sigma)\Delta H - (\gamma_{0_i} - \gamma_{0_A}) + (\delta g_{p_i} - \delta g_{p_A}), \quad (19)$$

где  $g_{H_i}, g_{H_A}$  – наблюдаемые значения силы тяжести в любой точке  $i$  данного горизонта и на исходной точке  $A$ , мГал;

$\sigma$  – плотность однородной среды, г/см<sup>3</sup>;

$\Delta H$  – разность абсолютных высот точек ( $H_i - H_A$ ), м;

$\gamma_{0_i}, \gamma_{0_A}$  – нормальные значения силы тяжести в точках  $i$  и  $A$ , мГал;

$\delta g_{p_i}, \delta g_{p_A}$  – поправки за влияние рельефа в точках  $i$  и  $A$ , мГал.

**8.23** Среднеквадратическая погрешность аномального значения силы тяжести  $\varepsilon_a$  определяется следующим образом.

При расчете аномалий по формуле (18):

$$\varepsilon_{a1} = \pm \sqrt{\varepsilon_g^2 + (0.3086 - 0.0419\sigma_{cp})^2 \varepsilon_H^2 + (0.0419\sigma_{cp})^2 \varepsilon_h^2 + \varepsilon_p^2}, \quad (20)$$

При расчете относительных аномалий по формуле (19):

$$\varepsilon_{a2} = \pm \sqrt{2\varepsilon_g^2 + 2(0.3086 - 0.0419\sigma_{cp})^2 \varepsilon_h^2 + 2\varepsilon_p^2} \quad (21)$$

где  $\varepsilon_g$  – среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемого значения

силы тяжести, мГал;



$\varepsilon_H$  – среднеквадратическая погрешность определения высоты пункта, м;

$\varepsilon_h$  – среднеквадратическая погрешность определения высоты слоя пород над горизонтом, м;

$\varepsilon_p$  – среднеквадратическая погрешность определения поправки за рельеф дневной поверхности, мГал;

$\sigma_{cp}$  – средняя плотность вмещающих пород, г/см<sup>3</sup>.

**8.24** По результатам геологической интерпретации материалов съемок составляются геолого-геофизические разрезы и разрезы отдельных рудных тел по падению их, а также разрабатываются рекомендации для проведения разведочного бурения и проходческих работ.

**8.25** Графические приложения к отчету, кроме общепринятых [8], [9] должны включать:

- составленные по результатам обработки материалов съемок гравиметрами, для каждого профиля наблюдения графики изменения градиентов силы тяжести, распределения векторов, аномалий силы тяжести, плотностей пород вдоль выработки;

- погоризонтные планы месторождений с указанием расположения пунктов наблюдений и изоаномал  $\Delta g$ ;

- геологические разрезы и продольную вертикальную проекцию месторождения, использованные для учета влияния известных рудных тел;

- геологические разрезы, выявленные выработкой.

**8.26** Одновременно с проведением гравиметрических съемок в подземных выработках должны определяться плотности горных пород, вмещающих полезные ископаемые, и самих полезных ископаемых.

**8.27** Плотность горных пород в естественном залегании определяется по данным гравитационных измерений в подземных горных выработках на разных горизонтах вдоль стволов шахт.

Кажущаяся плотность  $\sigma_k$  слоя пород между двумя уровнями вычисляется по формуле:

$$\sigma_k = \frac{\Delta g_{1-2} + 0.3086 | \Delta h | \pm \Delta}{0.0836 | \Delta h |} \quad (22)$$

где  $\Delta g_{1-2}$  – разность значений силы тяжести в двух пунктах, расположенных на одной

вертикальной линии, мГал;

$\Delta h$  – разность высот между пунктами наблюдений, м;

$\Delta$  – разность влияния помех на значения  $\Delta g$  в точках 1 и 2, мГал.

Для нахождения величины  $\Delta$  необходимо ввести поправки в наблюденные значения силы тяжести на обоих пунктах за влияние ствола шахты, горных выработок, рельефа дневной поверхности и аномальных масс (например, рудных тел, расположенных достаточно близко от пункта измерений и т. п.).

Для определения величины  $\sigma$  с погрешностью  $\pm 0,02$  г/см<sup>3</sup> достаточно при  $\Delta h = 60 \div 70$  м знать величину  $h$  с точностью  $\pm 0,3$  м, а величины  $\Delta g$  и  $\Delta$  с погрешностью не больше  $\pm 0,5$  мГал. Для других интервалов  $\Delta h$  все допуски пропорционально изменяются.

**8.28** Для определения планового положения гравиметрических пунктов в подземных горных выработках выполняют теодолитные хода. Допустимая относительная невязка теодолитного хода между маркшейдерскими точками дана в таблице 3.

**Таблица 3 — Допустимая относительная невязка теодолитного хода**

Периметр, м	Ходы

1000	1000-3000	
$\frac{1}{2500} L$	$\frac{1}{1500} L$	Замкнутые
$\frac{1}{1500} L$	$\frac{1}{1500} L$	Висячие
где $L$ - длина хода в км.		

**8.29** При наличии в выработках густой сети маркшейдерских точек и реперов разбивку гравиметрических пунктов между ними производят измерением расстояний лентой с относительной погрешностью 1/500.

Для определения высот гравиметрических пунктов в выработках, где отсутствуют репера или их абсолютные отметки, проводят хода геометрического нивелирования (если уклон выработки не превышает 8 градусов), опирающиеся на репера, находящиеся в подземных выработках.

Допустимая относительная невязка нивелирного хода в горных выработках может быть принята равной 50 мм  $\sqrt{L}$ .

При наличии густой сети реперов (20 - 30 м) и наличии рельсов возможно определение высот гравиметрических пунктов путем интерполяции абсолютных отметок головки рельса.

**8.30** Допустимые величины среднеквадратических погрешностей определения высот и координат гравиметрических пунктов, соответствующие предусмотренной точности наблюдаемых и аномальных значений силы тяжести, приведены в таблице 4.

**Таблица 4 — Допустимые величины среднеквадратических погрешностей**

Масштаб отчетных графиков	Среднеквадратическая погрешность определения		
	аномального значения силы тяжести, мГал	высот пунктов, см	координат пунктов, м
1:1000 - 1:500	$\pm 0,05$	$\pm 9$	0,2-0,4
	$\pm 0,04$	$\pm 7$	0,2-0,4
1:500	$\pm 0,02$	$\pm 4$	0,2

**8.31** Оценка точности определения координат и высот гравиметрических пунктов осуществляется по результатам контрольных независимых ходов теодолитных и нивелирных. Контрольные пункты составляют 10 % от общего числа пунктов и располагаются равномерно по съемочной сети каждого из горизонтов месторождения.

**8.32** Обмер вертикальных сечений выработки выполняют на самом пункте и на расстояниях от пункта наблюдения:  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,50$ ;  $\pm 1,0$ ;  $\pm 1,5$ ;  $\pm 2,0$ ;  $\pm 3,0$ ;  $\pm 4,0$ .

**8.33** Каждый гравиметрический пункт закрепляется надписью масляной краской на обеих боковых стенках или на подошве выработки.

## 9 Правила определения плотности горных пород

**9.1** Знание плотности горных пород необходимо для обработки (введения поправки за промежуточный слой, за рельеф дневной поверхности и т.п.) и интерпретации результатов гравиметрических измерений.

При введении поправки за рельеф и для интерпретации используются значения плотности, определенные в условиях естественного залегания горных пород. Такие значения плотности называются истинными ( $\sigma_{ист}$ ).

При введении поправок за влияние промежуточного слоя можно пользоваться значениями плотности, полученными по наземным или скважинным измерениям силы тяжести или ее производных. Такие значения плотности называются кажущимися ( $\sigma_{к}$ )

вследствие того, что на них оказывают действие аномалиеобразующие массы.

**9.2** Работы по определению и изучению плотности горных пород должны предусматриваться в проекте полевой или специальной тематической партии. Работы эти включают определения средней истинной плотности при определенных термодинамических условиях (давлении и температуре) и средней кажущейся плотности пород.

**9.3** Средняя истинная плотность  $\sigma_{ист}$  определяется следующими методами:

- путем измерения массы и объема образца породы;
- по результатам рассеяния и поглощения гамма лучей породами (гамма-метод);
- по эмпирически установленным зависимостям между плотностью и другими физическими параметрами пород;
- по результатам подземной регистрации космического излучения.

Определение плотности каждым из методов проводится в соответствии со специальными инструкциями.

**9.4** По образцам пород в лабораторных или полевых условиях определяются:

- истинная плотность горной породы:

$$\sigma_{ист} = \frac{m_T + m_{ж} + m_r}{V_T + V_{ж} + V_r}, \quad (23)$$

- плотность минералогическая или плотность твердой фазы пород:

$$\sigma_M = m_T / V_T, \quad (24)$$

- плотность абсолютно сухой горной породы (образец высушивается при  $t = 105^\circ\text{C}$ ):

$$\sigma_{a.c} = \frac{m_T}{V_T + V_{ж} + V_r}, \quad (25)$$

где  $m_T, m_{ж}, m_r$  - массы твердой, жидкой и газообразной фаз некоторого объема горной

породы соответственно, г;

$V_T, V_{ж}, V_r$  - соответствующие этим массам объемы,  $\text{см}^3$ ;

- плотность воздушно-сухой породы (образцы хранились некоторое время в кернохранилище и изменили первоначальное содержание влаги)  $\sigma_{в.с}$ ;

- плотность влажной породы (насыщение пор флюидом обычно принимается равной 50 – 70 %)  $\sigma_в$ .

Для гравиразведки всегда необходимо знание  $\sigma_{ист}$ . Плотность  $\sigma_{в.с}$ , как правило, дает уменьшенное значение  $\sigma_{ист}$ , что следует учитывать.

По величинам  $\sigma_M$  и  $\sigma_{a.c}$  определяется общая пористость  $k_n$  (в %) по формуле:

$$k_n = 100 \left( 1 - \frac{\sigma_{a.c}}{\sigma_M} \right), \quad (26)$$

По значениям  $k_n$  и  $\sigma_{a.c}$  определяется  $\sigma_B$ , которая является приближенным значением  $\sigma_{ист}$ .

**9.5** Образцы пород для определения плотности отбираются из обнажений горных пород, из стен горных выработок или керна скважин. Образцы следует брать весом от 50 до 400 г.

Во всех случаях отобранные образцы должны являться представительной выборкой из объема породы (или пород), т. е. выборка должна охватывать все представленные по керну или обнажениям петрографические разности пород.

При отборе образцов из буровых скважин или стволов шахт желательно выдерживать постоянным интервал между точками отбора.

В горных выработках образцы извлекают с глубины примерно 10 см на одном уровне от подошвы выработки.

Истинную плотность пород следует определять по невыветренным образцам.

**9.6** Каждый образец снабжается этикеткой, где указываются:

- район работы (название площади, шахты);
- данные, описывающие положение образца в пространстве, позволяющие при обработке определить его пространственные координаты (обнажение, номер пикета, название штрека и проч. в шахте или номер скважины, глубина отбора в шахтах и скважинах и т. п.);

- макроскопическое описание образца (наименование породы, основные черты структуры и текстуры);

- наименование экспедиции, партии, фамилия исполнителя и время отбора образца.

**9.7** В лабораторных условиях, кроме определения  $\sigma_{уст}$  или  $\sigma_{в.с.}$ , следует определять  $\sigma_{а.с.}$ ,  $\sigma_m$  и общую пористость  $k_n$ . Одновременно необходимо проводить микроскопическое петрографо-минералогическое изучение этих образцов.

**9.8** Плотность пород по образцам определяется при помощи денситометра и других приборов. При работе с денситометром ежедневно до начала работы и по окончании её определяются систематические погрешности по всей шкале прибора посредством взвешивания эталонных гирь. Для определения случайной погрешности денситометра ежедневно проводится не менее 10 % повторных определений плотности.

При определении плотности пористой породы образец необходимо покрывать смесью воска с канифолью, имеющей плотность 1,00 г/см<sup>3</sup>.

**9.9** Случайная погрешность определения плотности по одному образцу денситометром или другим прибором  $\varepsilon_{приб}$  вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{приб} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma'_i)^2}{2n}}, \quad (27)$$

где  $n$  – число двойных определений плотности, которое должно быть не менее 50;

$\sigma_i$  – значение плотности  $i$ -го образца по первому определению, г/см<sup>3</sup>;

$\sigma'_i$  – значение плотности  $i$ -го образца по второму определению, г/см<sup>3</sup>.

Среднеквадратическая погрешность определения плотности одного образца не должна превышать  $\pm(0,01 - 0,02)$  г/см<sup>3</sup>.

**9.10** Основными величинами, характеризующими плотность больших объемов пород, являются средняя арифметическая плотность  $\sigma_{cp}$  и дисперсия  $\varepsilon_{\sigma}^2$ , определяемые по формулам:

$$\sigma_{cp} = \frac{\sum \sigma_i}{n}, \quad (28)$$

$$\varepsilon_{\sigma}^2 = \frac{\sum (\sigma_i - \sigma_{cp})^2}{n - 1}, \quad (29)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_n$  – значения плотности единичных образцов, г/см<sup>3</sup>;

$n$  – количество образцов.

Средняя арифметическая плотность  $\sigma_{cp}$  всегда является приближенным значением средней плотности того объема породы, из которого отбирались образцы.

Дисперсия  $\varepsilon_{\sigma}^2$  является самостоятельной характеристикой плотности. Она различна у различных пород и комплексов пород и описывает степень их геолого-петрографической неоднородности.

Дисперсия определяет среднеквадратическую погрешность получения плотности по

одному образцу  $\varepsilon_{\sigma}$ , вычисляемому по формуле:

$$\varepsilon_{\sigma} = \pm \sqrt{\frac{\sum(\sigma_i - \sigma_{cp})^2}{n - 1}}, \quad (30)$$

и среднеквадратическую погрешность величины  $\sigma_{cp}$ , вычисляемую по формуле:

$$\varepsilon_{\sigma_{cp}} = \pm \sqrt{\frac{\sum(\sigma_i - \sigma_{cp})^2}{n(n - 1)}}, \quad (31)$$

Формулы (30) и (31) достоверны при  $n \geq 50$ .

Суммарная среднеквадратическая погрешность определения плотности одного образца  $\varepsilon_c$  находится по формуле:

$$\varepsilon_c = \pm \sqrt{\varepsilon_{\sigma_{cp}}^2 + \varepsilon_{\text{приб}}^2}, \quad (32)$$

Задаваясь величинами  $\varepsilon_{\sigma}$ ,  $\varepsilon_{\text{приб}}$ , и  $\varepsilon_c$ , можно вычислить по формулам (30) - (32) количество образцов, необходимое для определения с заданной погрешностью.

**9.11** При анализе статистических данных о плотности горных пород следует строить полигоны распределения плотности пород. При этом по горизонтальной оси откладывают значения плотности с интервалом, равным примерно тройной величине  $\varepsilon_{\text{приб}}$  (0,03 - 0,05 г/см<sup>2</sup>), а по вертикальной - выраженные в процентах частоты появления этих значений, отнесенные к центральной точке каждого интервала. Исследование формы полигонов распределения (многовершинность, асимметрия и эксцесс у одновершинных распределений и т.п.) может дать дополнительную информацию о плотности.

**9.12** При использовании гамма-методов определяется плотность горных пород в условиях их естественного залегания.

Метод рассеянного гамма-излучения ГГК-П позволяет проводить дифференциальное изучение плотности вдоль стволов скважин.

Различные модификации гамма-метода применяются для определения плотности поверхностных отложений.

Среднеквадратическая погрешность определения плотности не должна превышать 1 - 3 % или  $\pm (0,02—0,06)$  г/см<sup>3</sup>.

**9.13** Среднеквадратическая погрешность определения среднего значения плотности по корреляционным зависимостям не должна превышать  $\pm 0,05$  г/см<sup>3</sup>.

**9.14** Среднеквадратическая погрешность определения среднего значения плотности по результатам подземной регистрации космического излучения зависит от времени наблюдения и не должна превышать 1 - 3 % или  $\pm (0,02-0,06)$  г/см<sup>3</sup>.

**9.15** Средняя кажущаяся плотность  $\sigma_k$  определяется по результатам гравиметрических наблюдений:

- на поверхности земли;
- вдоль ствола скважин и в шахтах.

**9.16** При определении кажущейся плотности относительного промежуточного слоя по данным наземных гравиметрических наблюдений необходимо использовать участки со сложным рельефом местности. При этом могут быть использованы различные вычислительные схемы (способ Неттлтона, обратных вероятностей, наименьших квадратов, решения систем уравнений методом Коши и т.п.).

**9.17** Кажущаяся плотность по гравиметрическим наблюдениям вдоль стволов шахт и скважин (гравитационный каротаж) определяется по формуле (22).

При надежной привязке точек наблюдения по глубине погрешность определения кажущейся плотности  $\varepsilon_{\sigma_k}$  вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{\sigma_k} = \pm \frac{\sqrt{2}\varepsilon_g}{0.0836\Delta h}, \quad (33)$$

где  $\varepsilon_g$  – среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемых значений силы тяжести, мГал;

$\Delta h$  – разность высот между пунктами наблюдений, м.

Значение  $\varepsilon_g$  вычисляется так же как  $\varepsilon_{on}$  по формулам (2), (3).

Среднеквадратическая погрешность определения среднего значения плотности не должна превышать 1 – 2 %.

**9.18** Плотность толщи, состоящей из  $k$  пластов с различными средними плотностями, вычисляется по формуле:

$$\sigma'_{cp} = \frac{H_1\sigma_{1cp} + H_2\sigma_{2cp} + \dots + H_k\sigma_{kcp}}{H}, \quad (34)$$

где  $\sigma_{1cp}, \sigma_{2cp}, \dots, \sigma_{kcp}$  - средние значения плотности по каждому пласту, г/см<sup>3</sup>;

$H_1, H_2, \dots, H_k$  - истинные мощности этих пластов, м;

$H = H_1 + H_2 + \dots + H_k$ .

**9.19** Среднеквадратическая погрешность определения  $\sigma'_{cp}$  при условии, что мощности  $H_1, H_2, \dots, H_k$  измерены без ошибок, вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{\sigma'_{cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{H_1}{H}\right)^2 \varepsilon_{\sigma_{1cp}}^2 + \left(\frac{H_2}{H}\right)^2 \varepsilon_{\sigma_{2cp}}^2 + \dots + \left(\frac{H_k}{H}\right)^2 \varepsilon_{\sigma_{kcp}}^2}, \quad (35)$$

В формулах (34) и (35) значения мощностей  $H$  могут быть заменены значениями объемов  $V$ .

**9.20** При геологическом истолковании гравиметрических материалов важно знание истинной избыточной плотности  $\Delta\sigma$ , которая вычисляется как разность значений истинной плотности аномалиеобразующей массы  $\sigma_a$  и истинной плотности вмещающих пород  $\sigma_{эм}$ .

Среднеквадратическая погрешность определения истинной избыточной плотности  $\varepsilon_{\Delta\sigma}$  вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{\Delta\sigma} = \pm \sqrt{\varepsilon_{\sigma_a}^2 + \varepsilon_{\sigma_{эм}}^2}, \quad (36)$$

где  $\varepsilon_{\sigma_a}$  и  $\varepsilon_{\sigma_{эм}}$  - среднеквадратические погрешности определения  $\sigma_a$ ,  $\sigma_{эм}$ , г/см<sup>3</sup>.

Величина  $\Delta\sigma$  может считаться достоверной, если  $\Delta\sigma \geq 3 \times \varepsilon_{\Delta\sigma}$ .

**9.21** Для правильного использования данных о плотности пород необходимо изучать особенности ее изменения в пространстве. Для осадочных пород эти особенности заключаются в следующем: закономерные изменения плотности одной и той же толщи по площади; изменение плотности пород при увеличении глубины залегания их; уплотнение и разуплотнение в сводовых и крыльевых частях структур и др. Эти изменения отображаются на картах и разрезах.

При изучении этих изменений плотности пород следует выявлять связь между ними и геологическим строением районов.

## 10 Интерпретация результатов гравиметрических съемок

**10.1** Геологическая интерпретация проводится на основе решения обратной задачи гравиметрии, суть которой состоит в том, что по совокупности значений аномалий гравитационного поля на некоторой поверхности (или в некотором числе точек на ней) находят величину и пространственное положение создавших аномалию

масс.

Многозначность решения обратной задачи может быть ограничена данными:

- о пространственном положении изучаемых масс и их плотности;
- о форме и распределении аномалиеобразующих масс (контактная поверхность, локальные тела, набор элементарных тел и т. п.);
- о пределах изменения искомым величин (гладкость контактной поверхности, пределы изменения плотности и т. п.).

**10.2** Эффективность и надежность геологической интерпретации результатов гравиметрической съемки зависят от точности учета плотностной неоднородности поверхностных отложений, а также точности исключения влияния геологических объектов, не являющихся предметом изучения. Последняя, в свою очередь, зависит от полноты геологических и геофизических данных:

- о геологическом строении района и залежах полезных ископаемых;
- о характеристике плотности горных пород исследуемого района;
- о результатах геофизических исследований, выполненных в изучаемом районе и на участках сходного геологического строения.

**10.3** Гравиразведку рекомендуется комплексировать с другими геофизическими и геологическими методами. Комплексное использование при геологической интерпретации результатов большого числа методов приводит не к простой сумме разнообразной информации, а многократно увеличивает информативность каждого метода, входящего в комплекс.

**10.4** Геологическая интерпретация результатов graviразведки подразделяется на качественную и количественную.

При качественной интерпретации получают сведения об источниках аномального поля на основании визуального рассмотрения морфологии (по карте, графикам) этого поля. Качественная интерпретация основывается на методе аналогии и на результатах совместного рассмотрения данных graviразведки с данными других геофизических методов, геологической съемки и бурения. В результате создается схема геологического строения изучаемого участка.

Количественная интерпретация заключается в определении элементов залегания возмущающих тел, их массы и плотности. По результатам количественной интерпретации составляются схематические геолого-геофизические разрезы вдоль определенных направлений, структурные карты поверхности раздела сред с разной плотностью и разрабатываются рекомендации для проектирования разведочного бурения или применения других геофизических методов. При интерпретации, кроме карт, используются цифровые модели поля, графики по профилям и др.

**10.5** Для выявления гравитационного влияния геологических структур различного порядка, расположенных как в верхних слоях земной коры, так и в более глубоких, рекомендуется проводить различные трансформации гравитационного поля - разделение аномального поля на региональную и локальную составляющие (программы системы Geosoft, TRANS и т.п.). В настоящее время наиболее распространены следующие методы разделения полей:

- учет влияния известных геологических объектов;
- осреднение аномального поля и расчёт локальной составляющей;
- вычисление высших производных (вертикальных и горизонтальных);
- аналитическое продолжение в верхнее и нижнее полупространства;
- гармонический анализ;
- вычисление функций Саксова-Нигарда и т. п.

Общее число трансформаций, как правило, не должно быть меньше 5 - 8.

**10.6** В некоторых случаях рекомендуется пункты наблюдений приводить к единому уровню. Для этого при учете действия промежуточного слоя используется кажущаяся плотность, полученная по данным наземной гравиметровой съемки.

**10.7** При интерпретации необходимо применять альбомы теоретических кривых, палетки, программы моделирования системы Geosoft, Model-2, Model-3 и т.п.

## **11 Правила составления технической отчетности**

### **11.1 Составление отчетности по результатам гравиметрических работ**

**11.1.1** Периодическая техническая отчетность представляется в сроки и по форме, установленные вышестоящей организацией. В этих отчетах должны быть освещены вопросы выполнения плана, дано описание методики работ и основных геологических результатов, полученных партией за отчетный период. К отчету прилагаются графические материалы, являющиеся результатом предварительной обработки и интерпретации полевых наблюдений.

**11.1.2** Окончательный отчет составляется по завершении всего цикла работ в соответствии с [8] - [9].

В отчете гравиметрической партии должны быть сформулированы решавшиеся партией задачи, дана геолого-геофизическая характеристика района по материалам наиболее новых и полных исследований, включающая данные о физических свойствах пород всего геологического разреза, в том числе - пород промежуточного слоя. Кроме того, в отчете должны быть изложены:

- подробная характеристика качества полевых работ и оценка точности наблюдений;
- методика и техника гравиметрических наблюдений с указанием новых методических приемов, повышающих точность измерений;
- результаты полевых и камеральных геодезических работ;
- технико-экономические данные (принятый и выполненный объемы, стоимость, сроки работ и т. п.);
- методика определения поправок за высоту, промежуточный слой, влияние рельефа местности и определение точности полученных поправок;
- методика определения и исключения влияния плотности промежуточного слоя, рыхлых отложений, погребенного рельефа;
- данные по использованию гравиразведки в комплексе с другими геофизическими методами;
- геолого-геофизические результаты работ и на основе их соответствующие выводы и рекомендации по дальнейшему проведению работ;
- данные о геологической и разведочной эффективности выполненных работ;
- предложения по повышению геологической эффективности гравиразведки;

**11.1.3** К отчету должны быть приложены:

- акт окончательной приемки полевых гравиметрических материалов, включающий изложение методики и техники выполненных работ, сведения о применявшейся аппаратуре, характеристику качества работ и точности гравиметрической съемки, характеристику качества геодезических работ;
- акты сдачи полевых материалов в архив;
- каталог опорных пунктов в соответствии с приложением Д;
- каталог рядовых гравиметрических пунктов в соответствии с приложением Е;
- рецензии на отчет;
- протокол совещания по защите отчета.

**11.1.4** Отчет должен содержать следующие графические приложения:

- обзорную карту района работ в масштабе 1:1000000 для съемок масштаба 1:50000 и мельче, в масштабе 1:100000 - 1:200000 для крупномасштабных съемок;
- при площадной съемке - карту изоаномал силы тяжести в масштабе, установленном проектом, с нанесенными на нее пунктами наблюдений и выписанными значениями аномалий Буге, при этом для съемок масштабов 1:50000 и мельче



составляются карты аномалии силы тяжести в редукции Буге с плотностью промежуточного слоя 2,67 г/см<sup>3</sup>, 2,30 г/см<sup>3</sup>, 2.0 г/см<sup>3</sup> и реальной плотностью для геологической интерпретации, для съемок масштабов 1:25000 и крупнее составляются карты аномалий силы тяжести в редукции Буге с реальной плотностью промежуточного слоя и плотностью промежуточного слоя 2.0 г/см<sup>3</sup>;

- при профильной съемке графики аномалий Буге  $\Delta g_a$ ;
- сводный геолого-геофизический разрез района работ с данными о плотности пород;
- графические материалы по плотностной характеристике района (карты, разрезы и т. п.);
- карты трансформированных значений аномалий силы тяжести;
- геолого-структурные схемы, построенные в результате совместной обработки данных геофизических и геологоразведочных работ;
- схему геодезического обеспечения и абрисы опорных и узловых пунктов.

## 11.2 Составление отчетных графических материалов

**11.2.1** Основным результативным документом площадной гравиметрической съемки, помимо каталога, является карта аномалий силы тяжести.

Отчетные гравиметрические карты должны составляться по отдельным трапециям, отвечающим международной разграфке соответствующего масштаба. Допускается составление сводной карты для всей площади съемки. В обоих случаях карты составляются в проекции Гаусса, вычисление координат углов рамок проводится в соответствии с параметрами эллипсоида Ф. Н. Красовского в системе координат 1942 года, либо в общепринятой в Беларуси системе координат.

Для карт масштабов 1:100000 и крупнее допускаются прямоугольные рамки.

**11.2.2** Топографическая основа карты должна содержать:

- сетку географических и прямоугольных координат в зависимости от масштаба карты (таблица 5).

Таблица 5 — Сетка географических и прямоугольных координат

Масштаб карты	Интервалы выходов географической сетки		Интервалы выходов прямоугольной сетки, см
	по широте	по долготе	
1:1000000	40'	1°	-
1: 500000	20'	30'	-
1: 200000	10'	15'	5 (10 км на местности)
1: 100000	5'	7',5	2 (2 -"- )
1: 50000	2',5	3',75	2 (1 -"- )
1: 25000	-	-	4 (1 -"- )
1: 10000	-	-	5 (0.5 -"- )

- разреженную топографическую ситуацию: основные населенные пункты и те, которые упоминаются в тексте отчета (в виде пуансонов или ограничивающих контуров); железные, шоссейные и важнейшие грунтовые дороги, реки и озера и другие элементы ситуации, упомянутые в тексте отчета (урочища, формы рельефа и т. п.);

- пункты гравиметрических наблюдений, которые наносятся с точностью 0,2 мм, и нумеруются; для профилей с последовательной нумерацией пунктов допускается оцифровка через 5 единиц.

Топографическая ситуация не должна затруднять чтение геофизической нагрузки.

**11.2.3** На картах масштаба 1:100000 и мельче значения аномалий подписываются с точностью до 0,1 мГал, на крупномасштабных картах - с точностью 0,01 мГл.

**11.2.4** Изоаномалы проводятся путем линейной интерполяции при этом необходимо руководствоваться следующим: вначале выполняется строгая интерполяция между пунктами, а затем изолинии сглаживаются в пределах фактической среднеквадратической погрешности аномалий. Пункты, значения аномалий на которых отличаются от интерполированных на величину, большую величины одной среднеквадратической погрешности аномалий, помечаются знаком двоеточия. Замкнутые изоаномалы проводятся не менее чем по трем пунктам, определенным в двух и более рейсах. Каждая пятая изоаномала должна утолщаться. Изоаномалы оцифровываются со знаком «+» или «-». В случаях, когда оцифровка изоаномал затруднительна, допускается применение бергштриха. Изоаномалы, проведенные неуверенно, вычерчиваются пунктиром. Рекомендуется компьютерное проведение изоаномал (метод минимальной кривизны и др.). Параметры способа построения должны быть подобраны таким образом, чтобы исключить появление ложных аномалий и отклонения компьютерной аппроксимации от значений на точках, превышающие одну среднеквадратичную ошибку.

Поле аномалий силы тяжести на отчетных картах, направляемых в ГГФ, дается без раскраски.

**11.2.5** В заголовке карты, над верхней рамкой, должно быть указано: гравиметрическая система (система 1971 года), вид аномалии, поправки, с которыми вычислены аномалии, принятая плотность промежуточного слоя, формула нормальной силы тяжести, номенклатура планшета соответствующего масштаба.

**11.2.6** Карта подписывается начальником партии, начальником геодезического отряда и составителем карты. Кроме того, могут быть подписи других лиц, ответственных за составление карты.

**11.2.7** За рамкой карты показывается:

- масштаб карты (численный и линейный);
- система координат и высот;
- условные знаки;
- дата составления карты;

- в случае составления сводной карты для всего района работ дается мелкомасштабная схема расположения участков соседних работ (в пять раз мельче масштаба карты) с указанием партии, организации, проводивших съемку, и года ее проведения. При составлении карты по отдельным планшетам эта схема представляется в виде самостоятельного приложения.

**11.2.8** При необходимости учета влияния рельефа местности поправка обязательно вводится в значения  $\Delta g$ , вычисленные с плотностью  $2,67 \text{ г/см}^3$  и реальной ( $2,00 \text{ г/см}^3$ ).

**11.2.9** При профильной съемке составляются графики изменения аномалий силы тяжести. Горизонтальный масштаб устанавливается проектом работ. Рекомендуемый вертикальный масштаб при крупномасштабной съемке: в 1 см – 0,2; 0,5; 1,0 мГал; при мелкомасштабной съемке: в 1 см – 2,0; 5,0; 10,0 мГал.

### **11.3 Хранение результатов съемок**

**11.3.1** Результаты наблюдений на полевых опорных пунктах, представленные в соответствии с приложением Д, хранятся в виде каталога бессрочно.

Результаты измерений на рядовых пунктах хранятся, как приложение к отчету, в виде каталогов рядовых пунктов в соответствии с приложением Е бессрочно.

**11.3.2** Полевые материалы хранятся не менее 10 лет. Уничтожение полевых материалов разрешается только после составления на территорию съемок листов государственных гравиметрических карт соответствующих масштабов, утвержденных Научно-техническим советом Департамента по геологии Министерства природных

**ТКП 17.04-06-2008**

ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

**Приложение А**  
(рекомендуемое)

**Форма полевого гравиметрового журнала**

*(Титульный лист)*

Наименование учреждения

\_\_\_\_\_

(Наименование юридического лица)

\_\_\_\_\_ партия № \_\_\_\_\_

Район работ

\_\_\_\_\_

Год работ \_\_\_\_\_

**ПОЛЕВОЙ ГРАВИМЕТРОВЫЙ ЖУРНАЛ № \_\_\_\_**

Гравиметр \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Начат \_\_\_\_\_ Окончен \_\_\_\_\_

Оператор \_\_\_\_\_

Начальник партии \_\_\_\_\_

Нашедшего просят вернуть по адресу \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*(Текст)*

Рейс № \_\_\_\_\_ (опорный, рядовой, контрольный)

Дата \_\_\_\_\_

Профиль № \_\_\_\_\_

№ пункта	Время отсчета	Температура	Отсчеты	Средний отсчет	Примечание

Оператор \_\_\_\_\_

**Приложение Б**  
(рекомендуемое)

**Форма полевого журнала нивелирования**

(при определении поправок за влияние рельефа местности)

*(Титульный лист)*

Наименование учреждения \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Наименование юридического лица)

партия № \_\_\_\_\_

Район работ \_\_\_\_\_

Год работ \_\_\_\_\_

**ПОЛЕВОЙ ЖУРНАЛ НИВЕЛИРОВАНИЯ № \_\_\_\_\_**

Начат \_\_\_\_\_ Окончен \_\_\_\_\_

Нивелировщик \_\_\_\_\_

Начальник партии \_\_\_\_\_

Нашедшего просят вернуть по адресу \_\_\_\_\_

*(Текст)*

Пункт № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Высота центра \_\_\_\_\_ Ось X ориентирована \_\_\_\_\_

(способ Мудрецово́й)

Расстояние от центра, м	Азимуты лучей, градус								Примечание
	0	45	90	135	180	225	270	315	
1,14									
1,66									
2,34									
2,86									
3,49									
5,31									

Нивелировщик \_\_\_\_\_ Проверил \_\_\_\_\_

(способ Нумерова)

Расстояние от центра, м	Азимуты лучей, градус								Примечание
	0	45	90	135	180	225	270	315	
1,2									
2,0									
3,0									
4,5									
6,0									

Нивелировщик \_\_\_\_\_ Проверил \_\_\_\_\_

**Приложение В**  
(рекомендуемое)

**Форма журнала обработки полевых наблюдений гравиметрии**

Наименование учреждения

\_\_\_\_\_ (Наименование юридического лица)

партия № \_\_\_\_\_

Район работ

Год работ \_\_\_\_\_

**ЖУРНАЛ ОБРАБОТКИ ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ГРАВИМЕТРИИ**

Гравиметр № \_\_\_\_\_

Цена оборота измерительного микровинта

Начат \_\_\_\_\_

Окончен \_\_\_\_\_

Оператор \_\_\_\_\_

Начальник партии \_\_\_\_\_

*(Текст)*

Рейс № \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Профиль № \_\_\_\_\_

Полевой журнал № \_\_\_\_\_

№ пункта	Время наблюдений	Температура прибора	Отсчет микрометра	Поправки за температуру	Исправленный отсчет	Поправки за смещение нуляпункта	Исправленный отсчет	Отсчет, мГал	Значение силы тяжести на опорном пункте, мГал	Приведение к уровню опорного пункта	Значение силы тяжести в рядовых пунктах, мГал	Значение силы тяжести при контрольном наблюдении, мГал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

**ТКП 17.04-06-2008**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Приложение Г  
(рекомендуемое)

Форма ведомости контрольных измерений

ВЕДОМОСТЬ КОНТРОЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

№ пунктов	Дата	№ рейса	№ гравиметра	Наблюденные значения силы тяжести $g_n$ , мГал	Средние значения силы тяжести $g_{ср.}$ , мГал	Отклонение от среднего значения силы тяжести $\delta$ , мГал	$\delta^2$ , мГал



**Приложение Д**  
(рекомендуемое)

**Форма каталога опорных пунктов**

**КАТАЛОГ ОПОРНЫХ ПУНКТОВ**

Район работ \_\_\_\_\_

Исходные пункты (I, II, III классов)

Год работ \_\_\_\_\_

Типы и № гравиметров \_\_\_\_\_

Название	$\varphi$	$\lambda$	H	$g_n$

№ пунктов	Название пунктов	Координаты				Высота пунктов, м	Наблюдаемое значение силы тяжести, мГал	Точность определения $g_n$ по отношению к исходным пунктам	Нормальное значение силы тяжести, мГал	Поправка за влияние рельефа местности  ( $\sigma = 2,67$ г/см <sup>3</sup> ), мГал	Аномалия в свободном воздухе, мГал	Аномалия Буге, мГал			Аномалия Буге с учетом поправки за влияние рельефа местности ( $\sigma = 2,67$ г/см <sup>3</sup> ), мГал
		географические		прямоугольные								$\sigma = 2,30$ г/см <sup>3</sup>	$\sigma = 2,67$ г/см <sup>3</sup>	$\sigma$ реальн	
		$\varphi$	$\lambda$	X	Y										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Примечание - При съемке масштабов 1:25000 и крупнее разрешается в каталоге давать только значения координат, высот пунктов наблюдений, значения  $\Delta g_n$  и поправок за влияние рельефа. В заголовке каталога указываются в этом случае: плотность промежуточного слоя по участкам, точности определения высот, координат,  $\Delta g_n$ , исходные опорные пункты и значения силы тяжести на них

**Приложение Ж**  
(обязательное)

**Технические требования к гравиметрическим полигонам**

- 1 Полигоны предназначаются для эталонирования узкодиапазонных гравиметров.
- 2 Разность ускорения силы тяжести между крайними пунктами полигона должна быть 80-100 мГал.
- 3 Полигон должен состоять из пяти-семи пунктов, расположенных так, чтобы ускорение силы тяжести от одного крайнего пункта до другого изменилось в одну сторону на 12-20 мГал от пункта к пункту.
- 4 Пункты полигона располагаются в таких местах, которые позволяют длительное время сохранять неизменность положения пункта и величину ускорения силы тяжести.  
Пункты полигона не должны иметь вертикальных и горизонтальных смещений. Уровень грунтовых вод под пунктом не должен претерпевать значительных сезонных колебаний. Вблизи от пункта не должно быть переменных больших масс (например, пункты не стоит располагать вблизи водохранилищ, рек, озер и т.п.). Если под пунктом возможны значительные колебания уровня грунтовых вод, то для учета возможного влияния их на ускорение силы тяжести необходимо определять уровень грунтовых вод.
- 5 Пункты полигона должны быть закреплены сплошным бетонным монолитом размером в плане не менее 1 м x 1 м.  
Глубина закладки бетонного монолита определяется климатическими условиями и должна соответствовать требованиям по закладке геодезических нивелирных реперов. В верхней части бетонного монолита закладывается репер или марка.
- 6 Пункты полигона должны быть привязаны по высоте с ошибкой не более 5 см, и в плане с максимально возможной точностью, но не грубее  $\pm 1$  м.
- 7 Пункты полигона располагаются вблизи хороших асфальтированных дорог, время переезда между соседними пунктами на автомашине не должно быть более 10-20 мин. Должен быть оборудован хороший съезд с асфальтированной дороги и подъезд к пункту.
- 8 Пункты полигона располагаются на расстоянии не менее 100 м от асфальтированной дороги с интенсивным движением автотранспорта и более чем в 200 м от железной дороги.
- 9 Вблизи пунктов полигона не должны находиться различные источники вибраций и микроколебаний: лес, отдельные высокие деревья, высокие здания, работающие станки, машины и т.п.
- 10 Гравиметрические измерения на пунктах полигона (между соседними пунктами) должны быть выполнены со среднеквадратическими ошибками не более 0.02 мГал, а разность ускорения силы тяжести между двумя любыми пунктами полигона с ошибкой не более  $\pm 0,03$  мГал.
- 11 Наблюдения на пунктах полигона проводятся группой гравиметров (не менее 3).
- 12 Продолжительность рейсов между пунктами для определения нуля пункта должна быть не более 2 ч.
- 13 Наблюдения на пунктах полигона должны проводиться в течение трех или четырех календарных дней с целью исключения систематических ошибок, связанных с внешними условиями.

**Приложение К**  
(обязательное)

**Определение цены деления при эталонировании гравиметров на специальных эталонных полигонах**

При определениях по двум точкам с перестройкой диапазона цена деления (линейная компонента) вычисляется по формуле:

$$C_0 = \frac{\Delta g |(n_1^2 - n_0^2) - (n_3^2 - n_2^2)|}{(n_3 - n_2)(n_1^2 - n_0^2) - (n_1 - n_0)(n_3^2 - n_2^2)} \quad (\text{К.1})$$

Коэффициент  $C_1$ , учитывающий нелинейность, определяется по формуле,

$$C_1 = \frac{n_3 - n_2 - n_1 + n_0}{n_1^2 - n_0^2 - n_3^2 + n_2^2} \quad (\text{К.2})$$

где  $n_0, n_1$  – отсчеты на точках 1 и 2 до перестройки диапазона;

$n_2, n_3$  – отсчеты на тех же точках после перестройки диапазона.

При определении по трем точкам цена деления (линейная компонента) вычисляется по формуле:

$$C_0 = \frac{\Delta g_2 (n_1^2 - n_0^2) - \Delta g_1 (n_2^2 - n_0^2)}{(n_2 - n_0)(n_1 - n_0)(n_1 - n_2)} \quad (\text{К.3})$$

Коэффициент  $C_1$  в этом случае определяется по формуле:

$$C_1 = \frac{\Delta g_1 (n_2 - n_0) - \Delta g_2 (n_1 - n_0)}{\Delta g_2 (n_1^2 - n_0^2) - \Delta g_1 (n_2^2 - n_0^2)} \quad (\text{К.4})$$

где  $n_0, n_1, n_2$  – отсчеты на 1, 2 и 3 точках.

При многократных определениях и по большому числу точек величины  $C_0$  и  $C_1$  определяются по способу наименьших квадратов. Приращение  $\Delta g$  вычисляется по формуле:

$$\Delta g_i = C_0 [(n_i + C_1 n_i^2) - (n_0 + C_1 n_0^2)] \quad (\text{К.5})$$

Среднеквадратическая погрешность единичного определения  $C$  вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{C_{\text{ед}}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n - 1}} \quad (\text{К.6})$$

где  $\delta$  - отклонения отдельных определений  $C$  от среднего значения;

$n$  – число измеренных разностей, принятых для определения среднего значения  $C$ .

Среднеквадратическая погрешность результативного значения  $C$  определяется по формуле

$$\varepsilon_{C_{\text{рез}}} = \pm \frac{\varepsilon_{C_{\text{ед}}}}{\sqrt{n}} \quad (\text{К.7})$$

**Приложение Л**  
(обязательное)

**Определение цены деления при эталонировании гравиметров методом наклона**

Цена деления при эталонировании гравиметров методом наклона вычисляется по формуле:

$$C = \frac{g}{2} \left( \frac{\beta_1^2 + \beta_2^2}{\Delta n_1 + \Delta n_2} \right), \quad (\text{Л.1})$$

где  $C$  – значение цены деления в мГал/оборот;

$\beta_1, \beta_2$  – углы наклона гравиметра по обе стороны от исходного (горизонтального)

положения (в радианах);

$\Delta n_1, \Delta n_2$  – разности показаний счетчика гравиметра между исходным положением и

при заданном наклоне;

$g$  – абсолютное значение силы тяжести на пункте, где проводится эталонирование.

Погрешность в определении – при наклонах экзаменатора на приблизительно равные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  равна:

$$\delta \Delta g = 2g\alpha |(\beta_1 - \beta_2)|, \quad (\text{Л.2})$$

где  $\alpha$  – угол наклона нити подвеса к горизонту в исходном положении.

При  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$  для вычисления можно пользоваться выражением, где

$$C = \frac{g\beta^2}{2\Delta n_{cp}}, \quad (\text{Л.3})$$

$$\Delta n_{cp} = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2}{2}. \quad (\text{Л.4})$$

### Библиография

- [1] Инструкция по гравirazведке М.:Недра, 1980
- [2] Гравirazведка: справочник геофизика М.: Недра, 1990
- [3] Веселов К.Е. Гравиметрическая съемка М.: Недра, 1986
- [4] Бычков С.Г. Особенности обработки результатов современной гравиметрической съемки Горный институт УрО РАН ГИ, 2005
- [5] Долгаль А.С., Новоселицкий В.М., Бычков С.Г., Антипин В.В. Компьютерная технология определения поправок за влияние рельефа земной поверхности при гравиметрической съемке М.: Геофизический вестник, 5, 2004
- [6] Бычков С.Г. 2005, Основные направления совершенствования теории и практики гравиметрических исследований в Пермском Прикамье / Материалы междунар. семинара «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» Пермь: ГИ УрО РАН, 2005
- [7] Временное дополнение к «Инструкции по гравirazведке» (М., 1980) Раздел VIII. Порядок, состав и формы представления первичных материалов полевых гравirazведочных работ в Государственный банк цифровой геологической информации М: ГлавНИВЦ Роскомнедра, 1996
- [8] Инструкция о порядке составления отчетов о геологическом изучении недр. Утверждена постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 14.05.2007г. № 58
- [9] Инструкция о государственном учете результатов работ по геологическому изучению недр, порядок хранения и пользования геологическими материалами, Утверждена постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 11.05.2007г. № 49
- [10] Кодекс Республики Беларусь о недрах от 14 июля 2008 г № 406-3

<p>Начальник отдела регулирования использования природных ресурсов Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь</p>	<p>подпись, дата</p>	<p>В.В. Варакеа</p>
<p>Директор Департамента по геологии</p>	<p>подпись, дата</p>	<p>В.В. Карнук</p>
<p>Директор республиканского унитарного предприятия «Белорусский научно- исследовательский геологоразведочный институт»</p>	<p>подпись, дата</p>	<p>А. А. Махнач</p>
<p>Руководитель темы, кандидат технических наук</p>	<p>подпись, дата</p>	<p>В.П. Ильин</p>
<p>Ответственный исполнитель, главный геофизик Геофизической экспедиции геологоразведочного республиканского унитарного предприятия «Белгеология»</p>	<p>подпись, дата</p>	<p>А.В. Беляшов</p>
<p>Главный инженер Геофизической экспедиции геологоразведочного республиканского унитарного предприятия «Белгеология»</p>	<p>подпись, дата</p>	<p>А.П. Иваненко</p>
<p>Главный геофизик геофизической партии гравиметрических и аэрогеофизических работ №16 Геофизической экспедиции геологоразведочного республиканского унитарного предприятия «Белгеология»</p>	<p>подпись, дата</p>	<p>А.В. Гаврилов</p>