

Министерство образования Российской Федерации

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕФТИ И ГАЗА им.И.М.Губкина**

С.А.СЕРКЕРОВ

ГРАВИРАЗВЕДКА И МАГНИТОРАЗВЕДКА

Москва

2000

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
НЕФТИ И ГАЗА ИМЕНИ И.М.ГУБКИНКА

Кафедра разведочной геофизики и компьютерных систем

С.А.Серкеров

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО КУРСУ

«ГРАВИРАЗВЕДКА И МАГНИТОРАЗВЕДКА»

для студентов специальности 080400 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (в части геофизических методов поисков и разведки месторождений нефти и газа)» специализаций «Нефтегазовая разведочная геофизика», «Компьютерные системы и технологии в геофизике» и магистров по направлению 553200 «Геология и разведка полезных ископаемых» (программа 553215 - «Методы разведочной геофизики»)

Москва - 2000

Серкеров С.А.

Конспект лекций по курсу «Гравиразведка и магниторазведка».-М:
РГУ нефти и газа, 2000. - 45 с.

Рассмотрена методика гравиразведочных и магниторазведочных работ, как наземных, так и аэромагнитных.

Изложены основные положения инструкции по гравиразведке, включающие вопросы проектирования работ, методики наблюдений, вопросы геодезического обеспечения и обработки результатов гравиметрических наблюдений и оценки их точности.

Рекомендуется для студентов специальности 080400 специализаций «Нефтегазовая разведочная геофизика», «Компьютерные системы и технологии в геофизике» и магистров по направлению 553200 «Геология и разведка полезных ископаемых» (программа 553215 - «Методы разведочной геофизики»).

Рецензент - А.Л.Харитонов, к-т технических наук, старший научный сотрудник ИЗМИРАН.

© Российский Государственный университет нефти и газа
им.И.М.Губкина, 2000 г.

Содержание

| | |
|---|----|
| Предисловие..... | 4 |
| 1. Задачи и методика наземных гравиметрических и магнитометрических работ..... | 5 |
| 2. Методика аэромагнитных съемок..... | 15 |
| 3. Некоторые основные положения инструкции по гравиразведке..... | 21 |
| 3.1. Задачи гравиметрической разведки..... | 21 |
| 3.2. Проектирование работ..... | 24 |
| 3.3. Геодезические работы..... | 29 |
| 3.4. Методика наблюдений..... | 30 |
| 3.5. Обработка результатов гравиметрических наблюдений и оценка точности..... | 36 |
| Вопросы для самоконтроля..... | 44 |
| Литература..... | 45 |

Предисловие

Гравиразведка и магниторазведка - одна из основных дисциплин учебного плана специальности 0804 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

Основными учебниками по данному курсу являются учебники Серкерова С.А. «Гравиразведка и магниторазведка», М., Недра, 1999 и «Теория гравитационного и магнитного потенциалов» М., Недра, 1990. Эти учебники соответствуют современной программе курса «Гравиразведка и магниторазведка», но вопросы методики гравиразведочных и магниторазведочных работ не получили в них должного внимания. В связи с этим возникла необходимость в издании данного конспекта лекций.

В нем излагаются вопросы методики наземных и аэромагнитных работ, вопросы обработки результатов наблюдений и оценки их точности.

МЕТОДИКА ГРАВИРАЗВЕДОЧНЫХ И МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

§ I. Задачи и методика наземных Гравirazведочных и магниторазведочных работ

Методика проведения Гравirazведочных и магниторазведочных работ с целью поисков и разведки полезных ископаемых определяется поставленной геологической задачей.

Перед гравитационной и магнитной съемками, в частности, могут быть поставлены следующие задачи.

1. Тектоническое и литолого-петрографическое районирование изучаемой территории при геологическом картировании и составлении прогнозных карт. Объектами исследования при этом могут быть кристаллические щиты, массивы, поднятия фундамента, депрессии, области накопления мощных толщ осадочных отложений, границы платформ и геосинклинарий, глубинные разломы земной коры.

2. Выделение зон и участков, перспективных для постановки на них более детальных геологических и геофизических работ. Объектами исследования при этом могут быть сложенные горными породами, отличающимися по своей плотности или намагниченности, толщи, свиты или горизонты, являющиеся маркирующими в литолого-петрографическом отношении, представляющие собой крупные залежи полезных ископаемых или вмещающие и контролирующие месторождения полезных ископаемых (нефтегазоносные, рудоносные, угленосные и др.); интрузии и прилегающие к ним зоны изменения пород; эффузивные образования; литолого-стратиграфические и тектонические контакты пород с различной плотностью или намагниченностью; особенности погребенного рельефа тектонического или эрозионного происхождения.

3. Выявление локальных структурных форм, благоприятных для скопления полезных ископаемых, а также непосредственно локальных залежей полезных ископаемых (железных, сульфидных, медно-никелевых, оловянных, хромитовых, Полиметаллических и других руд, бокситов и др.)

4. Определение в особо благоприятных случаях формы, элементов залегания и размеров залежи полезных ископаемых с оценкой запасов, а также формы и элементов залегания структуры, вмещающей или контролирующей залежь.

Характеристика Горнотехнических условий эксплуатации месторождений.

Эффективность применения гравиразведки и магниторазведки определяется следующими факторами:

1) разностью плотностей или намагниченностей изучаемого объекта и вмещающих пород или контактирующих сред, если объектом изучения являются их границы;

2) размерами объекта и глубиной его залегания;

3) наличием и характером других объектов, вызывающих гравитационные или магнитные аномалии в пределах территории исследования, являющихся помехами для изучения основного объекта;

4) формой и элементами залегания объекта относительно поверхности, на которой производятся измерения;

5) для гравиметрической разведки - характером рельефа поверхности, на которой производятся измерения, для магнитной разведки рельеф местности имеет меньшее значение.

Благоприятными условиями для применения гравиметрической и магнитной разведок является сочетание этих факторов, обеспечивающих уверенное выделение аномалий, обусловленных исследуемым объектом. Гравиметрическая и магнитная разведки будут тем эффективней, чем больше избыточная (недостаточная) плотность или намагниченность, круче наклон границ раздела, больше размеры изучаемых тел, меньше глубина их залегания и спокойнее поверхностный рельеф.

При проведении гравиметрической и магнитной разведок необходимо:

1) возможно более полное изучение плотности, пористости и магнитных свойств горных пород и полезных ископаемых района с использованием всех имеющихся данных, а в случае недостаточности данных проведение специальных дополнительных определений;

2) тщательное изучение всех имеющихся геологических и геофизических сведений о геологическом строении района и вскрытых залежей полезных ископаемых;

3) исследование генетического типа месторождений для установления наиболее характерной морфологии залежей, геологической обстановки, генезиса, характера вмещающих пород и их изменений в процессе образования залежей возможной связи рудообразования с интрузиями определенного состава и тектоническими структурными формами погребенного рельефа и др.;

4) изучение промышленного типа месторождений для определения требований к размерам промышленных рудных тел (запасам), соотношений между этими телами и глубиной их

залегания, предельной глубины залегания с целью использования этих данных для оценки предполагаемой интенсивности гравитационных и магнитных аномалий, вызываемых этими телами.

Для наиболее уверенного и полного решения геологических задач предпочтительно применять гравиразведку и магниторазведку в комплексе с другими геофизическими методами. Например, при региональных исследованиях целесообразно сочетать гравиразведку с аэромагнитной съемкой, региональными сейсмическими профилями, сейсмондированиями и некоторыми другими модификациями электроразведки. При поисках нефтегазовых структур рационально использовать гравиразведку с сейсморазведкой. При поисках рудных тел эффективен комплекс гравиразведки,

магниторазведки и электроразведки.

В методику проведения гравитационных и магнитных съемок входят следующие вопросы: выбор вида съемки, расположение пунктов и профилей наблюдений по площади съемки, точность и контроль наблюдений, расположение опорных пунктов и густота сети рядовых наблюдений, топографо-геодезическая привязка, изображение результатов съемки и масштаб отчетных материалов. Все эти вопросы тесно связаны друг с другом. Действующая ныне инструкция по гравиметрической съемке в качестве ведущего признака классификации гравиметрических съемок устанавливает сечение изоаномал отчетной карты, которое является определяющим для решения той или иной геологической задачи.

Для магнитных съемок основным классификационным признаком инструкцией установлен условный масштаб, который выбирается в зависимости от поставленных на разрешение геологических задач. При этом масштаб отчетной карты может и совпадать с условным масштабом, однако по возможности следует стремиться к тому, чтобы эти масштабы совпадали.

Такое различие в подходе к классификации съемок объясняется некоторыми особенностями магнитных измерений по сравнению с гравитационными.

При проведении магниторазведочных работ, как правило, приборная точность и точность вычисления аномалии совпадают,

и вместо семи градаций точности, устанавливаемых для гравитационных съемок, которым в соответствие может быть поставлено семь градаций густоты сети наблюдений, можно ограничиться тремя градациями точности, а именно:

съемки с пониженной точностью со средней квадратической погрешностью ± 15 нГл;

съемки средней точности со средней квадратической погрешностью в пределах $\pm (5 - 15)$ нГл;

съемки повышенной точности с погрешностью, меньшей чем ± 5 нГл.

Густота сети в магниторазведочных работах в соответствии с геологическими задачами, решаемыми ими, имеет

более широкий диапазон, чем в гравиразведке, и большую дробность. Поэтому ее трудно поставить в прямое соответствие с точностью, а следовательно, и с сечением изолиний, как это принято для гравитационных съемок.

При исследовании магнитных аномалий большой интенсивности относительная точность магнитометров составляет несколько процентов, а иногда и доли процента, поэтому тщательного выполнения описываемых ниже методических приемов при таких съемках не требуется. В случае исследования слабых аномалий порядка первых десятков гамм методические приемы, необходимые для достижения высокой точности, в равной мере относятся как к гравитационным, так и к магнитным съемкам.

Расположение профилей и пунктов наблюдения

Расположением профилей и пунктов наблюдений определяется характер съемки. Предпочтительнее при этом площадная съемка, которая дает наиболее полную характеристику гравитационного или магнитного поля и позволяет построить карту изолиний измеряемого элемента поля на всю площадь исследования.

При этом площадная съемка может быть равномерной, когда сеть наблюдений близка к квадратной, и неравномерной в том случае, когда известно, что подлежащие исследованию структуры вытянуты по какому-либо направлению. В последнем случае вкрест предполагаемого простиранья прокладывается

сеть профилей, пункты наблюдений на которых располагаются тем гуще, чем расстояние между профилями. Соотношение расстояний между профилями и пунктами наблюдений на них для достоверности построения карты изолиний не должно быть меньше 1:5. Для наземных магнитных точек для большинства случаев допускается некоторое уменьшение этого расстояния.

В некоторых случаях проводится съемка по отдельным профилям, отстоящим один от другого на таком расстоянии, на котором построение достоверной карты изолиний невозможно. Такая съемка называется профильной. Профильную съемку можно проводить при рекогносцировке для выяснения возможностей метода, а также при детализации, когда прокладываются отдельные профили повышенной точности с целью количественной интерпретации результатов съемки.

Сечение изолиний и точность наблюдений

При оценке точности следует различать: инструментальную точность, то есть ту точность, которую способен дать прибор при данных условиях проведения работ, точность определения аномального значения в пункте наблюдения, включающую в себя точность определения аномального значения в любой точке исследуемой площади, зависящую от ошибки интерполяции.

Ввиду того, что рельеф поверхности на показания магнитометра практически не оказывает влияния, а погрешности в определении аномального вертикального градиента и нормального поля относительно невелики, можно считать, что для магниторазведки точность определения аномального значения и инструментальная точность совпадают.

Точность интерполированного значения является определяющей, так как интерпретация проводится по картам или профилям, на которых нанесены интерполированные значения аномалий. Точности интерполированного значения связана с сечением изолиний карты соотношением $\Delta = 2,5\epsilon$, где ϵ — средняя квадратическая погрешность интерполированного значения аномалии.

Однако основная погрешность, которая не может быть уменьшена или устранена юстировкой прибора в полевых услови-

ях, это погрешность за счет сползания нуля-пункта. Влияние этой погрешности учитывается специальными методическими

приемами ведения гравиразведочных и магниторазведочных работ.

Надежное определение характера изменения нуля-пункта как при измерениях с гравиметром, так и при магнитных съемках и правильный учет этого влияния являются важнейшими моментами, определяющими итоговую погрешность. Кроме того, что само смещение нуля-пункта в силу ряда причин происходит нелинейно (а при введении поправок за изменение нуля-пункта обычно принимается линейное изменение) и закономерно от рейса к рейсу, в поправку за нуля-пункт входят все недоучтенные систематические и случайные погрешности, рассмотренные выше.

Смещение нуля-пункта определяется либо по разностям известных заранее значений поля на опорных пунктах и значений поля на тех же пунктах, определенных из наблюдений в рейсе, либо по повторным наблюдениям в рейсе. При этом значения опорных пунктов должны быть определены в 2 - 2.5 раза, в крайнем случае не менее чем в 1.5 раза точнее рядовых. Это достигается многократными наблюдениями, использованием при разбивке опорной сети нескольких приборов и применением относительно скоростных видов транспорта (самолеты, вертолеты, автомашины, катера).

При проведении магнитных съемок пониженной точности, когда создание опорной сети не обязательно, смещение нуля-пункта учитывается по изменениям в начале рейса и в конце его на контрольном пункте, установленном по возможности в спокойном магнитном поле, близком к нормальному.

Определить величину инструментальной погрешности можно путем постановки независимых контрольных наблюдений, выполняемых либо специальными контрольными рейсами, либо попутно при проведении смежных рейсов. Контрольные наблюдения ставятся в количестве от 5 до 10 % от общего числа пунктов, но не менее 50, и должны равномерно располагаться по площади съемки захватывая по возможности середины рейсов, так как наиболее вероятно получить наибольшую погрешность именно в середине рейса.

контрольным наблюдениям вычисляется по формуле

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

где δ - отклонение от среднего значения; n - число повторенных точек; m - число наблюдений на них. В случае двойных наблюдений эта формула преобразуется к виду

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

где Δ - отклонения между двумя значениями поля на данной точке. Погрешность определения аномального значения складывается из инструментальной погрешности, погрешности привязки местной опоры к исходным опорным пунктам, погрешностей в определении превышений рельефа, погрешностей в определении планового положения точек наблюдений и рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_a = \pm \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_4^2} \quad (3)$$

где ε_1 - средняя квадратическая ошибка наблюдения силы тяжести (инструментальная погрешность); ε_2 - средняя квадратическая ошибка привязки местной опоры к исходным опорным точкам; ε_3 - средняя квадратическая ошибка, зависящая от ошибки определения высот пунктов наблюдений и окружающего рельефа; ε_4 - средняя квадратическая ошибка, зависящая от ошибки определения координат.

Как уже указывалось выше, погрешности и при проведении магнитных съемок не имеют существенного значения и при проведении съемок пониженной и средней точности могут не учитываться.

Средняя квадратическая ошибка, зависящая от ошибки определения высот наблюдений может быть определена из следующих соображений

Дифференцируя формулу поправок Буге и переходя в соответствие с теорией ошибок от дифференциалов к

среднеквадратическим ошибка, получим

$$\epsilon_z = (0.3086 - 0.0419 \sigma) \epsilon_H \quad (4)$$

Если, например, принять $\sigma = 2.3$ г/см³ и среднеквадратическую ошибку определения высоты $\xi_H = \pm 0.1$ м., то

согласно формуле средняя квадратическая ошибка, зависящая от ошибки определения высоты, будет равна 0.02 мгл.

Те же соображения положим при определении средней квадратической ошибки, зависящей от ошибки определения координат. Для этого продифференцируем формулу нормального значения силы тяжести Гельмерта 1901 - 1909 гг.

$$d\gamma_0 = 978030(0.005302 \sin 2\varphi - 0.000007 \sin 4\varphi) d\varphi \quad (5)$$

Переходя к среднеквадратическим погрешностям, будем иметь

$$\epsilon_K = 978030 \sqrt{0.005302^2 \sin^2 2\varphi - 0.000007 \sin^2 4\varphi} \epsilon_\varphi \quad (6)$$

Максимальное значение погрешности получим при $\varphi = 45^\circ$

$$\epsilon_K = \epsilon_\varphi \cdot 5186 \quad (7)$$

где ϵ_φ - среднеквадратическая погрешность определения широты в радианах. Переходя к угловым секундам, получим, что для этого случая ошибка в определении широты на 1 сек. даст ошибку в определении нормального значения силы тяжести 0.026 мгл.

Аналогичным образом оценивается погрешность при учете окружающего рельефа. Так, для зоны, ограниченной радиусом 1000 м., при среднем угле наклона рельефа, равного примерно 56, при погрешности в определении превышений в 5 м., получим погрешность в определении поправки за рельеф, примерно равную 0.04 мгл. При этом наибольшая погрешность будет для центральной зоны, ограниченной небольшим радиусом. Следовательно, определение высот для центральной зоны должно вестись особо тщательно.

Как уже отмечалось выше, повышение точности наблюдений

на пунктах рядовой сети при соблюдении всех прочих условий, определяемых техническими требованиями по обращению с приборами и по режиму их эксплуатации, может быть достигнуто либо путем увеличения кратности наблюдений на пунктах, либо увеличением количества приборов.

Второй путь и технически, и экономически является более выгодным, так как, во-первых, увеличение кратности наблюдений ведет к увеличению продолжительности рейсов, а следовательно, к понижению точности учета изменения

нуль-пункта, во-вторых, при этом не уменьшается роль систематических для данного прибора погрешностей, в-третьих, увеличение кратности ведет к снижению производительности по сравнению с увеличением количества приборов, так как основное время расходуется на перемещение между пунктами, и, в-четвертых, увеличение кратности, ввиду увеличения при этом пройденного пути, ведет к увеличению транспортных затрат.

При наблюдениях с несколькими приборами можно добиться рационального размещения опорных пунктов и в некоторых случаях уменьшения их количества, совмещая опорную сеть, создаваемую до начала работ, с узловой сетью, создаваемой в процессе работы, либо разбивая опорную сеть в два приема - редкую, до начала работ, и более густую после окончания их.

Густота сети наблюдений

Выбор оптимальной густоты сети наблюдений является одним из сложнейших и до некоторой степени еще дискуссионных вопросов методики гравиразведочных и магниторазведочных работ.

Большой практический опыт, накопленный при проведении съемок в различных геологических условиях, позволили сформулировать некоторые основные положения и установить рациональное соотношение между точностью и густотой сети наблюдений.

Основные сведения по густоте сети и по методике гравиметрических наблюдений приведены ниже в материалах, выписанных из инструкции по гравиразведке. Здесь же изложим некоторые сведения по густоте сети и по методике проведения магниторазведочных работ.

Требования к густоте сети при проведении магниторазведочных работ, как уже указывалось выше, формально определяется условным масштабом (табл. 1).

Отметим также, что для систематического контроля за техническим состоянием магнитометров и в качестве исходной точки, относительно которой измеряют приращения измеряемого элемента магнитного поля, вблизи базы партии выбирают контрольный пункт или контрольную точку, причем по

возможности в нормальном поле. Измерения на этом пункте проводят перед уходом с базы на съемку и по возвращении со съемки. В качестве опорного значения поля на контрольном пункте для последующего приведения к нему наблюдений на рядовых пунктах принимают среднемесячное значение поля на нем.

Для выполнения всех высокоточных магнитных съемок необходимо создать в обязательном порядке опорные сети. Основные требования к ним такие же, что и в случае гравиметрических измерений.

Для съемок средней точности расстояние между опорными точками должно быть таким, чтобы наблюдатель в процессе рядовой съемки мог не реже, чем через каждые 2 - 3 часа заходить на опорные точки для контрольных наблюдений. Эти наблюдения должны сопровождаться учетом вариаций магнитного поля.

§2. Методика аэромагнитных съемок

Как известно, современная высокоточная аэромагниторазведка решает широкий круг геологических задач.

Т а б л и ц а I. Масштабы магнитных съемок

| Масштаб съемки | Категория масштаба | Расстояние между маршрутами (профилями), м | | Расстояние между точками наблюдений для наземных съемок, м |
|----------------|--------------------|--|-----------------|--|
| | | аэромагнитная съемка | наземная съемка | |
| 1 : 2 500 000 | Мелкий | 25 000 | — | — |
| 1 : 2 000 000 | | 20 000 | — | — |
| 1 : 1 000 000 | | 10 000 | — | — |
| 1 : 500 000 | Средний | 5 000 | — | — |
| 1 : 200 000 | | 2 000 | — | — |
| 1 : 100 000 | Крупный | 1 000 | 1 000 | 100—200 |
| 1 : 50 000 | | 500 | 500 | 50—100 |
| 1 : 25 000 | | 250 | 250 | 20—50 |
| 1 : 10 000 | | 100 | 100 | 10—40 |
| 1 : 5 000 | | — | 50 | 5—20 |
| 1 : 2 000 | | — | 20 | 5—10 |
| 1 : 1 000 | | — | 10 | 2—5 |

В благоприятных условиях (спокойный рельеф, невысокие градиенты магнитного поля и др.) современные аэромагнитометры позволяют выявлять и прослеживать аномалии амплитудой 0.7 - 2.0 нТл и количественно интерполировать аномалии 5 нТл и выше.

Методика аэромагнитной съемки отличается от методики наземной магнитно съемки и поэтому рассматривается отдельно. Эти различия обусловлены тем, что наблюдения составляющих магнитного поля проводятся непрерывно на некоторой высоте над поверхностью при значительной скорости движения магнитометра. Высота полета, межмаршрутные расстояния и масштаб съемки составляют основу методики аэромагнитной съемки и устанавливаются в зависимости от поставленной геологической задачи. В таблице 2 даны принятые инструкцией соотношения между высотой полета, межмаршрутными расстояниями и категорией масштаба в зависимости от решаемой геологической задачи.

Выбор высоты полета является одним из наиболее трудных моментов методики аэромагнитной съемки. В общем случае при выборе высоты полета должны учитываться глубина залегания магнитных пород, размеры и интенсивность аномалий, точность и скорость записи магнитометра, тип самолета и его скорость, строение рельефа местности, способ плановой проверки маршрутов и др. Нередко эти требования противоречивы и даже взаимоисключаются. Поэтому не существует универсального правила для выбора высоты полета. В каждом отдельном случае необходимо найти оптимальное решение, наилучшим образом удовлетворяющее многим требованиям одновременно, чтобы в конечном итоге была успешно выполнена поставленная геологическая задача.

Межмаршрутные расстояния также зависят от перечисленных факторов. Таким образом, высота полета и межмаршрутные расстояния должны выбираться на основании опыта съемки на аналогичных территориях или на основании рекогносцировочных

Т а б л и ц а 2 Задачи и особенности аэромагнитных съемок в районах разного геологического строения

| Район работ | Средняя квадратическая погрешность съемки, мТл | Решаемая геологическая задача | Масштаб съемки | Характерная высота полета, м | Система залета площадей |
|--|--|--|----------------------------|------------------------------|---|
| Депрессия с глубоко-погруженным кристаллическим основанием и мощной толщей осадочных пород | 0,5—5 | Картирование осадочных пород, структур и полезных ископаемых осадочного комплекса, изучение рельефа и состава фундамента | 1 : 200 000— 1 : 10 000 | 100—300 | Полеты на постоянной барометрической высоте |
| Геологически закрытый с осадочным комплексом мощностью 25—300 м | 0,5—5 | Картирование пород и структур фундамента, реже осадочных пород, прямые и косвенные поиски руд | 1 : 200 000— 1 : 10 000 | 50—100 | То же |
| Геологически открытый со слабомагнитными породами и с небольшими градиентами магнитного поля | 0,5—5 | Картирование, прямые и косвенные поиски руд | 1 : 50 000— 1 : 10 000 | 50—300 | В зависимости от рельефа, особенностей магнитного поля и высоты полетов |
| Геологически открытый с высокими градиентами магнитного поля | 2—10 | Картирование, прямые и косвенные поиски руд | 1 : 50 000— 1 : 10 000 | 100—1 000 | То же |
| Район размытая траппов и лавовых покровов | 2—15 | Картирование, прямые и косвенные поиски руд, реже изучение подстилающих пород и их структур, поиски трещин взрыва | 1 : 50 000— 1 : 10 000 | 100—1 000 | 100—1 000 |

полетов на разных высотах. Это выбор ограничен требованиями инструкции, в которой обобщен большой опыт проведения магнито-разведочных работ в различных геологических и орографических условиях.

Следует обращать внимание на выбор высоты полета при крупномасштабных съемках, особенно в горной местности, где повышается требование обеспечения безопасности полета.

Нормами установлены следующие минимально допустимые истинные высоты полетов над рельефом местности, препятствиями и вершинами деревьев (таблица 3).

В этих условиях съемки выполняются либо с обтеканием рельефа на минимально допустимой истинной высоте, либо вдоль горизонталей рельефа. В последнем случае самолет (вертолет) летит по криволинейному маршруту, близкому к направлению горизонталей, отображающих рельеф местности, на одной абсолютной высоте.

Основные типы маршрутов, выполняемых при аэромагнитной съемке, следующие (таблица 4).

Для площадных съемок, выполняемых прямолинейными параллельными маршрутами, масштаб M можно определить по формуле [1]: $M = 1/100 \cdot d$, где d - расстояние в метрах между

маршрутами. Для сложных видов аэромагнитных съемок, в том числе с криволинейными маршрутами, масштаб можно определить по формуле:

$$M = L / 100\ 000 = \ell / 100\ 000 ,$$

где L - общее число километров рядовых маршрутов на участке площадью S (км²), ℓ - плотность съемки (среднее число километров рядовых маршрутов, приходящихся на 1 км² площади съемки).

Диапазон оптимальной протяженности маршрутов составляет 30 - 100 км. Приведем ниже выписки из основных положений инструкции по гравиразведке.

| Местность | Минимально допустимая высота полета (безопасная высота), м |
|--|--|
| Равнинная, холмистая, лесистая и горные равнины (плато) с колебаниями высот рельефа до 200 м | 25 |
| Холмистая и горная равнины (плато) с колебаниями рельефа от 250 до 500 м | 50 |
| Пересеченная горная местность с колебаниями высот свыше 500 м | 75 |
| Местность с абсолютной высотой более 2000 м | 100 |

Таблица 4. Виды аэромагнитных маршрутов

| Маршрут | Обозначение | Назначение маршрута и особенности его выполнения |
|----------------------|-------------|---|
| Рядовой | РМ | Основной маршрут (профиль) площадной съемки |
| Расчетный | РЧМ | Специально для количественной интерпретации аномалий; выполняют через эпицентры аномалий (вкрест их простирания); горизонтален |
| Повысотный расчетный | ПРЧМ | Для изучения вертикального градиента магнитного поля и выбора высоты полетов; горизонтален; высоты последовательно удваивают (например, 100; 200; 400 м) |
| Повторный | ПМ | Для внутренней увязки, если создание опорных сетей невозможно; съемку на маршруте выполняют 2 раза или более; располагается на участке съемки; выбирают в нормальном поле |
| Контрольный | КМ | Для проверки аппаратуры; вид ПМ; располагают на подлете к участку |
| Опорный | ОМ | Для внутренней увязки; примерно ортогонален к РМ; выбирают по возможности в нормальном поле; залет выполняют 2 раза и более |
| Связующий | СВМ | Связывают ОМ в опорную сеть, например, если ОС создают в форме замкнутых полигонов по правилам, разработанным во ВНИИ Геофизике |

§3. Некоторые основные положения инструкции по гравиразведке

3.1. Задачи гравиметрической разведки

Как известно, 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.

Физической основой гравиметрической разведки является различие плотностей пород, рудных и нерудных полезных ископаемых. 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.

Гравиметрическая разведка применяется как для региональных, так и для детальных геологических исследований. Как правило, региональные исследования предшествуют детальным.

Региональная гравиразведка применяется для решения следующих основных геологических задач:

1) тектоническое и литолого-петрографическое районирование крупных регионов при геологическом картировании и составлении прогнозных и металлогенетических 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;

2) 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 предпочтительно, а иногда и необходимо применение гравиметрической разведки в комплексе с магниторазведкой, сейсморазведкой, сейсмологическими исследованиями и некоторыми модификациями электроразведки, с гамма-спектрометрией, металлометрией и т. п.

Детальная гравиразведка применяется для решения поисковых (поисковая съемка) или разведочных (разведочная съемка) геологических задач:

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

2) 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 и другими геофизическими и геологическими методами;

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

4) выявление локальных структурных форм, благоприятных для скопления полезных ископаемых и непосредственно залежей полезных ископаемых (нефти, газа, руды, угля и т. п.), прослеживание разрывных нарушений;

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

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

Различают съемки: наземную, подземную, скважинную, морскую (донную, надводную, мелководную), аэрогравиметрическую, которые проводятся соответствующими типами гравиметров или вариометрами и градиентометрами. По своему характеру гравиметрическая съемка может быть площадной и профильной.

Площадной называется съемка, результаты которой позволяют построить карту изоаномал силы тяжести (вектров, 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 расстояния 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.

Профильной 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 продолжения интерпретационных профилей повышенной детальности и точности

с целью выполнения количественных расчетов, а также на

труднодоступных участках.

При региональных съемках и на участках детальных работ в труднодоступной местности выполняется маршрутная съемка по дорогам, долинам, и т. п.

Для выполнения гравиразведочных работ органиуются партии или отряды в составе экспедиций или комплексных партий.

Полный цикл гравиразведочных работ делится на следующие этапы:

- 1) проектно-сметный;
- 2) организационный (на месте формирования партии в поле);
- 3) полевой;
- 4) ликвидационный (в поле и на месте расформирования партии);
- 5) камеральный.

3.2. Проектирование работ

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.

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:

- 1) методика съемки;
- 2) способы изучения плотностного разреза;
- 3) способы обработки и интерпретации материалов;
- 4) ожидаемые результаты; Под методикой съемки понимается

1) вид съемки; 2) точность съемки, масштаб и сечение изоаномал отчетной карты, масштаб графиков при профильной съемке;

3) система расположения и густота рядовых пунктов наблюдений, система исходных и опорных пунктов;

4) техника полевых изменений;

5) точность и способы проведения геодезических работ.

Проект должен содержать необходимые сведения о географии,

геологии, геофизической изученности района и все имеющиеся сведения о плотностной характеристике разреза.

В проекте излагается методика наблюдений на опорных и рядовых пунктах при работе гравиметрами; обосновывается система наблюдений при работе вариометрами и градиентометрами; 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.

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.

Проект должен содержать следующие основные графические приложения:

1) обзорную карту района работ;

2) сводный геолого-геофизический разрез района с

выделением основных плотностных границ;

3) схему геофизической изученности района;

4) схему расположения гравиметрических профилей на геологической или структурно-тектонических картах;

5) схему расположения опорных пунктов. Кроме того, прилагаются другие геологические и геофизические

материалы, необходимые для обоснования проектируемых работ.

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

Проектная точность съемки (среднеквадратическая погрешность определения аномалий силы тяжести) выбирается в зависимости от интенсивности предполагаемых или исследуемых аномалий, 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, в горных районах - 0.5 интервала сечения изоаномал.

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.

Профили наблюдений при площадной съемке, как правило, должны быть прямолинейными. Они ориентируются вкрест простирания изучаемых объектов и связываются между собой не менее, чем двумя-тремя профилями.

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

Густота сети пунктов наблюдений зависит от задач съемки, размеров и интенсивности ожидаемых аномалий и выбранного

сечения изоаномал отчетной карты. Густота сети должна обеспечивать выявление искомых 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.

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.

Соотношения между масштабом отчетных карты и графиков, сечением изоаномал, среднеквадратической погрешностью определения аномальных и наблюдаемых значений силы тяжести, густота сети пунктов наблюдений для равнинных и горных районов даются соответственно в таблице 5 (а, б).

| Масштаб отрицательный и графический | Среднее значение мг/га | Среднее значение погрешности определения значения силы дуги в Буге, мг/га | Среднее значение погрешности определения значения магнитной силы тяжести, мг/га | Полная погрешность интерполяции, мг/га | Среднее значение погрешности определения высот, м | Среднее значение погрешности определения густоты геодезической сети, м | Густота сети | |
|---|------------------------------|---|--|---|--|--|------------------------------|---|
| | | | | | | | Число пунктов на 1 кв. км | Расстояние между пунктами для каден- дений по про- филям, м |

а) ДЛЯ РАВНИННЫХ РАЙОНОВ:

| | | | | | | | | |
|------------|------|-------|--------|-------|-------|------|-----------|-----------|
| 1: 500 000 | 5 | ±1,5 | +0,5 | ±2,0 | ±5,0 | ±200 | 0,04—0,10 | 2500—5000 |
| 1: 200 000 | 2 | ±0,8 | ±0,4 | ±1,0 | ±2,5 | ±100 | 0,10—0,25 | 1000—2000 |
| 1: 100 000 | 1 | ±0,4 | ±0,3 | ±0,5 | ±1,2 | ±80 | 0,25—1,00 | 500—1000 |
| 1: 50 000 | 0,50 | ±0,20 | ±0,15 | ±0,35 | ±0,70 | ±40 | 2—30 | 100—500 |
| 1: 25 000 | 0,25 | ±0,10 | ±0,07 | ±0,20 | ±0,35 | ±40 | 4—50 | 50—250 |
| 1: 10 000 | 0,20 | ±0,08 | ±0,06 | ±0,20 | ±0,35 | ±20 | 12—60 | 50—250 |
| 1: 5 000 | 0,10 | ±0,04 | ±0,06 | ±0,15 | ±0,25 | ±4 | 16—80 | 20—100 |
| | 0,10 | ±0,04 | ±0,03 | ±0,07 | ±0,20 | ±4 | 20—100 | 20—100 |
| | 0,10 | ±0,04 | ±0,03 | ±0,07 | ±0,10 | ±2 | 25—200 | 10—50 |
| | 0,05 | ±0,02 | ±0,015 | ±0,03 | ±0,10 | ±2 | 50—250 | 10—50 |
| | | | | | ±0,05 | ± | 100—500 | 5—25 |

б) ДЛЯ ГОРНЫХ РАЙОНОВ:

| | | | | | | | | |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|-----------|
| 1: 500 000 | 5 | ±2,0 | ±0,5 | ±3,0 | ±3,00 | ±120 | 0,04—0,10 | 2500—5000 |
| 1: 200 000 | 2 | ±1,0 | ±0,40 | ±1,50 | ±3,00 | ±100 | 0,10—0,25 | 1000—2000 |
| 1: 100 000 | 1 | ±0,50 | ±0,25 | ±0,70 | ±1,80 | ±100 | 0,25—1,0 | 500—1000 |
| 1: 50 000 | 0,50 | ±0,25 | ±0,25 | ±0,70 | ±1,60 | ±50 | 1,0—10,0 | 100—500 |
| 1: 25 000 | 0,50 | ±0,25 | ±0,12 | ±0,35 | ±0,90 | ±50 | 2—30 | 50—250 |
| 1: 10 000 | 0,25 | ±0,12 | ±0,12 | ±0,35 | ±0,90 | ±25 | 4—30 | 50—250 |
| 1: 5 000 | 0,20 | ±0,10 | ±0,06 | ±0,20 | ±0,45 | ±25 | 12—60 | 20—100 |
| 1: 5 000 | 0,10 | ±0,05 | ±0,06 | ±0,15 | ±0,25 | ±5 | 20—100 | 20—100 |
| | | | ±0,03 | ±0,07 | ±0,12 | ± | 50—250 | 10—50 |

Приведенные в таблице погрешности не включают погрешностей исходных опорных пунктов.

Под горными понимаются районы с резкими формами рельефа при наличии относительных превышений в 400 м. и более в пределах трапеции масштаба 1:25000.

В течении организационного периода необходимо:

1) подобрать аппаратуру, удовлетворяющую требованиям технического проекта (точность, стабильность, диапазон измерений, точка полной температурной компенсации);

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

3) ознакомить технический персонал партии с проектом, инструкциями и наставлениями по работе, технике безопасности

и т. п.

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

Предпочтительным является опережение геодезическим отрядом работ гравиметрического отряда, не допускается отставание геодезических работ от гравиметрических.

В процессе полевых работ необходимо своевременно обрабатывать полевые материалы вплоть до построения карт или графиков изменения силы тяжести и вторых производных ее от потенциала 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.

3.3. Геодезические работы

Геодезические работы при гравиметрических съемках включают:

1) Перенесение в натуру проекта расположения опорных и рядовых гравиметрических пунктов (разбивка магистралей, профилей и т. п.), составление абрисов опорных гравиметрических пунктов;

2) закрепление пунктов соответствующими знаками;

3) определение координат и высот пунктов наблюдений;

4) проведение работ по определению относительных превышений местности вокруг пунктов наблюдений с целью учета влияния рельефа;

5) измерение сечений подземных выработок в шахтах;

6) составление геодезической основы для гравиметрической карты;

7) технический контроль и оценку точности выполненных работ. При гравиметрической съемке в зависимости от предусматриваемой точности определения аномалий Буге допустимы среднеквадратические погрешности определения

координат и высот пунктов наблюдений, приведенные в таблице 5 (а, б).

3.4. Методика наблюдений

Полевые наблюдения гравиметрами проводятся рейсами. Рейсом называется 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. Часть рейса между двумя последовательными наблюдениями на опорных пунктах называется звеном.

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).

Опорная сеть

При выполнении полевой гравиметрической съемки создается сеть опорных пунктов.

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

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:

- 1) применением более точных гравиметров;
- 2) многократными измерениями группой гравиметров;
- 3) сокращением длительности звеньев рейса;
- 4) транспортировкой гравиметров в наиболее благоприятных условиях;

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).

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

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

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.

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 (эвене) и последовательности их обхода.

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

$$\epsilon_{оп} = \pm \frac{\epsilon}{\sqrt{N_{cp}}} \quad (8)$$

где ϵ — среднеквадратическая погрешность единичного измерения; $N_{cp} = N/n$ — среднее количество наблюдений на одном опорном пункте; N — общее число измерений; n — число пунктов. Значение ϵ вычисляется по формуле

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{N-n}} \quad (9)$$

где δ — отклонение измеренного значения Δx от среднего. При оценке точности опорной сети в число опорных пунктов (n) не входит центральный пункт. Центральная система может быть и полигональной, если помимо независимых связей с центральным пунктом, опорные пункты имеют также независимые связи между собой.

Двухступенчатая система состоит из каркасной и заполняющей опорных сетей.

Каркасные опорные сети создаются по центральной схеме.

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

$$\epsilon_{оп} = \pm \sqrt{\frac{n_k \epsilon_k^2 + n_3 (\epsilon_k^2 + \epsilon_3^2)}{n_k + n_3}} = \pm \sqrt{\epsilon_k^2 + \frac{n_3}{n_k + n_3} \epsilon_3^2} \quad (10)$$

где n_k, n_3 — число каркасных и заполняющих опорных пунктов; ϵ_k, ϵ_3 — среднеквадратические погрешности определения силы тяжести соответственно на каркасных и заполняющих опорных пунктах, вычисленные по формуле (. 8).

Методика узловых пунктов эквивалентна двухступенчатой системе. Особенность этой методики состоит в том, что заполняющая опорная сеть создается по процессе измерений 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 и 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 переобрабатываются 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.

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

$$\epsilon_{оп} = \pm \mu \sqrt{\frac{M}{m}} \quad (11)$$

где M - средняя удаленность опорных пунктов от ближайших исходных пунктов, выраженная в числе приращений; m - среднее число наблюдений Δg между двумя смежными пунктами.

Значение μ вычисляется по формуле

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{N-S}} \quad (12)$$

где S - число сторон, образующих все полигоны опорной сети. Густота опорной сети определяется, исходя из

необходимости обеспечения линейной интерполяции нуля пункта гравиметров в рядовых рейсах между двумя соседними опорными пунктами.

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

Рядовая сеть

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. Наблюдения в рядовых рейсах должны проводиться по каждому звену рейса. Смещение нуля пункта определяется по сопоставлению разности значений силы тяжести между опорными пунктами, полученных 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.

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

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

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.

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 настоящей инструкции по данному виду съемки. Контрольные наблюдения проводятся в объеме 5 - 10 %. Общее число контрольных наблюдений не должно быть меньше 50.

При наблюдениях на пунктах двумя или 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.

Основным критерием оценки качества наблюдений гравиметром служит среднеквадратическая погрешность единичного наблюдения, вычисляемая на основе сходимости контрольных наблюдений с первичными по формуле (9).

Среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемых значений силы тяжести на пункте вычисляется по формуле

$$E_p = \sqrt{E_{оп}^2 + E_{ррд}^2}, \quad (13)$$

где $E_{ррд}$ среднеквадратическая погрешность определения силы тяжести рядовых пунктов, вычисленная по формуле (9). Для съемки масштабов 1:100 000 и мельче в значения $E_{ррд}$ входит также погрешность привязки полевой опорной сети к государственным гравиметрическим пунктам I, II и III классов.

Измерения считаются доброкачественными в том случае, когда среднеквадратическая погрешность, вычисляемая по

формуле (9), не превышает установленную проектом.

Рейс или его звено признается доброкачественным, если отклонения первого и контрольного измерений от их среднего не превышает утроенную величину ошибки, предусмотренную 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 превышает удвоенной величины среднеквадратической погрешности наблюдаемого значения, предусмотренной проектом.

Звено бракуется, если повторным контролем подтверждено недопустимое расхождение наблюдаемых 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.

3.5. Обработка результатов гравиметровых наблюдений и оценка точности

Обработка результатов гравиметровых 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 наблюдаемых значений силы тяжести; учет нормального поля; введение поправок за высоту и притяжение промежуточного слоя; вычисление аномалий силы тяжести.

В полевой период составляется предварительная карта аномалий силы тяжести в редукции Буге. При съемке масштабов 1:100 000 и мельче введение поправок за влияние рельефа в значения предварительной карты является не обязательным, а

при проведении съемок масштабов 1:50 000 и крупнее на участках сложного рельефа введение поправок за влияние рельефа обязательно.

Камеральная обработка материалов проводится 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.

Нормальное значение силы тяжести учитывается по формуле

$$\gamma_0 = 978030(1 + 0,005302 \cdot \sin^2 \varphi - 0,000007 \cdot \sin^2 2\varphi) - H, \quad (14)$$

где φ — широта точки определения силы тяжести. При вычислении поправки за влияние промежуточного слоя в качестве поверхности относимости принимается уровень моря. При решении некоторых других задач за поверхность относимости может быть принята другая горизонтальная плоскость, например, проходящая через низшую (высшую) точку рельефа.

Поправки за влияние рельефа местности вводятся в наблюдаемые значения силы тяжести на тех пунктах, где они 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.

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 крупно масштабным картам (1:5000 - 1:10000) или аэрофотоснимкам; при их отсутствии должны применяться

инструментальные методы (нивелирование вокруг пунктов наблюдений).

Для равнинных районов при определении поправок за влияние рельефа используются аэрофотоснимки масштаба, соответствующего масштабу съемки.

Для горных районов определение поправок за влияние рельефа в ближней и средней зонах проводится по аэрофотоснимкам масштаба не мельче 1:40000, либо по топографическим картам масштаба, не менее чем в 4 раза крупнее масштаба отчетной карты.

Среднеквадратическая погрешность опознавания

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

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

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

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

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

В горных местностях в зависимости от конкретных условий и вида решаемых задач радиус учитываемой области выбирается таким, при котором влияние оставшихся масс рельефа изменяется линейно или закономерно и благодаря этому может быть исключено вместе с региональным фоном.

Для характеристики точности нахождения поправок за влияние рельефа местности вычисляется среднеквадратическая погрешность. Погрешность

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.

Погрешность ϵ_p вычисляется по формуле

$$\epsilon_p = \pm \sqrt{\epsilon_{p1}^2 + \epsilon_{p2}^2 + \epsilon_{p3}^2} \quad (15)$$

где ϵ_{p1} - среднеквадратическая погрешность, характеризующая точность учета влияния ближней зоны; ϵ_{p2} - среднеквадратическая погрешность, характеризующая точность учета влияния средней зоны; ϵ_{p3} - среднеквадратическая погрешность, характеризующая точность учета влияния дальней зоны.

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

Погрешность ϵ_p вычисляется по формуле

$$\epsilon_{pi} = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta p_i^2}{2n}} \quad (16)$$

где Δp_i - разность между первичным и контрольными значениями поправки; n - число контрольных определений. Во всех случаях при вычислении среднеквадратических погрешностей количество повторных наблюдений не должно быть меньше 50 в каждой зоне.

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.

Влияние лунно-солнечного притяжения должно учитываться, если за промежуток времени наблюдений звена отклонение от его линейности превышает 0.5 среднеквадратической погрешности единичного наблюдения гравиметром.

При определении аномалии силы тяжести вводится поправка Буге

$$\Delta g_B = (0.3086 - 0.0419 \cdot \sigma) \cdot H, \quad (17)$$

где H - высота пункта наблюдений гравиметром над уровнем моря, м.; σ - плотность пород промежуточного слоя, г/см³. Значения аномалий Буге вычисляются по формуле

$$\Delta g_a = g_n + \Delta g_B - \gamma_0, \quad (18)$$

где g_n - наблюдаемое значение силы тяжести. Аномалии Буге следует относить к вертикальной и горизонтальной координатам

пункта наблюдения. По результатам съемки обязательно построение карт аномалий Буге с плотностью промежуточного слоя, равной 2.30 г/см³ и 2.67 г/см³, для мелкомасштабных съемок, включая съемки масштаба 1:50000. При этом карты с плотностью промежуточного слоя 2.30 г/см³ составляются без учета поправки за рельеф.

Для геологической интерпретации строятся карты и графики аномалий Буге с истинной (реальной) постоянной или переменной или кажущейся плотностями промежуточного слоя. 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.

Основным критерием оценки точности аномалий силы тяжести служит среднеквадратическая погрешность ϵ_a , вычисляемая по

формуле

$$E_a = \pm \sqrt{E_g^2 + E_B^2 + E_{\gamma_0}^2 + E_p^2}, \quad (11.19)$$

где E_g - среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемых значений силы тяжести, вычисляемая по формуле (11.13), E_B - среднеквадратическая погрешность определения поправки Буге, зависящая от погрешностей определения высот; E_{γ_0} - среднеквадратическая погрешность определения нормального значения силы тяжести, зависящая от погрешности определения координат пунктов наблюдения; E_p - среднеквадратическая погрешность определения поправок за влияние рельефа местности.

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

Для оценки качества гравиметрической карты вычисляется полная погрешность интерполяции E по формуле

$$E = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta g_i - \Delta g_i^{инт})^2}{n}} \quad (20)$$

где Δg_i - наблюдаемое значение n аномалии силы тяжести в данном пункте, $\Delta g_i^{инт}$ значение аномалии в том же пункте, полученное путем интерполяции с карты, n - число пунктов, по которым проводилось 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 5 (а, б). В противном случае необходимо производить 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 на нормальное поле. Масштаб съемки на интерпретационных профилях должен быть крупнее масштаба съемки на площади.

Интерпретационные профили используются при вычислении ошибок интерполяции.

На картах масштаба 1:100000 и мельче значение аномалий подписываются с точностью до 0.1 мГал, на крупномасштабных картах (за исключением горных районов) - с точностью до 0.01 мГал.

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 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.

Поле аномалий силы тяжести на отчетных картах, направляемых во Всесоюзный геологический фонд, дается без раскраски.

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.

При необходимости учета влияния рельефа местности поправка обязательно вводится в значения Δg , вычисленные с

плотностью 2.67 г/см^3 и реальной. Карта с плотностью промежуточного слоя 2.30 г/см^3 составляется без введения поправок за рельеф. В случае, если реальная плотность равна 2.30 г/см^3 , составляется дополнительная интерполяционная карта с введением поправок за рельеф.

При профильной съемке составляются графики изменения аномалий силы тяжести. Горизонтальный масштаб устанавливается проектом работ. Рекомендуемый вертикальный масштаб в 1 см - 0.2; 0.25; 0.5; 1.0 мГал при крупномасштабной съемке, 1 см - 2.0; 5.0; 10.0 мГал при мелкомасштабной.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие основные задачи можно решить методами привязки импедоразведки?
2. Как определяется ошибка определения аномалии? Как связаны величина ошибки с размером карты аномалии?
3. Как определяется сечение карты аномалий?
4. Во сколько раз погрешность измерения на опорных пунктах должна быть меньше погрешности измерений на рядовых пунктах?
5. Что такое нуль-пункт прибора и как его учесть?
6. Как связана погрешность определения высот наблюдений с ошибкой определения аномалий?
7. Как определяется расстояние между пунктами наблюдения на профилях и между профилями на местности при наземных гравиметрических и магнитометрических наблюдениях?
8. Как определяется плановая привязка профилей?
9. Как может быть связано сечение карты аномалий с амплитудой ожидаемой аномалии?
10. Чему равно наименьшее количество точек наблюдений, которыми можно зафиксировать при измерениях аномалий?

Литература

1. Серкеров С.А. Гравиразведка и магниторазведка.-М.:Недра, 2000.
2. Инструкция по гравиразведке . - М.: Недра, 1980.

Серкеров Серкер Акберович

Конспект лекций по курсу «Гравиразведка и магниторазведка» для студентов специальности 0804 «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» и магистров по направлению 553200 «Геология и разведка полезных ископаемых».

Св.тематический план 2000г.

Подписано в печать 14.01.2000
Объем 2.8 уч.-изд.л.

Формат 60 x 90/16
Тираж 50 экз.

Заказ *128*

117917, Ленинский просп., 65

Отдел оперативной полиграфии РГУ нефти и газа